



**Міністерство освіти і науки України
Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара**

VII Всеукраїнська науково-практична конференція

**Перспективні напрямки сучасної електроніки,
інформаційних і комп'ютерних систем**

23–25 листопада

УНІВЕРСИТЕТ

**Дніпро
2022**

**Міністерство освіти і науки України
Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара**

**Перспективні напрямки
сучасної електроніки,
інформаційних і комп'ютерних
систем**

Тези доповідей

**на VII Всеукраїнській
науково-практичній конференції
MEICS-2022**

**м. Дніпро
23-25 листопада 2022 р.**

УДК 622: 004.73: 658.562.4: 65.011.56

П 26

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Коваленко О. В., д. ф.-м. н., проф. (м. Дніпро) – голова орг. комітету

Башев В. Ф., д. ф.-м. н., проф. (м. Дніпро)

Пелещак Р. М., д. ф.-м. н., проф. (м. Дрогобич)

Гіржон В. В., д. ф.-м. н., проф. (м. Запоріжжя)

Дробахін О. О., д. ф.-м. н., проф. (м. Дніпро)

Дмитрук І. М., д. ф.-м. н., проф. (м. Київ)

Карташов В. М., д. т. н., проф. (м. Харків)

Корчинський В. М., д. т. н., проф. (м. Дніпро)

Павлик Б. В., д. ф.-м. н., проф. (м. Львів)

Рябцев С. І., д. ф.-м. н., доц. (м. Дніпро)

Скалозуб В. В., д. ф.-м. н., проф. (м. Дніпро)

Трубіцин М. П., д. ф.-м. н., проф. (м. Дніпро)

Лепіх Я. І., д. ф.-м. н., проф. (м. Одеса)

Хандецький В. С., д. т. н., проф. (м. Дніпро)

Шульга С. М., д. ф.-м. н., проф. (м. Харків)

Гомілко І. В., к. ф.-м. н., доц. (м. Дніпро)

Колбунов В. Р., к. ф.-м. н., доц. (м. Дніпро)

Свинаренко Д. М., к. т. н., доц. (м. Дніпро)

Скуратовський І. А., к. ф.-м. н., доц. (м. Дніпро)

Іванченко О. В., к. ф.-м. н., доц. (м. Дніпро)

Дергачов М. П., к. ф.-м. н., доц. (м. Дніпро)

Вчений секретар конференції

Вашерук Олександр Васильович, к. т. н., доц. (м. Дніпро)

П 26 Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем (MEICS-2022). Тези доповідей на VII Всеукраїнській науково-практичній конференції: 23-25 листопада 2022 р., м. Дніпро / Укладачі Іванченко О. В., Вашерук О. В. – Дніпро, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Кременчук : Видавництво «НОВАБУК», 2022. – 212 с.

ISBN 978-617-639-381-8

В збірник включені тези доповідей на VII Всеукраїнській науково-практичній конференції, яка відбулася в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара, 23-25 листопада 2022 р.

УДК 622: 004.73: 658.562.4: 65.011.56

ISBN 978-617-639-381-8

© Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, 2022.

Секція І. ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І
ТЕХНОЛОГІЇ

А. Алексєєв, С. Вовк. Віртуальний цифровий сигнальний процесор морфологічних перетворень	8	Н. Номерчук, Т. Прокоф'єв. Класифікація зображень на основі бінаризованих нейронних мереж	28
В. Ребров, В. Лукін. Порівняльний аналіз ефективності фільтрації кольорових зображень у колірних просторах RGB та YCbCr	10	Р. Лещенко, С. Пляка. Оптимізація роботи сучасних веб бібліотек	29
А. Прошин, Т. Прокоф'єв. Використання нейронних мереж для аналізу текстів наукових робіт щодо їх відповідності вимогам до публікації	12	О. Прищепа, Д. Свинаренко. Інтелектуальна обробка текстової інформації	31
В. Онуфрієнко, О. Онуфрієнко. Буферність кондивергентного просторово-часового процесу в моделі коливальної динаміки фрактальних об'єктів	13	С. Сагайдак, С. Вовк. Протидія відстеженню та ідентифікації користувачів інтернету	32
О. Гниленко, С. Плаксін. Комп'ютерне моделювання тонкоплівкового сонячного елемента з вертикально орієнтованими нанодротами	15	О. Volkovskyj, A. Shcherbyna. Information retrieval system for providing medical services	34
О. Полішук, М. Яджак. Організація паралельних обчислень під час аналізу ефективності функціонування автотранспортної системи міста	17	О. Волковський, А. Сеноженська. Система моніторингу стану довколишнього середовища	36
А. Данильченко, М. Андрєєв. Використання хмарних технологій для підвищення ефективності інформаційно-комунікаційної системи сімейного лікаря	19	В. Сіренко, Т. Прокоф'єв. Використання хмарних сервісів для автоматизації роботи контент-менеджерів	37
І. Назарова. Паралельні чисельні методи вирішення жорстких задач	21	О. Тонкошкур, А. Лозовський. Модифікований алгоритм обробки кінетичної залежності відгуку газових сенсорів на основі моделі розтягнутої експоненціальної функції	38
Я. Бабанська, М. Андрєєв. Використання технологій глибокого навчання для прогнозування часової динаміки продажів	23	К. Бабенко, С. Вовк. Інтелектуальна система з надання порад щодо правил безпеки в умовах війни	40
І. Захаров, М. Андрєєв. Зберігання неструктурованих даних з використанням об'єктного сховища при аналізі даних соціальних мереж	25	О. Волковський, В. Тарянік. Крос-платформна система відновлення психічного здоров'я людини	42
І. Бернакевич, І. Козій. Чисельне дослідження вільних коливань оболонок	27	А. Баканов, І. Пономарьов. Розробка багатокористувацького додатку	44
		О. Onufrienko, I. Zinenko, N. Antonenko, V. Onufrienko. Mathematical source-sink model analysis of space-time condivergent processes in a fractal semiconductor medium	46
		Б. Молодець. Створення системи агрегування даних за допомогою Celery	48
		О. Бойко, О. Дерев'янко. Ефективність транспортного завдання	50

Секція II. КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ І КОМПОНЕНТИ

- Д. Волнянський, Г. Карасьов, І. Волнянська, О. Карасьов. **Установка на базі міні-комп'ютера Raspberry Pi3 для дослідження перехідних процесів у рідких діелектриках** 52
- О. Івон, В. Істушкін, В. Белугіна. **Використання яскравості пікселів для автоматизації сканування растрових зображень осцилограм** 54
- А. Кривошея, В. Хандецький. **Особливості розробки прототипу системи з мікросервісною архітектурою** 56
- І. Кулик, О. Тонкошкур. **Додаток для обробки даних діелькометричних вимірювань** 58
- В. Прищепчук, В. Хандецький. **Розробка веб-додатку для моніторингу пристроїв в комп'ютерній мережі** 60
- В. Олійник, В. Лукін. **Особливості взаємно-кореляційної обробки широко-смугових сигналів на тлі нестаціонарних завад** 62
- А. Шаповал, І. Пономарьов. **Архітектура децентралізованих додатків створених на базі технології блокчейн** 64
- М. Скок, В. Герасимов. **Технологія Vault від HashiCorp для зберігання та захисту паролів та токенів доступу** 66
- Д. Керекеша, М. Твердоступ. **Автоматизація згладжування за адаптивними алгоритмами Брауна і Хольта** 68
- Д. Рягузов, В. Хандецький. **Особливості керування хмарною інфраструктурою підприємства** 70
- О. Івон, В. Істушкін, В. Любимкін. **Web-додаток для вимірювання коефіцієнту нелінійності вольтамперних характеристик** 72
- І. Кривий, В. Герасимов. **Метрична складність як показник якості системи** 74
- Л. Ахметшина, С. Мітрофанов. **Використання нечітких методів для поліпшення якості медичних зображень** 76
- О. Lytvynov, M. Lytvynov. **On practical use of the frame-based sentence patterns in computer-aided language learning system** 78
- К. Мохов, Н. Матвєєва, Л. Загородня. **Переваги технології Spring Framework для створення додатків** 79
- Д. Карнацький, Н. Карпенко. **Організація процесу вільного вибору дисциплін студентами в ЗВО** 81
- Л. Ахметшина, А. Варгін. **Відновлення зображення з використанням методу Папуліса-Герхберга** 83
- М. Твердоступ. **Про коректність рішення задач мінімізації булевих функцій при вивченні дисципліни «Комп'ютерна логіка»** 85
- Л. Ахметшина, А. Нестеренко. **Використання згорткових нейронних мереж для задач виявлення аномалій на зображеннях** 87

Секція III. РАДІОТЕХНІЧНІ ПРИСТРОЇ І ЗАСОБИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

- Ю. Лаврич, С. Плаксін. **Деякі особливості проєктування перспективних радіолокаційних систем** 89
- М. Павленко, Д. Чернетченко, С. Волокітін, І. Гладуш. **Дослідження рівня фонових радіаційного випромінювання за допомогою портативного безпроводового дозиметричного пристрою** 91
- А. Гузь, О. Дробахін. **Розпізнавання радіозображень із застосуванням нейромережових технологій** 93

І. Гладуш, Д. Чернетченко, С. Волокітін, М. Павленко. Програмно-апаратний дозиметричного комплексу для безперервного моніторингу радіаційного фону та рівня накопиченої дози 95

М. Потапов, В. Магро, Д. Салтиков. Узгодження в скінченних антенних решітках за допомогою резонаторної області зв'язку 97

С. Чупира, О. Грушка, А. Рибчак. Пристрій комутації основного та резервних джерел підключення електроенергії на основі мікроконтролера ATmega 328 з Bluetooth-інтерфейсом зв'язку (напруга 230 В, струм до 16 А) 99

О. Дробахін, Д. Хандак. Вплив метаматеріалів на характеристики фрактальної антени у виді серветки Серпінського 101

Д. Пеліх, О. Ляшков, І. Тирса. Багатосекційний сенсор газових середовищ 103

В. Самойленко, Д. Салтиков. Застосування біконічних резонаторів для визначення параметрів рідин з великими втратами 104

Є. Трахтман. Дослідження впливу діафрагми та шару діелектрика на характеристики хвильоводних антенних решіток 106

С. Бухаров, Б. Брежнев. Фільтр складання для антенних трактів систем телекомунікацій 108

В. Корчинський. Оптимізація просторового розташування приймально-передатвальних пристроїв систем мобільного зв'язку 109

М. Демидюк. Параметрична оптимізація ходи двоногого робота з електромеханічними приводами 111

С. Бухаров, Д. Січевий. Дводіапазонна антена решітка для систем зв'язку на базі стандартів 802.11 113

Д. Чернетченко, М. Попудняк. Безпроводова сенсорна мережа для реєстрації параметрів середовища в приміщенні 114

Б. Шестаков, В. Овсяніков, В. Герасимов. Електромагнітне зондування речовини з метою визначення її якості 115

А. Груєнко, В. Корчинський. Фільтрація завад цифрових телекомунікаційних сигналів на основі їх подання у дискретних ортогональних базисах 117

В. Міщенко, Д. Савченко, І. Гомілко. Аналіз даних отриманих від напівпровідникових газочутливих сенсорів 119

В. Козуненко. Вплив багатоканального сенсорного контролю приміщення на його енергоефективність 120

Секція IV. ФУНКЦІОНАЛЬНА ЕЛЕКТРОНІКА. МІКРО- І НАНОТЕХНОЛОГІЇ

О. Дробахін, О. Коваленко, С. Плаксін, Б. Блюсс. Особливості підготовки здобувачів із спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали в Придніпровському регіоні 123

П. Генцарь, А. Міняйло, Д. Пекур, О. Власенко. Оптичні властивості кремнієвих нанониток 125

О. Тонкошкур, О. Іванченко. Застосування двошарових варисторно-позисторних структур для обмеження напруги 127

Г. Гайдар. Особливості прояву ефекту Холла і тензоопору трансмутаційно легованих кристалів Si за різних режимів термообробки 129

О. Івон. Вольтамперна характеристика подвійного бар'єру Шоттки у випадку надбар'єрної електронної емісії 131

П. Генцарь, А. Міняйло, Д. Пекур, О. Вла- сенко. Механізми лазерної обробки тонких приповерхневих шарів напівпровідників	133	М. Кукурудзяк. Дослідження спектраль- ної характеристики чутливості <i>p-i-n</i> фото- діодів	155
М. Єрмаков, Р. Пшеничний, Ю. Шкиря, А. Опанасюк. Структурні та субструктурні характеристики плівок ZnO легованого індієм	135	О. Писаний, В. Волобуєв, Д. Курбатов, А. Опанасюк. Структурні характеристики плівок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ для створення детекто- рів жорсткого випромінювання	157
О. Коваленко, В. Воровський, М. Буланий. Концентрація вузлових іонів Mn^{2+} в нано- кристалах ZnO:Mn	137	Ю. Ніщук, С. Гусейнова, С. Собкович. Дов- гохвильова люмінесценція колоїдних нано- частинок оксиду цинку	159
О. Іванченко, П. Лисицин. Застосування самовідновлюваних запобіжників для за- хисту напівпровідникових фотоелементів сонячних батарей	139	А. Фасоляк, Т. Слюсарова, А. Засовенко, І. Килимник, В. Онуфрієнко. Умови електри- чного пробією фрактального каналу польо- вого нанотранзистора	160
М. Ілашук, І. Орлецький, І. Козярський, Е. Майструк, Я. Мицканюк, В. Дроздик. Вплив технологічних факторів на електричні властивості діодів Шотткі графен/<i>p</i>-CdTe	141	М. Сорокатиї, В. Стребежев, І. Юрійчук. Механізми лазерної релаксації дефектів, термічних напруг та перехідних областей в фотоелектричних і оптичних структурах на базі CdSb, In_4Se_3, In_4Te_3	162
П. Генцарь, А. Міняйло, Д. Пекур, О. Вла- сенко. Оптична спектроскопія високоомних монокристалів CdTe(111) та твердих розчи- нів $Cd_{1-x}Zn_xTe$ в області фундаментального оптичного переходу E_0	143	Я. Лепіх, В. Янко, П. Снігур. Метод інтеле- ктуалізації датчиків на основі елементів на поверхневих акустичних хвилях	164
І. Козярський, Д. Козярський, Е. Майструк, Г. Андрущак, Е. Касс, П. Голохвастов. Фізичні параметри гетероструктури $CuMoO_4/p-Si$	145	М. Буланий, О. Коваленко. Вплив ультра- звуку на фотолюмінесценцію кристалів сульфіду цинку	165
О. Коваленко, В. Воровський. Магнітний момент іонів Mn^{2+} в нанокристалах ZnO:Mn	147	С. Кахерський, О. Шаповалов, Р. Пшенич- ний, А. Опанасюк. Оптимізація процесів синтезу нанокристалів ZnO та їх структурні характеристики	166
О. Гапонов, Ф. Шуцін, М. Зялик. Вплив домішки PbO на електричні параметри оксидно-олов'яних варисторів	149	О. Коваленко, С. Мазурик. Розробка мето- дів прогнозування властивостей напівпро- відникової металооксидної полікристаліч- ної кераміки	168
М. Пашенко, В. Волобуєв, О. Гагіна, Д. Ку- рбатов, А. Опанасюк. Структурні характери- стики плівок $CdZnTeSe$ для створення детек- торів жорсткого іонізуючого випроміню- вання	151	М. Сльотов, О. Сльотов, О. Кінзерська, В. Мельник. Фотосенсори на основі $\alpha-ZnSe$	169
М. Сльотов, О. Сльотов, Г. Поцілуйко-Гри- горяк, А. Скрипничук. Джерела випроміню- вання на основі сульфоселенідів цинку	153	О. Морозов, М. Буланий. Визначення дис- персій функцій Гауса складових спектра фотолюмінесценції кристалічних люміно- форів	171
		Б. Лисицин, О. Вашерук. Системи актив- ного контролю ростових параметрів вирощу- ваних злитків із розплаву	173

Секція V. ФІЗИЧНІ ЯВИЩА В
МАТЕРІАЛАХ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ
ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ОТРИМАННЯ

В. Євдокименко, Р. Пшеничний, О. Klymov,
А. Опанасюк, V. Muñoz-Sanjósé. **Оптимізація
структури і фазового складу шарів SnS
шляхом їх відпалів** 175

A. Latyshova, M. Derhachov, V. Moiseienko.
**Raman spectra of opal-Pb₃(P_{0.5}V_{0.5}O₄)₂ nano-
composite between 290 K and 470 K** 177

С. Лягушин, О. Соколовський. **Особливо-
сті узагальненої індукції та матеріальних
рівнянь для моделі Дікке** 178

I. Bilynskyi, R. Leshko, Kh. Metsan. **Optical
properties of GaAs/AlAs heterosystem with
acceptor impurity in electric field** 180

V. Mukharovska, V. Moiseienko, M. Derha-
chov. **Fabrication and characterization of opal-
based photonic thin film hetero-crystals** 181

Є. Сетов. **Розрахунок електронно-коли-
вальних переходів у молекулі
2-(2'-гідроксифеніл)безоксазолу** 182

O. Sushko, M. Derhachov, S. Ryabtsev, Yu.
Potapovych, S. Popov. **Fabrication, structure
and electrical properties of Ga₂O₃/porous-
Si/Si heterostructures** 183

Ю. Ваксман, О. Карауш, Г. Коренкова,
Ю. Ніцук. **Отримання люмінесцентних
наночастинок селеніду галію колоїдним
методом** 184

Д. Волнянський, М. Трубіцин, І. Волнян-
ська. **Методика отримання експериментал-
ьних зразків монокристалів молібдатів
свинцю** 185

А. Соколовський, К. Гапоненко. **Узагаль-
нення формули больцмана в теорії рівнова-
жних флуктуацій** 187

В. Короновський, Ю. Вакула. **Оптичні
дослідження проявів магнітоелектричного
ефекту в плівках ферит-гранатів** 189

А. Кривченко, М. Трубіцин, М. Волнянсь-
кий. **Структура монокристалів PbMoO₄ та
Pb₂MoO₅** 191

О. Лісовенко, О. Д'яченко, А. Опанасюк.
**Структура наночастинок Zn₂SnO₄ для
застосування в фотоелектричних перетво-
рювачах** 193

Р. Балабай, М. Науменко. **Електронні вла-
стивості наноструктур на основі β-оксиду
галію** 195

Є. Скрипник, М. Трубіцин, А. Дяченко,
Ю. Потапович, Дж. Алнашеф, О. Дьошина.
**Анізотропія іонної провідності в моно-
кристалах LiNaGe₄O₉** 197

В. Башев, О. Кушнерьов, С. Рябцев. **Вплив
швидкості охолодження на структуру та
фізичні властивості високоентропійного
сплаву CoCrFeNiMnBe** 199

В. Наход, Ю. Івановський, О. Замуруєва,
С. Федосов. **Моделювання гетеро-
структур** 201

М. Скіпалький, Ю. Івановський, О. Замуру-
єва, С. Федосов. **Наноструктури для опто-
електронної техніки** 202

В. Британ, А. Ольшанецький. **Темпера-
турно-часові режими пасивації воднем
електрично-активних центрів у моно-
кристалах A²B⁶** 203

С. Рябцев, О. Кушнерьов, Н. Куцева. **Плі-
вки Fe-Si-B-(Cu,Nb,Ni,Mo) отримані загар-
туванням з пароподібного стану** 205

О. Камуз, Д. Хміль, Б. Снопко. **Визначення
об'ємного коефіцієнта поглинання мутного
середовища** 207

P. Minaiev, V. Skalozub. **Parametric space
for 2HDM and generation of magnetic
fields** 209

V. Skalozub, A. Turinov. **Quark propagation
at Polyakov's loop background** 210

I. Bilynskyi, R. Leshko, H. Bandura, V. Ka-
minskyi. **Electron an hole spectrum taking into
account deformation and polarization** 211

ВІРТУАЛЬНИЙ ЦИФРОВИЙ СИГНАЛЬНИЙ ПРОЦЕСОР МОРФОЛОГІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

А. Алексєєв, С. Вовк

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
wot2107@gmail.com

Розробка сучасних інструментальних засобів обробки сигналів та зображень потребує використання відповідного програмного забезпечення, яке реалізує необхідні для розв'язання цих задач методи та алгоритми. Важливу частину таких методів складають методи математичної морфології [1; 2; 3]. Варто зазначити, що на даний час існує велика кількість бібліотек з аналізу та обробки зображень, розроблених, зокрема, для мов Matlab, Python та C++. Такими є бібліотеки OpenCV, TensorFlow та Tesseract OCR. Ці бібліотеки реалізують багато методів математичної морфології, а відповідні системи, що засновані на них, використовуються у різних галузях промисловості, банківській сфері, медицині та криміналістиці. Утім під час здійснення будь-якої практичної розробки звичайно постає проблема закритості вихідного програмного коду цих бібліотек, що ускладнює як розробку нового програмного забезпечення, так і удосконалення існуючого. Окрім цього, зазначені бібліотеки реалізують не всі методи математичної морфології, а також не можуть повноцінно обробляти кольорові зображення. Тому метою даної роботи була розробка програмного забезпечення з відкритим програмним кодом на платформі Java, яке реалізує достатню кількість методів математичної морфології, є легкою у розумінні та використанні, а також уможливорює пришвидшення обробки у порівнянні із зазначеними бібліотеками.

Розроблене програмне забезпечення реалізовано у вигляді програмного додатку зі зручним графічним інтерфейсом користувача, за допомогою якого можна легко вводити зображення, обирати відповідне морфологічне перетворення або послідовність необхідних морфологічних перетворень та виводити результати обробки, а також значення певних ознак зображення для його аналізу. Зокрема, програмне забезпечення дозволяє проводити пекстральний аналіз зображень та отримувати певний геометричний спектр об'єктів, який є заснованим на понятті гранулометрії множин.

При розробці і подальшому тестуванні програмного забезпечення були використані фото та відео, які були отримані заздалегідь. За наявності відповідного обладнання, розроблене програмне забезпечення надає можливість працювати з відео у реальному часі. Для цього було створено окремий клас, який представляє собою камеру і надає безпосередній доступ до самої відеоінформації й фізичних особливостей камери таких, як діафрагма лінзи, орієнтація реальної камери у просторі, тощо. Всі ці параметри є змінними, що дозволяє найкращим чином здійснювати аналіз зображення під час використання різних камер. Під час отримання самого зображення або кадру з відео, воно переводиться в масив байтів, який являє собою монохромне зображення. Саме по собі використання монохромного зображення забезпечує використання невеликої кількості пам'яті для збереження і обробки зображень та, на відміну від бінарних зображень, зберігає зрозумілість сцени, поданого самим зображенням.

В першу чергу, розроблене програмне забезпечення реалізує базові методи морфологічних перетворень такі, як дилатація та ерозія. На їх основі реалізовано більш складні операції, зокрема, операцію заповнення, яка є послідовністю операцій ерозії та дилатації (за умови, що структурний елемент є однаковим для цих операцій), та операцію поповнення, яка, в свою чергу, спочатку використовує дилатацію, а потім ерозію [2, 3]. Ці методи надають змогу фільтрувати імпульсні завади на зображеннях та спотворення

границь перепадів яскравості. На рис. 1 продемонстровано прибирання імпульсного шуму «сіль та перець» з вихідного зображення.

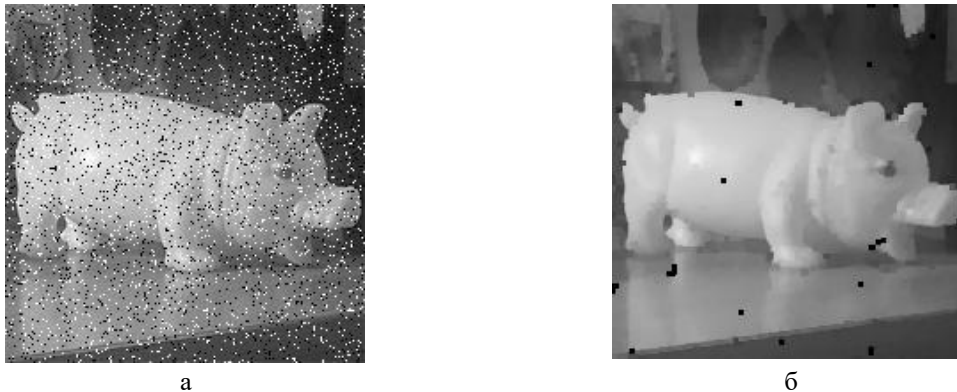


Рис.1. Застосування фільтра «заповнення-поповнення» для обробки спотвореного зображення:
а - вихідне зображення; б – результат обробки

Розроблене програмне забезпечення реалізує й інші методи математичної морфології, такі як підкреслення контурів, порівняння, стоншення або стовщення границь і т.д., які можуть використовуватись в залежності від потреб користувача. За допомогою додаткових методів та інформації про камери можна визначити розміри об'єкта, що відстежується, кількість об'єктів на зображенні, тощо. Усі методи розробленого програмного забезпечення написані з використанням бібліотек, інтегрованих в мову Java.

Отже, в поданій доповіді розглянуто побудову віртуального цифрового сигнального процесора для здійснення різних морфологічних перетворень над бінарними та напівтоновими зображень. Зазначено, що подане програмне забезпечення може бути використане для морфологічної обробки кольорових зображень, а також з метою автоматизації процесу розпізнання об'єктів на відео та оцінки їх параметрів.

- [1] Y. Zhou, B. Gao, Q. Zhang, et al., Application of mathematical morphology operation with memristor-based computation-in-memory architecture for detecting manufacturing defects, *Fundamental Research* Vol. 2, (2022), P. 123-130
- [2] Вовк С.М. Ахметшин О.М. Вступ до методів морфологічної обробки зображень: Навч. посіб. – Д.: РВВ ДНУ, 2000. – 52 с.
- [3] Вовк С.М., Гнатушенко В.В., Бондаренко М.В. Методи обробки зображень та комп'ютерний зір: навч. посіб. – Д.: Ліра, 2016. – 148 с.

VIRTUAL DIGITAL SIGNAL PROCESSOR OF MORPHOLOGICAL TRANSFORMATIONS

A. Alekseev, S. Vovk

*Oles Honchar Dnipro National University
wot2107@gmail.com*

Based on the Java platform, constructing a virtual digital signal processor for performing morphological transformations for binary, halftone and color images is considered.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ КОЛЬОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ У КОЛІРНИХ ПРОСТОРАХ RGB ТА YCbCr

В. Ребров, В. Лукін

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

mr.vladimirrebrov@gmail.com, v.lukin@khai.edu

Кольорові (триканальні) зображення часто зустрічаються і використовуються в повсякденному житті. Вони застосовуються в медичній діагностиці, дистанційному зондуванні з авіаційних носіїв і з космосу, численних мультимедійних додатках. На практиці усі кольорові зображення неминуче спотворені шумом в більшій чи меншій мірі через базовий принцип їх формування та внаслідок інших факторів.

Зазвичай припускають, що характеристики завад в усіх компонентних зображеннях є ідентичними, але на практиці це не так. В зеленій компоненті інтенсивність шуму зазвичай є меншою. Тож аналіз проводиться нами для тестових зображень, наведених на *рисунку 1*, для яких моделювався адитивний гаусів шум із значеннями дисперсії, рівними 30, 60, 120 для зеленої та 60, 120, 240 для червоної та синьої компоненти. Нами розглядалися методи тривимірної фільтрації на основі дискретного косинусного перетворення (ДКП), для яких показники фільтрації можна оптимізувати за рахунок встановлення коефіцієнту β , який використовується для розрахунку жорстких порогів [1].



Рисунок 1 - Базові зображення № 1, 5, 7 та 23 з бази TID 2008

Для оцінки якості фільтрації зображень будемо використовувати метрику PSNR-HVS-M, яка враховує систему зору людини [2]. Також використовувалася метрика FSIMc, яка є однією з найкращих для опису візуальної якості кольорових зображень. Для обох метрик більші значення відповідають більш високій якості, але метрики змінюються в різних межах. Для метрики PSNR-HVS-M значення наведені в дБ, для FSIMc значення змінюються в межах від 0 до 1.

Метою аналізу було перевірити, чи використання колірної моделі YCbCr [3] дозволяє досягти виграву у порівнянні із обробкою на основі ДКП в просторі RGB. Результати фільтрації зображень для обох колірних моделей наведені в *таблиці 1*. Зазначимо, що після перетворення з RGB до YCbCr значення дисперсій в компонентах змінюються та стають трохи меншими в компоненті Y, ніж у компонентах Cb та Cr, де вони приблизно однакові.

З аналізу отриманих результатів видно, що при фільтрації більш складних за структурою зображень №1 та №5 на *рисунку 1* у колірній моделі RGB значення метрики PSNR-HVS-M на 1-3 дБ кращі у порівнянні із відповідними значеннями метрик, отриманими при фільтрації зображень у форматі YCbCr. Для більш простих за структурою зображень №7 і №23 на *рисунку 1*, що оброблені у форматі RGB, значення метрик PSNR-HVS-M в середньому на 0,86 дБ більше в порівнянні зі значеннями метрик

для зображень, оброблених у форматі YCbCr. Про переваги обробки у кольоровому просторі у форматі RGB свідчать і значення метрики FSIMc.

Аналіз також показує, що для випадку дисперсій 60, 30, 60 в оброблених зображеннях остаточно викривлення не спостерігаються, а для значень дисперсії 120, 60, 120 та, особливо, 240, 120, 240 викривлення в оброблених зображеннях легко помітити.

Таблиця 1 – Порівняння результатів фільтрації

№	R, Y	G, Cb	G, Cr	PSNR-HVS-M, дБ						FSIMc	
				RGB			YCbCr			RGB	YCbCr
				R	G	B	R	G	B		
1	60, 12,15	30, 15,93	60, 15,43	39,96	41,91	40,20	36,26	40,12	37,51	0,994	0,993
	120, 24,31	60, 31,87	120, 30,86	36,44	38,13	36,79	32,55	36,0	34,18	0,989	0,985
	240, 48,62	120, 63,75	240, 61,73	33,10	34,52	33,38	30,31	32,22	31,02	0,981	0,971
5	60, 12,15	30, 15,93	60, 15,43	39,76	41,96	39,37	37,46	41,08	37,86	0,996	0,995
	120, 24,31	60, 31,87	120, 30,86	36,11	38,23	35,84	33,53	37,21	34,26	0,992	0,991
	240, 48,62	120, 63,75	240, 61,73	32,70	34,62	32,63	29,94	33,23	30,88	0,986	0,982
7	60, 12,15	30, 15,93	60, 15,43	39,44	41,84	39,52	38,01	41,98	38,70	0,995	0,994
	120, 24,31	60, 31,87	120, 30,86	36,21	38,57	36,42	34,84	37,90	35,64	0,991	0,989
	240, 48,62	120, 63,75	240, 61,73	33,24	35,40	33,34	31,71	34,71	32,66	0,986	0,983
23	60, 12,15	30, 15,93	60, 15,43	38,82	41,27	38,76	37,94	40,49	37,84	0,993	0,992
	120, 24,31	60, 31,87	120, 30,86	36,05	38,68	35,95	35,20	37,75	35,11	0,989	0,987
	240, 48,62	120, 63,75	240, 61,73	33,45	36,24	33,32	32,63	35,18	32,58	0,984	0,980

- [1] Lukin, V. et al. (2015). DCT-Based Color Image Denoising: Efficiency Analysis and Prediction. In: Celebi, E., Lecca, M., Smolka, B. (eds) Color Image and Video Enhancement.; pp. 55–80.
- [2] Анализ эффективности методов сжатия изображений в соответствии с различными критериями качества / В. В. Лукин, Н. Н. Пономаренко, С. С. Кривенко. – Х. ХНУРЕ: Радиоелектроника и інформатика, 2007. – с. 85-90.
- [3] Rastislav Lukac, N. P. Konstantinos: Color image processing methods and applications. - K.: Taylor & Francis Group, Florida, 2007 – p. 600.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FILTERING EFFICIENCY OF COLOR IMAGES IN RGB AND YCbCr COLOR SPACES

V. Rebrov, V. Lukin

National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"
mr.vladimirrebrov@gmail.com, v.lukin@khai.edu

The purpose of this work was to carry out comparative analysis of 3D image filtering efficiency in RGB and YCbCr color models. Three-dimensional DCT-based filters were used for denoising images with different variance values in RGB components with recalculation of noise variance when converting images from the RGB color model to YCbCr.

From the analysis of the obtained results, it can be seen that when filtering the structurally more complex images №1 and №5 the RGB color model, the values of the PSNR-HVS-M metric are 1-3 dB better than the corresponding values of the metrics obtained when filtering images in YCbCr format. For images №7 and №23 processed in RGB format, which are simpler in structure, the values of PSNR-HVS-M metrics are on average 0.86 dB higher than the corresponding values of the metrics obtained when filtering images in YCbCr format.

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТЕКСТІВ НАУКОВИХ РОБІТ ЩОДО ЇХ ВІДПОВІДНОСТІ ВИМОГАМ ДО ПУБЛІКАЦІЇ

А. Прошин, Т. Прокоф'єв

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
taurusspr@gmail.com, prokofjjev@ffeks.dnu.edu.ua*

Метою роботи було створення нейронної мережі, яка була б здатна аналізувати тексти на відповідність вимогам щодо наукових статей. У якості критеріїв було обрано об'єм тексту (7–8 сторінок тексту без картинок), наявність назви, автора, ключових слів, основної частини, висновків та літератури, а також частота вживання ключових слів.

Оскільки нейронна мережа є математичною моделлю мережі нейронних клітин, а наукова стаття є авторським твором, що описує результати оригінального наукового дослідження, постає задача інтерпретації даних для їх подальшої обробки нейронною мережею.

Власне кажучи, нейронна мережа працює лише з цифрами. Тому треба було вирішити задачу інтерпретації тексту у вигляді цифрового коду. При цьому для роботи з текстом було застосовано алгоритм, який зчитував би символи тексту та згідно таблиці ASCII символів підставляв відповідні цифрові значення. Отриманий цифровий масив подавався на входи нейронної мережі, яка видавала результат у вигляді десяткового дробу від нуля до одиниці.

Для навчання нейронної мережі було створено вибірку з текстів, з акцентом на різноманітність можливих варіантів. У якості критеріїв було обрано недостатній або завищений об'єм, відсутність сегментів з інформацією про автора, ключові слова і літературу та відсутність вживання ключових слів. У якості навчального критерію було обрано “відстань” від 0 до 1. Чим більше текст відповідав критерію, тим ближче до 1 видавався результат. Після створення навчальної вибірки нейронна мережа створює власне уявлення про перераховані критерії і після цього при роботі з незнайомим текстом зможе його опрацювати та видати відповідний вердикт. Чим більшим буде отриманий десятковий дріб, тим більше поданий текст відповідає наданим критеріям.

В результаті було отримано нейронну мережу, яка спроможна аналізувати наукові тексти на їх відповідність вимогам до публікації.

APPLICATIONS OF NEURAL NETWORKS TO ANALYZE THE TEXTS OF SCIENTIFIC PAPERS REGARDING THEIR COMPLIANCE WITH THE PUBLICATION REQUIREMENTS

A. Proshchyn, T. Prokofiev

*Oles Honchar Dnipro National University
taurusspr@gmail.com, prokofjjev@ffeks.dnu.edu.ua*

The possibility of using neural networks to analyze texts for compliance with the criteria of a scientific article is considered. The conversion can be performed based on the ASCII character table or other numeric codes.

БУФЕРНІСТЬ КОНДИВЕРГЕНТНОГО ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО ПРОЦЕСУ В МОДЕЛІ КОЛИВАЛЬНОЇ ДИНАМІКИ ФРАКТАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

В. Онуфрієнко, О. Онуфрієнко

*Національний університет «Запорізька політехніка», машинобудівний інститут
onufr@zpu.edu.ua*

В задачах радіоелектроніки актуалізується розгляд феномену буферності у зв'язку з моделюванням процесів пам'яті та створенням запам'ятовуючих комірок, зокрема, проектування стабільних автогенераторів пов'язане з необхідністю боротьби з буферністю як з паразитним фактором. Інтерес до вивчення зазначеного феномену пов'язаний з необхідністю теоретичного розгляду основних моделей відтворення явищ у просторі і часі.

Далі розглядаються математичні аспекти виникнення і опису феномену буферності коливальних процесів у моделях автогенераторів фрактального типу. Вимірюванням протяжності фрактальної частини контуру, що проектується на відрізок осі, визначається зв'язок між кількістю елементів покриття та їх розміром і що описується функціональним рівнянням у α – характеристиках Коші, а довжина ланки ламаної лінії визначається за допомогою засобів інтегро-диференціального дробового числення з диферінтегралом $\left({}_a^{\alpha}ID_x^{\alpha(x)}f \right)(x)$ [1].

Як фрактальний об'єкт в задачах розглядається шар, що утворений 2^α -полями (для граничного значення $\alpha=1$, маємо класичний диполь) з моментом $ID^\alpha \bar{p}(\bar{r}, t) = \bar{z}_0 p ID_r^{\alpha 1} \delta(\bar{r} - \bar{r}') ID_t^{\alpha 2} \delta(t - t')$, де $\delta(u - u')$ - дельта-функція Дірака

$$ID_u^\beta \delta(u - u') = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\beta)} \frac{1}{(u - u')^{1-\beta}}, & a < u' < u; \\ 0, & u < u'. \end{cases} \quad (1)$$

З (1) ми пов'язуємо означення функції Гріна $G^{(\alpha)}(\bar{r}, \bar{r}'; t, t')$ та α – характеристик компонент електричного і магнітного векторів напруженості. Як результат, стоко-джерельна функція Гріна $G^{(\alpha)}(\bar{r}, \bar{r}'; t, t')$ складається із просторової $ID_r^{\alpha 1} \delta(\bar{r} - \bar{r}')$ та часової $ID_t^{\alpha 2} \delta(t - t')$ частин, чим ураховано геометричну і часову фрактальність радіоелементів.

Використання кондивергентного оператора в рівняннях неперервності потоків поля сукупності електричних і магнітних стоко-джерельних елементів дозволяє сформулювати фрактальну модель динаміки коливальних фрактальних об'єктів для системи Вітта. Ця крайова задача є математичною моделлю автогенератора, у вигляді систем диферінтегральних рівнянь з дробовими частинними похідними деякого γ – порядку, що описують геометричну і часову структуру реального процесу. Кожний окремий процес описується розв'язком такої системи рівнянь з виділенням окремого розв'язку за заданими межовими та початковими умовами.

Для дослідження буферності у випадку фрактально конфігурованої по координаті x , $0 \leq x \leq 1$, лінії довжиною l , розглядаємо у вигляді (u та i – нормовані складові напруги й сили струму в лінії):

$$\frac{\partial^\alpha u}{\partial t^\alpha} = -\frac{\partial^{1+\beta} i}{\partial x^{1+\beta}}, \quad \frac{\partial^\alpha i}{\partial t^\alpha} = -\frac{\partial^\beta u}{\partial x^\beta} - ri, \quad (2)$$

$$i|_{x=0} = rk_1(u - u^3/3)|_{x=0}, \quad k_2 \frac{\partial^\beta i}{\partial x^\beta}|_{x=1} + i|_{x=1} = 0.$$

Фізичні характеристики фрактального автогенератора: $r = IR\sqrt{C/L}$, $k_2 = C_0/(Cl)$, k_1 – коефіцієнт підсилення, α ; β – скейлінгові показники фрактальності відповідно у часі і просторі.

У математичному плані утворилась лінійна система диферінтегральних рівнянь (2) з нелінійністю в одній з граничних умов у лінії з просторовим скейлінгом.

Дослідженням впливу скейлінгу на явище буферності виявлено, що варіюванням параметрів можна гарантувати існування в системі Вітта будь якого скінченного числа стійких циклів, а положення точок біфуркаційного переходу від нестійкого до стійкого циклу залежать від величини α та β , що стимулює подальші теоретичні дослідження ередитарних і гістерезисних процесів у системі.

Розгляд ланцюжків фрактальних елементів із зосередженими параметрами є основою для подальшого вивчення ряду закономірностей розвитку просторово-часового хаосу у суцільному середовищі. Чисельне моделювання α -характеристик за допомогою засобів MatLab демонструє можливість вивчення перебігу зазначених буферних процесів у схемі фрактального транзистора [2], що для нефрактальної моделі збігаються з відомими даними експериментальними і теоретичними даними [3].

- [1] Онуфрієнко В.М. Електромагнітні приповерхневі властивості фрактально структурованих металів. Вісник ДНУ. Т.16. № 2/1. (2008). С.150-157.
- [2] Onufrienko, V.M. Capacitance-voltage differintegral characteristics of fractal field-effect device / Journal of Physics and Electronics. 2020. Vol. 28(2). PP. 57-62; DOI 10.15421/33202157.
- [3] Cobbold R. Theory and Application of Field-effect Transistors. Wiley-Intersc. (1970).

BUFFERING OF THE SPACE-TIME CONVERGENT PROCESS IN THE MODEL OF FRACTAL OBJECTS OSCILLATORY DYNAMICS

V. Onufrienko, O. Onufrienko

*Dep. of Engineering, National University «Zaporizhzhia Polytechnic»
onufr@zp.edu.ua*

The paper considers the mathematical aspects of the buffering oscillatory processes studying in fractal-type autogenerator models. The definition of the condivergent operator in the continuity equations of the field flows of electric and magnetic drain-source element sets is used. A fractal model of the dynamics of oscillating fractal objects for the Witt system is formulated in the differential equations systems form with fractional partial derivatives. The scaling impact on the buffering phenomenon has been studied. MatLab tools using for numerical characteristics modeling demonstrates the possibility of buffer processes studying in the fractal transistor circuit.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТОНКОПЛІВКОВОГО СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТА З ВЕРТИКАЛЬНО ОРІЄНТОВАНИМИ НАНОДРОТАМИ

О. Гниленко¹, С. Плаксін²

¹Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

²Інститут транспортних систем і технологій НАН України
svp@westa-inter.com, gnilenko@ua.fm

Тонкоплівкові сонячні елементи (СЕ) на основі аморфного кремнію одержали широке розповсюдження завдяки простій технології виготовлення, відносно невеликій вартості та гнучкості використання. Однак, недоліком всіх сонячних елементів з аморфного кремнію є невеликий в порівнянні з СЕ з кристалічного кремнію коефіцієнт корисної дії, який в загальному випадку не перевищує 8%-10%. Це змушує постійно шукати нові конструктивні рішення, що дозволяють підвищувати ефективність фотоелектричних перетворювачів з аморфного кремнію. В останні роки такі конструктивні рішення активно використовують досягнення в галузі нанорозмірних технологій, наприклад, текстурування поверхонь СЕ, впровадження в структуру СЕ металевих наночастинок або формування СЕ у вигляді нанодротів [1,2].

Конструкція розглянутого в цьому дослідженні фотоелектричного перетворювача являє собою звичайний тонкоплівковий сонячний елемент з аморфного кремнію, на освітлюваній поверхні якого сформовані вертикально орієнтовані нанодроти, структурно інтегровані з базовим сонячним елементом. Нанодроти утворюють на поверхні сонячного елемента регулярну решітку, яка ефективно утримує сонячне випромінювання та значно збільшує фотоактивну поверхню, особливо при похилому падінні сонячних променів. Оскільки подібна структура занадто складна для моделювання, доцільно розглянути модель, обмежену одним нанодротом та певною областю базового сонячного елемента, площа якої відповідає щільності решітки з нанодротів. За умов, коли нанодроти решітки не впливають суттєво один на одного (не відбувається взаємного затінення), отримані результати можна узагальнити на повний сонячний елемент.

Тривимірний модель досліджуваного сонячного елемента зображена на рис. 1, а на рис. 2 показана структура сонячного елемента в поперечному перерізі.

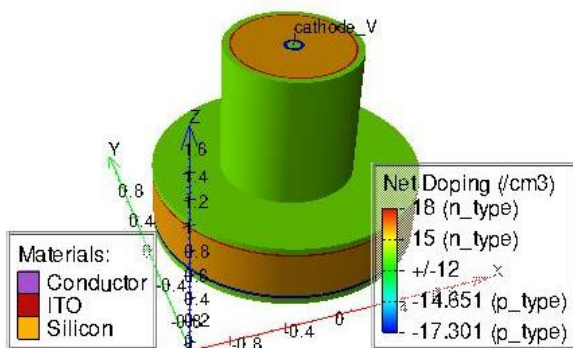


Рис. 1 – Тривимірний вигляд моделі СЕ

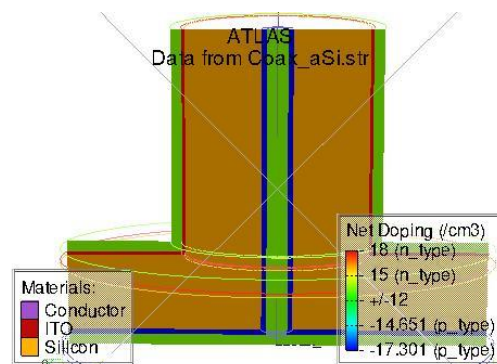


Рис. 2 – Структура СЕ в поперечному перерізі

Тривимірний модель досліджуваного сонячного елемента складається з базової р-і-п структури з традиційним розташуванням р-п переходів в горизонтальній площині та з нанодроту, який утворений коаксіальною р-і-п структурою з вертикальною орієнтацією р-п переходів. Базова структура та нанодріт мають об'єднані поглинаючий шар з низьколегованого аморфного кремнію, високолеговані дифузійні шари та прозорі електроди з оксиду індію олова.

Для моделювання була використана система автоматизованого технологічного проектування Silvaco TCAD [3]. Моделювання було виконано для нормально орієнтованого сонячного освітлення з інтенсивністю 1 сонце за умов освітленості AM1.5. У дослідженні проведений аналіз поведінки вольтамперних характеристик та основних фотовольтаїчних параметрів СЕ в залежності від висоти нанодроту та від співвідношення радіусів базової структури та нанодроту, що є мірою щільності розташування нанодротів в решітці (див. рис. 3,4).

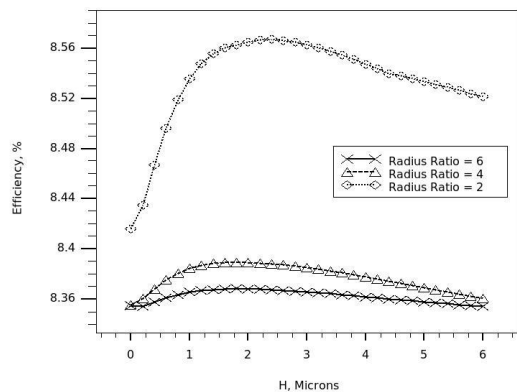


Рис. 3 – Залежність ККД від висоти нанодроту

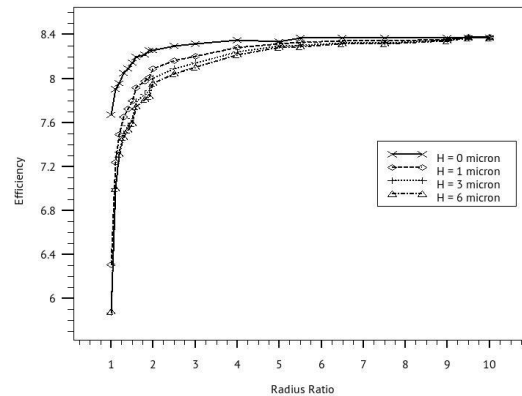


Рис. 4 – Залежність ККД від співвідношення радіусів

- [1] Buryk I.P, Odnodvoret L.V., Khyzhnya Ya.V. Simulation of Parameters of Coaxial Solar Cells Based on Si and InP Nanowires. J. of Nano- and Electronic Physics. Vol. 13, No. 1. (2021). 01012(5cc).
- [2] Li H.H., Yang P.Yu., Chiou S.M, Liu H.W., Cheng H.C. A Novel Coaxial-Structured Amorphous-Silicon p-i-n Solar Cell with Al-Doped ZnO Nanowires. IEEE Electron Device Letters. Vol. 32, No. 7. (2011). P. 928-930.
- [3] ATLAS User's Manual. Santa Clara, CA: Silvaco, 2004.

COMPUTER SIMULATION OF A THIN FILM SOLAR CELL WITH VERTICALLY ORIENTED NANOWIRES

A. Gnilenko¹, S. Plaksin²

¹*Oles Honchar Dnipro National University*

²*Institute of Transport Systems and Technologies NASU
gnilenko@ua.fm, svp@westa-inter.com*

The results of the computer simulation of an amorphous silicon thin film solar cell consisted of a base solar cell with horizontally oriented p-i-n structure and vertically oriented nanowires with radial p-i-n structure are presented. The voltage-current characteristics and basic photovoltaic parameters are obtained and the influence of nanowires height and location density on the solar cell efficiency is studied. The efficiency of the solar cell increases with the raise of the nanowire height and reaches for a height of 2 micrometers its maximum value.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ПІД ЧАС АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ МІСТА

О. Поліщук¹, М. Яджак^{1, 2}

¹Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача

НАН України

²Львівський національний університет імені Івана Франка

yadzhak_ms@ukr.net

У праці [1] запропоновано методику комплексного оцінювання стану та процесу функціонування мережевих систем із повністю впорядкованим рухом потоків. Ця методика була апробована на прикладі залізничної транспортної системи. Не менш важливими для забезпечення сталого розвитку суспільства є системи із частково впорядкованим рухом потоків, тобто такі, в яких рух лише частини потоків відбувається за певним графіком. Прикладами таких об'єктів є автотранспортні системи (АТС) великих міст. Відомі математичні моделі достатньо адекватно описують процеси, що відбуваються в АТС у некритичних умовах їхнього функціонування, однак не можуть вирішити, наприклад, проблему критичного завантаження шляхів у години пік, визначити причини виникнення заторів тощо. Застосування методів інтерактивного оцінювання поведінки систем із повністю впорядкованим рухом потоків, як засобу неперервного моніторингу функціонування АТС виявляється не зовсім зручним унаслідок наявності великої кількості негативних випадкових впливів (ДТП, кліматичні умови, загроза терористичного акту, початок військових дій і т. ін.), які порушують усталений режим функціонування. Тому для оцінювання і прогнозування стану АТС міста пропонується інтерактивна методика на основі методу U -статистик [2], який ефективно застосовується для верифікації достовірності прогнозів поведінки складних систем, адекватності їхніх математичних моделей тощо. Ця методика поєднує локальне, прогностичне та агреговане оцінювання складових системи і ґрунтується на використанні значних обсягів вхідних даних, які надходять у режимі реального часу. Тому для її ефективної реалізації на сучасних обчислювальних засобах необхідно розробляти та досліджувати відповідні паралельні алгоритми обчислень, що і є основною метою цієї роботи.

Нами формалізовано процедури локального та агрегованого оцінювання об'єктів АТС міста. Зокрема, локальне оцінювання полягає у виконанні наступних кроків [2]:

- визначення сукупностей середнього реального та середнього очікуваного часів проходження засобами громадського транспорту (ЗГТ) елементарних ділянок, які утворюють автотранспортну мережу (АТМ) міста, протягом заданого періоду;
- обчислення головної U_{ij} - та U_{ij}^m -, U_{ij}^s -, U_{ij}^c -статистики руху на i -й ділянці АТМ протягом періоду $[0, t_j]$ для $i = \overline{1, L}$; $t_j \in [00:00, 24:00]$;
- формування на підставі обчислених значень U -статистик уточнених бальних оцінок $e_{U_{ij}}$, $e_{U_{ij}^m}$, $e_{U_{ij}^s}$, $e_{U_{ij}^c}$ їх поведінки протягом періоду $[0, t_j]$;
- одержання узагальненого висновку E_{ij} про поведінку сукупності середнього реального часу проходження ЗГТ i -ої елементарної ділянки протягом періоду $[0, t_j]$.

Таку процедуру оцінювання можна використати і для дослідження ефективності роботи світлофорів. У цьому разі сукупності середнього реального та середнього очікуваного часів проходження ЗГТ елементарних ділянок інтерпретуються відповідно як реальні та очікувані значення часів затримки транспортних засобів перед світлофором.

Процедура агрегованого оцінювання ґрунтується на побудові узагальнених висновків для сукупностей локальних оцінок, які характеризують стан ребер, підмереж районів та інфраструктури АТС міста загалом. Прогностичне оцінювання передбачає прогнозування поведінки окремих оцінок.

Для реалізації в режимі реального часу процедур локального та агрегованого оцінювання складових АТС міста застосовано паралельно-послідовний підхід. Зокрема, для паралельного опрацювання даних під час локального оцінювання нами на основі використання примітивів *fork*, *join* (галуження, злиття) запропоновано конструкцію:

$$\begin{aligned} & \text{fork}(h_1^a, h_2^a, \dots, h_{2N_\Sigma}^a) \text{ join} \\ & \text{fork}(h_1^{nor}, h_2^{nor}, \dots, h_{3N_\Sigma}^{nor}) \text{ join} \\ & \text{fork}(h_1^U, h_2^U, \dots, h_{4N_\Sigma}^U) \text{ join} \\ & \text{fork}(h_1^e, h_2^e, \dots, h_{4N_\Sigma}^e) \text{ join} \\ & \text{fork}(h_1^E, h_2^E, \dots, h_{N_\Sigma}^E) \text{ join}. \end{aligned}$$

У цій конструкції $N_\Sigma = N_1 + N_2 + \dots + N_L$; h_l^a ($l = \overline{1, 2N_\Sigma}$), h_l^{nor} ($l = \overline{1, 3N_\Sigma}$), h_n^U , h_n^e ($n = \overline{1, 4N_\Sigma}$) та $h_{n_1}^E$ ($n_1 = \overline{1, N_\Sigma}$) – набори автономних паралельних гілок, в кожному з яких обчислюються відповідно сукупності середнього реального і очікуваного часів; норми, що використовуються під час знаходження значень U -статистик [2]; значення статистик; оцінки $e_{U_{ij}}$, $e_{U_{ij}^m}$, $e_{U_{ij}^s}$, $e_{U_{ij}^c}$ та узагальнені висновки E_{ij} ; $j = \overline{1, N_i}$; $i = \overline{1, L}$.

Запропоновано алгоритмічні конструкції для паралельної реалізації агрегованого та прогностичного оцінювання. Одержано оцінки прискорення, які підтверджують високу ефективність організації паралельних обчислень.

- [1] Поліщук Д.О., Поліщук О.Д., Яджак М.С. Комплексне детерміноване оцінювання складних ієрархічно-мережових систем: І. Опис методики. Системні дослідження та інформаційні технології. № 1. (2015). С. 21–31.
- [2] Поліщук О.Д., Яджак М.С. Аналіз ефективності функціонування автотранспортної системи міста методами U -статистик. І. Інтерактивне оцінювання результатів неперервного моніторингу. Кібернетика та системний аналіз. № 3. (2022). С. 134–145.

ORGANIZATION OF PARALLEL COMPUTATIONS FOR ANALYZING OPERATION EFFICIENCY OF A CITY MOTOR TRANSPORTATION SYSTEM

O. Polishchuk¹, M. Yadzhak^{1,2}

¹*Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics NAS of Ukraine*

²*Ivan Franko National University of Lviv*
yadzhak_ms@ukr.net

An interactive technique for evaluation the state of the city's motor transport system using the U -statistics method is considered. It combines methods of local, prognostic and aggregated evaluation of system components. Effective parallel computation algorithms to implement this technique in real time are proposed.

ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СІМЕЙНОГО ЛІКАРЯ

А. Данильченко, М. Андрєєв

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
helen.dan.ua@gmail.com*

Раніше медичні компанії покладалися на "локальні обчислення", що просто означає, що вони мали налаштовувати все локально у своїх офісах, від веб-серверів, баз даних, програмного забезпечення до мережових кабелів, в основному всю інфраструктуру, яка допомагає онлайн-бізнесу виживати. Деякі клініки сімейної медицини зіткнулися з проблемою нестачі ресурсів під час збільшення захворюваності – генерується настільки велика кількість трафіку, що центральний процесор, накопичувач та інші апаратні компоненти не можуть впоратися, і сервер виходить з ладу. Подібні сценарії були дуже поширеними, тому медичний бізнес часто купував додатковий веб-сервер для вирішення цієї проблеми, але зараз проблема полягає в тому, що бізнес віддав величезну частину грошей на додатковий веб-сервер лише для того, щоб пережити декілька днів перенавантаження, а протягом решти часу щойно придбаний сервер просто не використовувався. Хмарні обчислення виникли для вирішення такого типу проблем, тому їх впровадження в медичні інформаційні системи є досить актуальною проблемою. Зокрема, використання хмарних технологій в інформаційно-комунікаційній системі сімейного лікаря могло б дозволити підвищити ефективність її застосування.

В загальному розумінні хмарні обчислення – це надання комп'ютерних послуг, включаючи сервери, бази даних, сховище, мережу, програмне забезпечення, через Інтернет ("хмара") [1]. Замість того, щоб мати власну обчислювальну інфраструктуру чи центри обробки даних, компанії можуть орендувати цю інфраструктуру та її ресурси у постачальника хмарних послуг і використовувати її ресурси просто через Інтернет. Проблеми, які вирішують хмарні обчислення:

- **Вартість** – хмарні обчислення усувають необхідність купувати обладнання та програмне забезпечення, налаштовувати інфраструктуру на місці та експертів для управління інфраструктурою.
- **Швидкість** – лише кількома клацаннями миші можна встановити нову інфраструктуру та обслуговувати своїх клієнтів.
- **Масштаб** – можна автоматично налаштувати та запланувати розгортання додаткових ресурсів на сервері, щоб робота бізнесу залишалася безперебійною.
- **Ефективність** – центри обробки даних регулярно оновлюються апаратним забезпеченням останнього покоління, щоб надавати швидкі та ефективні послуги.
- **Безпека** – хмарні постачальники пропонують різноманітні рішення, які допоможуть досягти рівня безпеки, необхідного сьогодні для захисту від хакерів.
- **Надійність** – хмарні обчислення виконують резервне копіювання даних, аварійне відновлення, що забезпечує легше та менш напружене середовище для підтримки вашої інфраструктури.

Трійкою великих постачальників хмарних послуг сьогодні є AWS (Amazon Web Services), Microsoft Azure і Google Cloud. Ці три компанії мають численні центри обробки даних, розташовані по всьому світу, щоб обслуговувати клієнтів найшвидше та найефективніше [2].

Завдяки хмарним технологіям, ми маємо в своєму розпорядженні спільний пул комп'ютерних ресурсів (сервери, сховище, програми тощо). Коли потрібно більше ресурсів, все, що необхідно зробити – це їх запитати. Негайне надання ресурсів – це нескладна справа для хмари. Можна звільнити ресурси, коли вони не потрібні. Таким чином, користувач платить лише за те, що використовується, а хмарний провайдер подбає про все обслуговування. Процес інтеграції технології хмарних обчислень у послуги охорони здоров'я забезпечує економію коштів, легкий обмін даними, персоналізовану медицину, телемедицину та інші переваги. Багато постачальників медичних послуг також використовують хмарні системи в галузі охорони здоров'я для безпечного зберігання даних, резервного копіювання та пошуку цифрових записів.

Для сімейного лікаря пропонується використання хмарних інформаційних систем управління, щоб забезпечити покращений догляд за пацієнтами, ефективне керування ресурсами, покращення послуги надсилання запитів, а також виставлення рахунків і керування фінансами. Важливий застосунок в цій галузі – це керування доступом до особистих медичних записів (personal health records, PHR) та електронних медичних записів (Electronic Health Records, EHR). За допомогою хмарного веб-застосунку для PHR користувачі можуть легко отримувати доступ до бази даних PHR, керувати нею та обмінюватися даними. Цей застосунок повинен мати розширені функції спільного доступу, які дадуть користувачам повний контроль над спільними даними. Передбачається використання таких протоколів, як SOAP, і реалізація для мобільних і настільних платформ. Можливе використання Clinical Decision Support System – системи, яка на базі хмарних технологій використовує знання та поведінку медичного працівника для надання порад щодо аналізу медичної картки пацієнта, для діагностики захворювань і призначення ліків.

Запропонований підхід до хмарної медичної системи можна використовувати для ефективної діагностики в реальному часі, коли пацієнти діляться своїми даними та отримують правильні поради від своїх лікарів у потрібний час. Разом з розвитком технологій смартфонів та фітнес-трекерів це дасть можливість сімейному лікарю при необхідності відстежувати пульс, артеріальний тиск, стани, пов'язані з діабетом, тощо.

Проведенні дослідження під час створення інтерактивної інформаційної системи сімейного лікаря показали високу ефективність розглянутого підходу.

[1] Cloud Computing for Beginners [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://medium.com/hackernoon/cloud-computing-for-beginners-85d168959afb>.

[2] What is Cloud Computing? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://medium.com/@techeducative/what-is-cloud-computing-4e76f1df9551>.

USING CLOUD TECHNOLOGIES TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE FAMILY DOCTOR'S INFORMATION-COMMUNICATION SYSTEM

A. Danylchenko, M. Andreev

Oles Honchar Dnipro National University

helen.dan.ua@gmail.com

This paper talks about the importance of using cloud technologies. They help make family doctor's information-communication system more efficient with less waste. The advantages of using cloud technologies are emphasized.

ПАРАЛЕЛЬНІ ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ ЖОРСТКИХ ЗАДАЧ

І. Назарова

*Донецький національний технічний університет,
iryna.nazarova@donntu.edu.ua*

Широке використання високопродуктивних багатопроцесорних обчислювальних систем один з основних напрямів розвитку сучасного комп'ютерингу. Незважаючи на значне зростання продуктивності та зменшення вартості паралельних комп'ютерів, розробка та впровадження паралельних методів, як і раніше, залишається найбільш складним завданням. У доповіді представлені паралельні методи розв'язання жорстких задач Коші, що використовуються для моделювання багатовимірних динамічних процесів у системах із зосередженими параметрами.

Розглядається чисельне вирішення задачі Коші, асоційоване з розв'язанням систем звичайних диференціальних рівнянь (СЗДР) першого порядку із відомими початковими умовами:

$$\begin{cases} \frac{d\bar{x}(t)}{dt} = F(t, \bar{x}(t)) \\ \bar{x}(t_0) = \bar{x}_0 \end{cases}, \quad (1)$$

де права частина системи є в загальному випадку нелінійна функція, що задає відображення $F = \bar{f}: R \times R^m \rightarrow R^m$.

Розглядається застосування інтегро-інтерполяційного методу виведення різницевих формул для блокових однокрокових багатоточкових обчислювальних схем. Показано, що запропонований підхід є універсальним при отриманні різницевих рівнянь різних видів. Розроблені на основі такого підходу розрахункові формули для однокрокових багатоточкових різницевих рівнянь мають меншу обчислювальну складність ніж неявні методи Рунге-Кутти, і є дуже ефективними при вирішенні жорстких завдань. Проведений аналіз цих методів дозволив отримати оцінки їхньої стійкості за Далквістом [1], збіжності по правій частині та оцінки похибки. Отримані результати представляють можливості побудови нових ефективніших паралельних алгоритмів та їх реалізації на сучасних мультипроцесорних обчислювальних системах.

Ефективний сучасний чисельний метод розв'язання задачі Коші повинен мати механізм керування кроком інтегрування. З цього приводу для багатоточкових однокрокових методів було розроблено схеми оцінки апостеріорної локальної похибки, на основі правила дублювання кроку, ідеї вкладеності та технології локальної екстраполяції.

Побудовано схеми відображення розроблених паралельних методів на паралельні системи з розподіленою пам'яттю та топологіями кільце, 2D-тор та гіперкуб. Оцінено ефективність використання паралельних архітектур, обчислено характеристики прискорення алгоритмів. З метою скорочення часу інтегрування проведено порівняння паралельних методів з контролем похибки на кроці на основі блокових та багатостадійних неявних схем. Досліджено вплив параметрів задачі (розмір СЗДР, оцінка жорсткості), методу (порядок, характеристики стійкості та кількість стадій або точок в блоці), та паралельної системи (топологія, машино-залежні константи) на динамічні характеристики одержаних паралельних алгоритмів.

Розробка паралельних додатків у якості своєї мети може мати як зменшення часу виконання, так і забезпечення можливості розв'язання завдань більшого розміру. Здатність паралельного алгоритму ефективно використовувати процесори зі збільшенням складності розрахунків є важливою характеристикою паралельних обчислень і називається масштабованістю. Паралельний алгоритм є масштабованим, якщо при зростанні числа процесорів він забезпечує збільшення прискорення при збереженні постійного рівня ефективності використання процесорів. У доповіді дослідження масштабованості паралельних обчислень проілюстроване на прикладі розв'язання задачі Коші на основі вкладених однокрокових схем із використанням математичного апарату ізоефективного аналізу [2].

Розробка паралельних алгоритмів здійснювалася за ієрархічною декомпозиційною методикою із застосуванням графових моделей. Визначення теоретичних характеристик паралелізму виконувалося за допомогою пакета *Mathematica* (Wolfram Research Inc.), програмна реалізація здійснювалася при використанні стандарту передачі повідомлень *MPI* мовою *C++*. Тестування алгоритмів проводилося з урахуванням *MPICH-2.2*, однією з найвідоміших реалізацій стандарту *MPI* для *OS Windows*. Усі тимчасові характеристики алгоритмів визначалися з допомогою функції *MPI_Barrier*. Для зменшення часу виконання колективних операцій обміну застосовувалися алгоритми оптимальної покоординатної маршрутизації [3].

- [1] Hairer E., Wanner G. Solving Ordinary Differential Equations II. Stiff and Differential-Algebraic Problems. Springer-Verlag. (1999). 685p.
- [2] Grama A., Gupta A., Karypis G., Vipin K. Introduction to Parallel Computing. Addison Wesley. (2003). 856 p.
- [3] Паралельні однокрокові методи чисельного розв'язання задачі Коші: монографія / Л.П. Фельдман, І.А. Назарова. Донецьк: «ДВНЗ» ДонНТУ, 2011. – 185 с.: іл.

PARALLEL NUMERICAL METHODS FOR SOLVING HARD PROBLEMS

I. Nazarova

Donetsk National Technical University
iryna.nazarova@donntu.edu.ua

The report provides an overview and analysis of the results of studies on parallel methods for the numerical solution of the Cauchy problem for SODEs, which is a continuation of previously published works. The application of the integro-interpolation method for deriving difference formulas for block one-step multipoint difference schemes is considered. The calculation formulas developed on the basis of this approach are equivalent to the implicit Runge-Kutta methods, but have less computational complexity and are very effective in solving stiff problems. The analysis of these methods made it possible to obtain estimates of their Dahlquist stability, convergence on the right-hand side, and error estimates. Schemes for mapping the developed parallel methods onto parallel systems with ring, 2D-torus, and hypercube topologies are constructed. The effectiveness of the use of parallel architectures and topologies is estimated, the acceleration characteristics of the algorithms are calculated.

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВОЇ ДИНАМІКИ ПРОДАЖІВ

Я. Бабанська, М. Андрєєв

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
ybabanska@gmail.com*

Здатність точно передбачати продажі є важливою для діяльності будь-якої компанії. Дані щодо майбутніх продажів допомагають компаніям та їх лідерам приймати кращі рішення щодо майбутнього прибутку або збитку, планувати бюджет, розуміти ситуацію в галузі та оптимізувати внутрішні процеси. При цьому, дуже важливим залишається питання точності прогнозу, оскільки занадто оптимістичний прогноз може призвести до надмірних інвестицій, а надто песимістичний – до недостатніх інвестицій із втратою можливостей та прибутку.

Однак задача прогнозування є багаторівневою та складною, оскільки на продажі завжди впливає комплексна та мінлива ситуація на ринку. На практиці важко динамічно охопити зміну залежних моделей упродовж часової лінії, особливо при спробі прогнозування на довший період часу.

Аналіз на основі часових рядів є класичним підходом до прогнозування продажів [1]. Однак, такі моделі суттєво залежать від статистичних припущень, що зменшує здатність передбачати зміни, спровоковані подіями, які раніше не фіксувались.

У результаті стрімкого розвитку технологій глибокого навчання, у підходах до вирішення багатьох задач відбулась революція, зокрема це також стосується і підходів до задачі прогнозування. Використання нейронних мереж дає змогу змодельовати більш динамічну ситуацію та отримати надійніший результат [2].

Структури нейронних мереж для прогнозування динаміки часового ряду можуть приймати найрізноманітніші форми, на Рисунку 1 наведено типовий приклад архітектури повнозв'язної нейронної мережі. Їх структурні особливості забезпечують переваги при вирішенні того чи іншого класу задач прогнозування. Тож, задача встановлення, використання якої саме архітектури дає найкращий результат для вирішення задачі по прогнозуванню продажів, є актуальною, і саме її розв'язку були присвячені проведені дослідження.

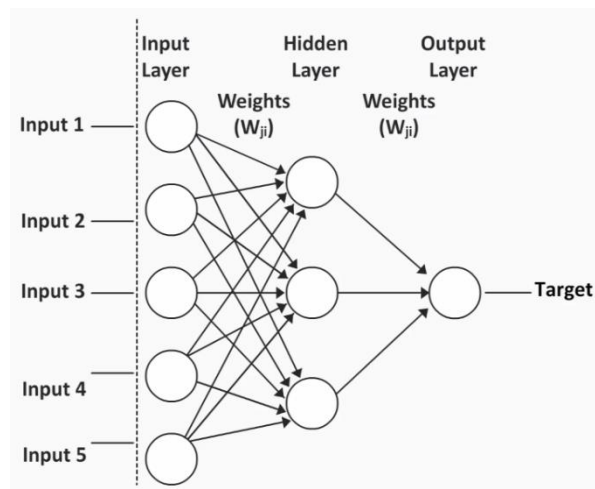


Рисунок 1 – Приклад простої моделі нейронної мережі

В ході проведених досліджень було виконане моделювання, тестування та порівняльний аналіз отриманих результатів для нейронних мереж наступного типу:

- 1) повнозв'язних мереж прямого поширення;
- 2) мереж з довгою короткочасною пам'яттю (LSTM);
- 3) мереж на основі вентильного рекурентного вузла (GRU);
- 4) одновимірних згорткових мереж.

Також було проведено порівняння різних алгоритмів навчання з метою встановлення підходів, що дозволяють отримати оптимальний результат для задач прогнозування часової динаміки продажів. Був проведений порівняльний аналіз наявних засобів для практичної реалізації нейронних мереж, що можуть ефективно використовуватися для прогнозування часових рядів, як основний засіб для моделювання та навчання нейронних мереж було використано Python та супутні бібліотеки, зокрема бібліотека машинного навчання TensorFlow та пакет для глибокого навчання Keras [3].

В результаті проведених досліджень було встановлено, що саме використання архітектури рекурентної нейронної мережі з довгою короткочасною пам'яттю та правильно підготованими навчальними даними показало найкращий результат по прогнозуванню продажів на період від шести місяців до кількох років.

- [1] Айвазян С. А., Єнюков І. С., Мешалкін Л. Д. Прикладна статистика: дослідження залежностей. – Фінанси та статистика, 1985. – 488 с.
- [2] Tonya Boone, Ram Ganeshan, Aditya Jain, Nada R. Sanders, Forecasting sales in the supply chain: Consumer analytics in the big data era, International Institute of Forecasters, 2018.
- [3] Keras: Developer guides [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://keras.io/guides/>.

THE USE OF DEEP LEARNING TECHNOLOGIES FOR FORECASTING THE TEMPORAL DYNAMICS OF SALES

Y. Babanska, M. Andreev

*Oles Honchar Dnipro National University
ybabanska@gmail.com*

The chance to forecast sales would be invaluable to any company's performance. Reliable data on future sales should help leaders make better decisions on their day-to-day and open a new way to process optimization.

However, the task of forecasting is a complex one. Sales are affected by a fast-changing market situation, and it is difficult to dynamically capture the change of dependent models, especially, along the timeline.

As a result of the rapid deep learning technologies development, approaches to solving a lot of different problems have changed, and it affected the forecasting realm as well.

Structures of neural networks can take a variety of forms, and after research the best architectures for sales forecasting were identified. Modeling, testing and comparative analysis of the obtained results for neural networks of several types were performed.

It was discovered that the use of the recurrent neural network with long short-term memory and properly prepared training data show the best result.

ЗБЕРІГАННЯ НЕСТРУКТУРОВАНИХ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБ'ЄКТНОГО СХОВИЩА ПРИ АНАЛІЗІ ДАНИХ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ

І. Захаров, М. Андрєєв

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
ilya.Zaharov@gmail.com*

Під час обробки даних, що вилучаються з соціальних мереж, приходиться мати справу з великим обсягом отриманих даних. За допомогою Big Data можна аналізувати тенденції, бачити, як люди використовують соціальні мережі та наскільки вони ефективні для бізнесу. З усіма даними, які соціальні мережі збирають у своїх користувачів, компанії можуть легко прогнозувати та аналізувати поведінку своєї аудиторії, що дає конкурентну перевагу перед компаніями, які не використовують великі дані. Так звані набори Big Data – це набори даних, в котрих розмір або тип виходить за рамки можливостей традиційних реляційних баз даних для збору, керування та обробки даних з малою затримкою. Такого типу дані характеризуються великим обсягом, високою швидкістю і своєю різноманітністю. Джерела таких даних стають складнішими, ніж джерела традиційних даних, оскільки вони керуються штучним інтелектом, мобільними пристроями, соціальними мережами та IoT (Internet of Things). Наприклад, різні типи даних надходять із датчиків, пристроїв, відео/аудіо, мереж, файлів журналів, Інтернету та соціальних мереж – більшість із них генерується в реальному часі та у дуже великому обсязі. В еру Big Data архітектура утримання даних Object Storage набуває все більшої популярності серед людей, які хочуть зберігати, архівувати та керувати великими обсягами даних.

Об'єктне сховище (Object Storage) – це архітектура зберігання даних, яка використовується для зберігання великих обсягів неструктурованих даних. Неструктурованими даними ми називаємо дані, які не можна впорядкувати на основі конкретної моделі даних або схеми, і тому їх не можна зберігати в традиційних реляційних базах даних [1]. Різноманітні дані, які вилучаються з соціальних мереж для глибокого аналізу, якраз підпадають під це визначення.

Через збільшення обсягу неструктурованих даних зберігання таких типів даних з часом стає дедалі складнішим завданням. Об'єктне сховище може бути використане для вирішення цієї проблеми економічним та масштабованим способом, який дозволяє командам зберігати та керувати петабайтами даних. Як відомо, підхід Object Storage використовується для таких цілей, як зберігання відео та фотографій у Facebook, пісень у Spotify або файлів у онлайн-сервісах для спільної роботи, таких як Dropbox [2]. Тому і для реалізації глибокого аналізу даних із соціальних мереж був використаний цей підхід.

В об'єктно-орієнтованих архітектурах об'єкти – це частини даних, які зберігаються в плоскому середовищі. Іншими словами, у зберіганні об'єктів немає ієрархії чи будь-якого іншого сенсу структури. Кожен об'єкт є самодостатнім сховищем із трьома основними елементами інформації: самі дані, їх метадані та унікальний ідентифікатор.

Замість розміщення файлів у каталогах (File Storage) або розбиття їх на блоки (Block Storage), об'єктне сховище розглядає об'єкти як незалежні одиниці даних (рис. 1) [3]. Об'єкти містять додаткові описові властивості, які можна використовувати для кращого індексування або керування. Об'єктне сховище надає програмні інтерфейси для

маніпулювання даними: на базовому рівні це включає функції create, read, update and delete (CRUD) для основних операцій читання, запису та видалення.

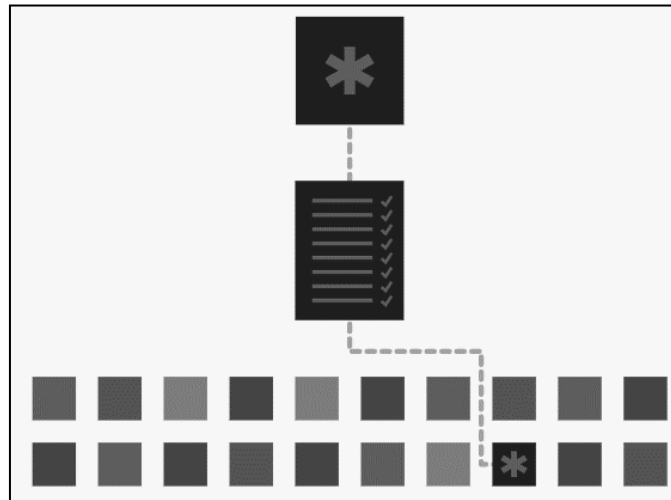


Рисунок 1 – Схема зберігання об'єктів

Цей тип сховища дозволяє користувачам збагачувати метадані, щоб потім їх можна було використовувати за потреби. Таким чином, об'єктні сховища підходять для зберігання великих обсягів неструктурованих даних, які необхідно ефективно отримувати масштабованим способом, як це має місце при роботі з даними соціальних мереж. Крім того, вони ідеально підходять для статичних файлів або файлів, які не надто часто оновлюються.

Застосування цього підходу під час проведення досліджень з глибинного аналізу даних із соціальних мереж дозволило значно підвищити ефективність проведення цього аналізу.

- [1] File Storage vs. Object Storage: Understanding Differences, Applications and Benefits [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.datacore.com/blog/file-object-storage-differences/>.
- [2] Chandrasekaran, A., Dayley, A. "Critical Capabilities for Object Storage". Gartner Research. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-1R78PJ9&ct=140226&st=sb>.
- [3] Is Object Storage Efficient for Big Data? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://medium.com/towards-artificial-intelligence/object-storage-521d5454d2d>.

STORAGE OF UNSTRUCTURED DATA USING OBJECT STORAGE IN SOCIAL NETWORK DATA ANALYSIS

I. Zakharov, M. Andreev

*Oles Honchar Dnipro National University
ilya.Zakharov@gmail.com*

This paper continues the research devoted to the actual problem of storing Big Data. Highlighted architecture of object-based storage and advantages of using it for storing, archiving, and managing tons of unstructured data. Thus, Object-Based Storage model is suitable for storing Big Data that need to be retrieved efficiently in a scalable manner.

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ОБОЛОНОК

І. Бернакевич, І. Козій

*Львівський національний університет імені Івана Франка
iryna.bernakevych@lnu.edu.ua, iryna.kozyi@lnu.edu.ua*

Тонкостінні оболонкові конструкції, за раціональної матеріаломісткості та високої міцності, широко застосовують у багатьох галузях сучасної техніки. Визначення власних частот є необхідне при проектуванні оболонкових конструкцій, щоб запобігти резонансним явищам, які можуть призвести до їх руйнування.

З використанням співвідношень лінійної теорії тонких оболонок, податливих на зсув та стиснення, записано ключові рівняння для визначення власних частот вільних коливань розглядуваних оболонок [2]. Особливість моделі полягає у напівдискретизації на основі кінематичних гіпотез Тимошенка – Міндліна вектора переміщень пружного тіла за змінною товщиною зі збереженням повного вектора поворотів нормалі серединної поверхні.

Результуючі співвідношення моделі містять невідомі компоненти вектора переміщень точок серединної поверхні і кутів повороту нормалі. Сформульовано лінійну початково-крайову задачу для тонких оболонок, податливих на зсув та стиснення, дослідження якої здійснюється варіаційними методами.

На практиці знаходження частот і форм вільних коливань приводить до так званої узагальненої проблеми на власні значення

$$K\tilde{q} = \omega^2 M\tilde{q}, \quad (1)$$

де ω – кругова частота вільних коливань, $\tilde{q}$ – вектори, що характеризують амплітуду шуканого вектора узагальнених переміщень, K – матриця січної жорсткості, M – матриця мас.

Для знаходження власних чисел та власних векторів такої задачі в числових методах лінійної алгебри добре відомий метод ітерацій у підпросторі [1].

Розглянуто низку чисельних прикладів. Аналіз результатів свідчить, що з врахуванням стиснення оболонка швидше може піддатися резонансу, а отже, й руйнуванню. Отримані результати добре узгоджуються з наведеними в літературі та підтверджують ефективність запропонованої методики.

[1] Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. М.: Стройиздат. (1982). 448 с.

[2] Зубаль Б.А., Козій І.Я., Костельна О.В., Шинкаренко Г.А. Числовий аналіз вільних коливань оболонок, податливих до трансверсальних зсуву та стиснення. Прикл. проблеми механіки і математики. Вип. 18. (2020). С. 67–73.

NUMERICAL STUDY OF FREE VIBRATIONS OF SHELLS

I. Bernakevych, I. Kozii

*Ivan Franko National University of Lviv
iryna.bernakevych@lnu.edu.ua, iryna.kozyi@lnu.edu.ua*

The problem of free vibrations of thin shells amenable to shear and compression is formulated. To find the natural frequencies and forms of free vibrations, a numerical approach based on the finite element method and the subspace iteration method was used. The solutions of a number of model problems are considered, on which the efficiency of the proposed numerical scheme is demonstrated.

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ БІНАРИЗОВАНИХ НЕЙРОНИХ МЕРЕЖ

Н. Номерчук, Т. Прокоф'єв

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
nazar.nomerchuk@gmail.com

Постановку задачі класифікації зображення можна сформулювати, як одержання векторів, що складаються з ознак для кожного класу на зображенні[1]. Для вирішення даної проблеми було обрано підхід з використанням нейронних мереж на основі CNN архітектури. Модель складається з 5 шарів. Перші два – згорткові шари, кожен з яких має 32 вихідні карти об'єктів з розміром ядра 5×5 . За кожним з згорткових шарів йде операція максимального об'єднання 2×2 степіня. Після йдуть три повнозв'язних шари. Перший повнозв'язний шар (3-й у мережі) має 100 нейронів, що призводить до форми $24 \times 24 \times 32 \times 100$. Наступні шари мають форму 100×100 та 100×10 , відповідно.

Було розроблено бінарну версію мережі, понижуючи точність та її активацію до 1 біту. Ця концепція допомогла значно скоротити час виконання моделі та її розміри. Таким чином усі активації ReLU у мережі були замінені знаковою функцією, яка задається як

$$\text{sign}(s) = \begin{cases} -1, & x \leq 0 \\ +1, & x > 0 \end{cases} \quad (1)$$

Також бінаризовано ваги мережі, використовуючи знакову функцію. Під час навчання градієнт активації знаків визначається як функція ідентичності при зворотному проходженню, що має вигляд

$$\frac{\partial \text{sign}(x)}{\partial x} = x \quad (2)$$

Версія мережі повної точності навчається за допомогою оптимізатора RMSprop, а бінарна за допомогою оптимізатора ADAM. Для бінарної версії мережі використовуються лише бінарні ваги, що мають значення лише -1 та +1. Мережа навчається з нуля з використанням бінаризації у окремому процесі навчання. Також можливо було квантувати мережу до троїчних значень, проте це привело до збільшення використання пам'яті у порівнянні з бінаризацією.

Проте, слід зазначити, що використаний підхід класифікації зображень на базі архітектури CNN на основі бінарної моделі достатньо ефективний і дає результат задовільної точності. Однак при цьому слід зауважити, що точність класифікації можна суттєво підвищити, якщо провести попередню обробку зображень (усунення фону зображення, приведення до однакової розмірності та ін.)

Таблиця 1 – Порівняння згорткових мереж

Версія мережі	Повної точності	Бінаризована
Тип вагів	Float32	Int32
Час класифікації	0.362 с	0.057 с
Використання RAM	9.6 MB	568 kB
Точність	97.09%	92.64%

Таким чином, у результаті проведених досліджень була показана можливість створення згорткового нейронного класифікатора зображень, оптимізованого для роботи у режимі реального часу та займаючого невеликий об'єм пам'яті, цього вдалося досягти за допомогою метода «бінаризація». Дана робота доводить, що бінаризація на основі програмного забезпечення у комбінації з технологією CUDA дає досить значну

оптимізацію виводу згорткової мережі. Використання пам'яті зменшується на 90-93%, при збереженні допустимої точності більше 90%, що наведено у таблиці 1. У результаті класифікація зображення розміром 256×256 пікселів відбувається за 0,057 секунд.

- [1] M. Khan, H. Huttunen, and J. Boutellier, "Binarized convolutional neural networks for efficient inference on GPUs," in European Signal Processing Conference (EUSIPCO). IEEE, 2018.

CLASSIFICATION OF IMAGES BASED ON BINARY NEURAL NETWORKS

N. Nomerchuk, T. Prokofyev

*Oles Honchar Dnipro National University
nazar.nomerchuk@gmail.com*

This article mainly introduces the image classification algorithm research based on the improved convolution neural network and some improvement ideas for the research of the classification based on the convolution neural network. The CNN model was improved by binary function in this article. The experimental results show that the improved model can greatly decrease using of RAM by 90% with accuracy 98.7% than the traditional CNN algorithm.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ СУЧАСНИХ ВЕБ БІБЛІОТЕК

Р. Лещенко, С. Пляка

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
xetyri2014@gmail.com, plyaka@ffeks.dnu.edu.ua*

Веб-розробка, безумовно, стала важелем розвитку та поширення інтернету в маси. У свою чергу, це забезпечило і вдосконалення мов веб-програмування. Зараз одна людина може виконувати роботу, на яку раніше знадобилася б ціла команда розробників. Великим поштовхом спрощення розробки стала поява фреймворків. Використовуючи їх стало можливим створювати масштабовані та інтерактивні веб-застосунки.

Головна мета роботи полягає у порівнянні та оптимізації популярних фреймворків, таких як React та Angular. Кожен із них має свої сильні та слабкі сторони. До переваг React відносять: повторне застосування компонентів, відкриту бібліотеку даних, просту міграцію між версіями та гарну взаємодію з SEO. З поганого можна виділити великий розмір файлу, сплутаний JSX [3] та погану документацію [3]. Що до плюсів Angular: використання MVC [4], проста архітектура, тестування у реальному часі [4] та мінімальний ризик помилок. З недоліків, як і в React, великий розмір файлу, окрім цього в основі фреймворку складна мова програмування та помилки під час міграції між версіями. Фреймворки мають явні плюси, що доводять їхню ефективність у сучасній розробці. Але вони все ж таки навантажують веб-додаток і зменшують його продуктивність.

В роботі розглянуті та застосовані різні методи оптимізації фреймворків, які допоможуть знизити проблеми з продуктивністю. Оскільки фреймворки різні методи їхньої оптимізації теж відрізняються. В проєкті React було обмежено використання вбудованих функцій. Вони запускають повторний рендеринг компонента навіть у разі коли значення залишилися без змін, що збільшує витрату пам'яті. Також уникнути інших зайвих викликів рендерингу можна, якщо мінімізувати використання імутабельності даних. Щоб оптимізувати проєкт на Angular, першою була відмова від інших бібліотек. Це зменшило час складання програми. Для уникнення провисань при взаємодії з елементами, було вирішено не використовувати шаблонні функції. Великим плюсом оптимізації стало використання Pure Pipes, що оновлюватиме значення лише після зміни аргументів.

Також було створено новий фреймворк, який виконує всі необхідні завдання, але не переповнений такою кількістю методів та функцій, як React та Angular. Це робить фреймворк легшим, що позитивно впливає на швидкість завантаження веб-додатків. Щоб досягти більшої продуктивності, було зроблено виключення зовнішніх залежностей з парсингу. Використовуючи опції `module.noParse` та `resolve.alias`, імпортовані модулі були перенаправлені на вже скомпільовані версії і просто вставляються в проєкт, при цьому не витрачаючи час на парсинг. Спочатку було складено список модулів, який потрібно пропускати при парсингу та виписані шляхи до їх скомпільованих версій [6]. Після цього використовувалася опція `resolve.alias` для заміни імпортів на прямі імпорти файлів. У конфігурації опція `module.noParse` пропускає парсинг передкомпільованих модулів [6]. Така оптимізація значно підвищить швидкість складання проєкту, у тому числі інкрементального складання.

- [1] Підручник з фреймворку React [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://old.code.mu/books/advanced/javascript/react>.
- [2] Angular [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://proglie.ru/directory/angular>.
- [3] Підручник з фреймворку React [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://medium.com/nuances-of-programming/плюсы-и-минусы-react-виртуальная-dom-синтаксис-jsx-и-другие-аргументы-для-спора-85a111ba1494>.
- [4] Переваги Angular.js [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.internet-technologies.ru/articles/preimuschestva-angular-js.html>.
- [5] Що краще за React або Angular [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://artjoker.ua/ru/blog/chto-luchshe-react-ili-angular>.
- [6] Прискорюємо збірку веб-додатків із webpack [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/451146>.

OPTIMIZATION OF MODERN WEB LIBRARIES

R. Leshchenko, S. Pliaka

*Oles Honchar Dnipro National University
xetyri2014@gmail.com, plyaka@ffeks.dnu.edu.ua*

In the work, various framework optimization methods are considered and applied, which will help to reduce performance problems. Since the frameworks are different, their optimization methods are also different. In the React project, the use of built-in functions was limited. They trigger re-rendering of the component even if the values have not changed, which increases memory consumption. You can also avoid other unnecessary rendering calls if you minimize the use of data immutability. To optimize the project on Angular, the first step was

to abandon other libraries. This reduced the time to compile the program. To avoid sagging when interacting with elements, it was decided not to use template functions. A big advantage of the optimization was the use of Pure Pipes, which will update the value only after the arguments change.

A new framework has also been created that performs all the necessary tasks, but is not overloaded with as many methods and functions as React and Angular. This makes the framework lighter, which has a positive effect on the loading speed of web applications. To achieve higher performance, external dependencies were excluded from parsing. Using the `module.noParse` and `resolve.alias` options, imported modules have been redirected to already compiled versions and are simply inserted into the project without spending time on parsing. First, a list of modules that should be skipped during parsing was compiled and the paths to their compiled versions were written [6]. The `resolve.alias` option was then used to replace the imports with direct file imports. In the configuration, the `module.noParse` option skips the parsing of precompiled modules [6]. Such optimization will significantly increase the speed of project assembly, including incremental assembly.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ОБРОБКА ТЕКСТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

О. Прищеп, Д. Свинаренко

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
pryshchepa_ov@ffeks.dnu.edu.ua; svynarenko@ffeks.dnu.edu.ua

Одним з найпоширеніших способів застосування персонального комп'ютера є створення та редагування текстових документів з використанням відповідних редакторів. За оцінками західних спеціалістів, в останні роки практично 100 % усієї документації в розвинутих країнах подається в електронній формі. Тому актуальним є питання автоматизованого аналізу та коригування текстових файлів.

Аналіз тексту - це процес застосування комп'ютерних систем для зчитування та інтерпретації написаного людиною тексту з метою отримання інформації. Програмне забезпечення для аналізу тексту може автоматично класифікувати, сортувати та отримувати інформацію з тексту для виявлення закономірностей, взаємозв'язків, тенденцій та інших практично корисних відомостей.

Одним із методів аналізу є метод вилучення тексту, сутність якого полягає у скануванні тексту та вилученні з нього ключової інформації. Даний метод дозволяє визначити у фрагменті тексту ключові слова (символи) та виконати з ними наперед визначені зміни. Реалізація цього методу може бути виконана із застосуванням регулярних виразів (REGEX) - масивів символів певного формату, який визначає попередню умову пошуку того, що потрібно отримати. [1]

Регулярні вирази – потужний, гнучкий та ефективний засіб для обробки текстів. Універсальні шаблони регулярних виразів нагадують мініатюрну мову програмування, призначену для опису та аналізу тексту. Вони бувають дуже простими, як команди пошуку в текстовому редакторі, або дуже складними, як спеціалізовані мови обробки текстів. [2]

При цьому застосування регулярних виразів для синтаксичного та лексичного аналізу текстової інформації виступає інструментом не лише ідентифікації шаблону та статистичного аналізу. Їхнє всебічне впровадження в сучасні програмні середовища

робить більш доступними засоби інтелектуального аналізу потоків інформації. Вони відкривають перспективи створення таких інформаційних програмних комплексів, які спільно з основним своїм функціоналом, верифікують потоки даних.

Пропонований програмний засіб попередньої обробки текстових файлів може бути застосований для видалення та виправлення певних типів помилок, зокрема множинних пробілів, зайвих пробілів перед знаками, додавання пробілу після знаку, проставлення великої літери на початку речення тощо. Крім того він вирішує завдання пошуку символів, які мають однакове написання у різних алфавітах, що використовується недобросовісними авторами для підвищення рівня оригінальності твору під час перевірки на плагіат.

- [1] Jackson P. Natural language processing for online applications: text retrieval, extraction and categorization / P. Jackson, I. Moulinier. — Amsterdam: John Benjamins Publishing Company, 2002. — 227 p.
- [2] Mastering Regular Expressions Jeffrey E.F.Friedll Third edition, 2008, 598 с. — Режим доступу: https://dut.edu.ua/uploads/l_1378_24455008.pdf

INTELLIGENT PROCESSING OF TEXT INFORMATION

O. Pryshchepa, D. Svyndarenko

Oles Honchar Dnipro National University

pryshchepa_ov@ffeks.dnu.edu.ua; svyndarenko@ffeks.dnu.edu.ua

The work deals with the issue of automated analysis and correction of text files. A software tool for their implementation based on regular expressions is proposed.

ПРОТИДІЯ ВІДСТЕЖЕННЮ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ ІНТЕРНЕТУ

С. Сагайдак, С. Вовк

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

sergo.sagaydak@hotmail.com

Однією з актуальних проблем сучасного інформаційного простору є протидія відстеженню та ідентифікації користувачів під час їх роботи в інтернеті, яку звичайно формулюють як проблему анонімності роботи користувачів в інтернеті [1; 2; 3]. На даний час існує певна кількість відповідних програмних інструментів, серед яких велику популярність набули VPN-сервіси та різні «анонімайзери». Однак практично всі вони мають ті чи інші недоліки, серед яких варто зазначити наступні. По-перше, максимально надійне забезпечення анонімності є складним комплексним завданням, що включає велику множину різних факторів, тоді як багато сервісів (серверів) вирішують це завдання лише частково. Відомим є ряд випадків ідентифікації користувачів навіть у мережі TOR, яка часто позиціонується як найбезпечніша мережа. Крім того, багато VPN-провайдерів можуть навмисно відстежувати та зберігати історію дій користувача, а потім

надавати її на запит державних або певних зацікавлених служб. По-друге, під час використання подібних інструментів часто знижується зручність роботи через невисоку швидкість з'єднання, а також через обмежену функціональність браузера. Для надійного захисту в мережі інтернет часто пропонується відключати деякі потенційно небезпечні функції, які можуть призвести до витоку даних та розкриття особистості анонімного користувача, але які, з іншого боку, є необхідними для забезпечення нормальної роботи багатьох інтернет-сайтів. Насамперед сюди належить відключення JavaScript та заборона прийому Cookies. По-третє, факт використання «анонімізації» часто виявляється через різні ознаки і може привертати увагу до користувача. Також це може ускладнювати роботу, оскільки деякі сайти обмежують доступ з IP-адрес, що належать вузлам мережі TOR. В цілому, існує багато факторів, що дозволяють зовнішньому спостерігачеві визначити, що користувач намагається приховати інформацію про себе.

Об'єктом дослідження поданої роботи є процес забезпечення анонімності користувачів під час їхньої роботи в інтернеті. Метою роботи є отримання ефективного засобу протидії відстеженню та ідентифікації користувачів під час їх роботи в інтернеті. Ідея розробки полягала в тому, щоб зробити користування мережею Інтернет анонімним для користувача, мінімізувавши можливість його ідентифікації та відстеження.

Розроблене програмне забезпечення було створено на основі операційної системи Tails, в яку вносилися модифікації. Для створення відповідної віртуальної машини, на якій проводилося тестування, було використано програмний продукт віртуалізації Oracle VM VirtualBox. У результаті було отримано програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, яке гарантує як відсутність вірусного програмного забезпечення, так і можливість налаштування трафіку через VPN-сервери з коригуванням функцій анонімізації у браузері. Тестування довело, що запропоноване використання VPN-тунелів та додаткового шифрування даних на програмному рівні дозволяє ефективно протидіяти сучасним методам відстеження та ідентифікації користувачів під час їхньої роботи в інтернеті, а також забезпечує надійну ізоляцію анонімного браузера (рис. 1) від неанонімної системи й захист від розкриття реальних даних про систему, не порушуючи при цьому функціональність браузера.

Метод проверки	Результат	
Заголовки HTTP проху	нет	👍
Открытые порты HTTP проху	нет	👍
Открытые порты web проху	нет	👍
Открытые порты VPN	нет	👍
Подозрительное название хоста	нет	👍
Разница во временных зонах (браузера и IP)	IP: 2018-05-29 07:56 (Europe/Amsterdam) браузер: 2018-05-29 7:56	👍
Принадлежность IP к сети Tor	нет	👍
Режим браузера Turbo	нет	👍
Принадлежность IP хостинг провайдеру	нет	👍
Определение web проху (JS метод)	нет	👍
Утечка IP через Flash	нет	👍
Определение туннеля (двусторонний линг)	высокая анонимизация (не можем проверить)	👍
Утечка DNS	нет данных об используемых DNS	👍
VPN fingerprint	нет	👍
Утечка IP через WebRTC	нет	👍

Рис.1 Перевірка якості ізоляції анонімного браузера

- [1] Anonymity Bibliography / The Free Haven Project, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.freehaven.net/anonbib/full/date.html>
- [2] Do not confuse Anonymity with Pseudonymity : DoNot // Whonix Wiki. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.whonix.org/wiki/DoNot>
- [3] Meet the online tracking device that is virtually impossible to block / ProPublica [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.propublica.org/article/meet-the-online-tracking-device-that-is-virtually-impossible-to-block>

ANTI-TRACKING AND IDENTIFICATION OF INTERNET USERS

S. Sahaidak, S. Vovk

*Oles Honchar Dnipro National University
sergo.sagaydak@hotmail.com*

This research article considers the problem development and use of effective software tools, providing anonymity and anti-tracking when working in Internet. The most secure anonymity is complex task involving many different factors, and many services solve this problem only partially. This paper contributes to the scientific study of the problem anonymous browsing on the Internet, countering Internet censorship and modern tracking systems.

INFORMATION RETRIEVAL SYSTEM FOR PROVIDING MEDICAL SERVICES

O.Volkovskiy, A. Shcherbina

*Oles Honchar Dnipro National University
shcherbina.anastasia.12@gmail.com, volkovskiy@ffeks.dnu.edu.ua*

Orientation in a large and constantly growing flow of information becomes quite difficult in modern society. In this regard, there is a necessity to optimize its search and selection. Interactive web systems are becoming relevant as an easy-to-understand and use digital tool for human adaptation.

The functioning of the proposed information system is carried out in order to assist in the search for Ukrainian-speaking doctors in the countries of the European Union and access to information related to the registration of medical insurance, other medical issues, as well as their discussion.

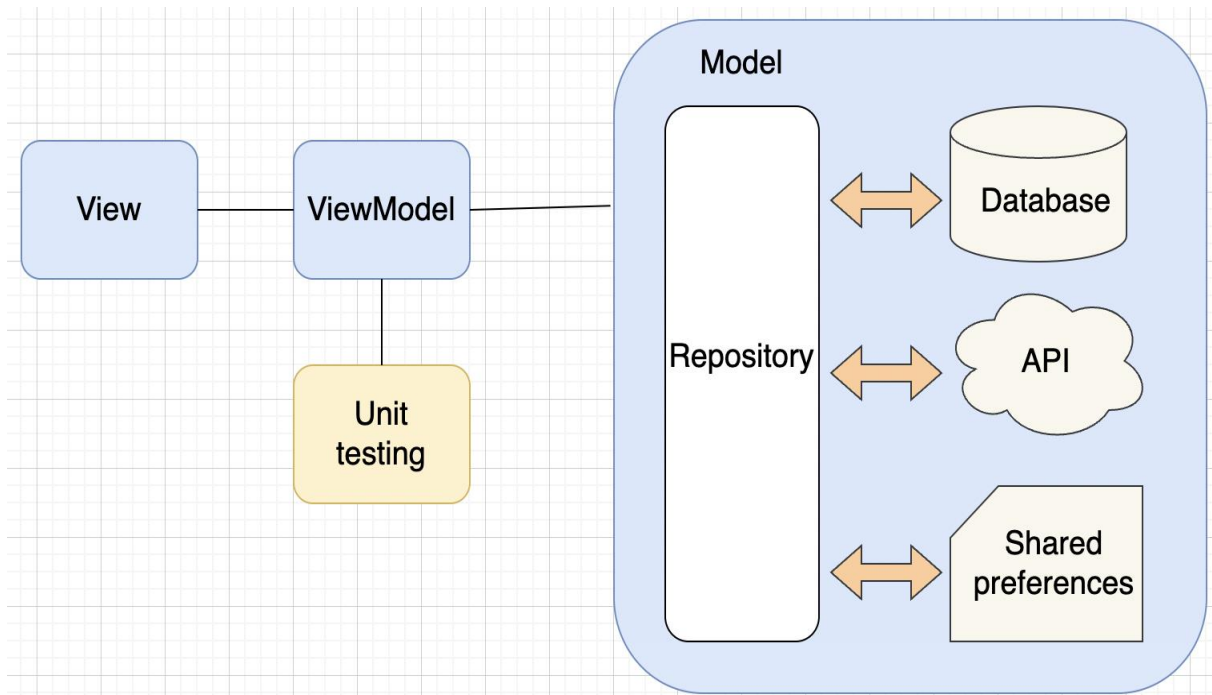
For system development, an analysis of existing information retrieval systems for providing medical services and methods for their implementation for mobile devices was carried out [1, 2].

Based on the analysis, the main stages of developing a system for Apple devices were determined and the following technologies were selected:

- for the frontend part, the Swift language was chosen (frameworks SwiftUI, Foundation, UIKit, Alamofire) due to its speed, high performance and good code readability [3];

- for the backend part, the JavaScript language was chosen, namely the NodeJs platform due to its good scalability [4].

The developed information retrieval system will be used as an adaptation tool for Ukrainian war refugees (trial version for German cities). Its enlarged structure has the following form:



Picture 1. Enlarged structure of the developed system

Information system architecture includes:

- database of Ukrainian-speaking doctors with their contact details;
- a list of articles related to the registration of medical insurance and other medical issues;
- a chat channel for discussing issues under consideration and feedback.

Further prospects for the development of the created system are possible in the following directions:

- 1) creating an android-frontend application for a more complete coverage of users;
- 2) expanding the functionality of the system;
- 3) adaptation of the system for other users (citizens of other countries of the European Union).

- [1] Most Popular Medical iPhone Apps Ranking in Germany [Electronic resource]. Access mode: <https://www.similarweb.com/apps/top/apple/store-rank/de/medical/top-free/iphone/>
- [2] Dawid Karczewski. 10 Best Practices In iOS App Development To Follow In 2022 [Electronic resource]. Access mode: <https://www.ideamotive.co/blog/best-practices-in-ios-app-development>
- [3] Swift | Apple Developer Documentation [Electronic resource]. Access mode: <https://developer.apple.com/documentation/swift>
- [4] API reference documentation [Electronic resource]. Access mode: <https://nodejs.org/en/docs/>

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДОВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

О. Волковський, А. Сеноженська

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

volkovskyj@ffeks.dnu.edu.ua, senozhenskaya2015@gmail.com

Статистика демографічного стану світу свідчить про стабільне зростання кількості населення. В свою чергу це створює додатковий тиск на екосистему планети за рахунок розвитку урбанізації, збільшення кількості транспорту та підприємств, що чинить шкідливий вплив на атмосферне повітря та довколишнє середовище [1].

Запропонована система являє собою методологію для регулярної оцінки потенційного впливу забруднення атмосферного повітря. Для цього використовується система моніторингу для збору проб твердих часток PM10 та PM2,5, рівнів концентрації цих часток та погодних параметрів. Комплексний моніторинг даних параметрів забезпечить вчасне реагування та прийняття певних рішень задля збереження та захисту довколишнього середовища, а також попередження згубного впливу критичного перевищення норм даних показників на здоров'я та життєдіяльність людини. Робота є доповненням досліджень оцінки впливу на довколишнє середовище від зовнішніх джерел забруднення атмосферного повітря, та сприяє збереженню і захисту світової екосистеми.

Система моніторингу стану довколишнього середовища реалізується у м. Дніпро. Оцінка рівня міського забруднення та його впливу на екосистему є основною метою роботи.

За результатами аналізу існуючих на даний час аналогічних систем [2], та ставлячи за мету високу якість прогнозування, була розроблена власна система моніторингу стану довколишнього середовища, інтерфейс якої подано на Рис. 1.



Рисунок 1. – Інтерфейс системи моніторингу стану довколишнього середовища

Для реалізації серверної частини системи використане середовище програмування PHP. При цьому інтерпретатор виконується на сервері та генерує HTML-код, який надсилається клієнту. В протилежному випадку, якби сервер виконував скрипт, клієнт мав би тільки результат його виконання, а не повну HTML-сторінку. Для збору та

обробки даних на серверній частині в розробленій системі моніторингу використовується реляційна/об'єктно-орієнтована SQL база даних Postgres [3].

[1] ОЕСД/ВОЗ (2015), «Економічна вартість наслідків забруднення повітря для здоров'я в Європі. Чисте повітря, здоров'я та добробут.»

[2] <https://aqicn.org/>

[3] <https://www.postgresql.org/>

ENVIRONMENTAL CONDITION MONITORING SYSTEM

O. Volkovskiy, A. Senozhenska

Oles Honchar Dnipro National University

volkovskiyj@ffeks.dnu.edu.ua, senozhenskaya2015@gmail.com

We offer a system for monitoring the state of the surrounding environment, which is built according to client-server technology. To implement the server part, the environment PHP and DBMS Postgres are used.

ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИ КОНТЕНТ-МЕНЕДЖЕРІВ

В. Сіренко, Т. Прокоф'єв

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

thatelitemaili33t@gmail.com, prokofjjev@ffeks.dnu.edu.ua

Метою роботи було створення CMS системи, яка була б здатна автоматизувати роботу контент-менеджерів і зробити її більш швидкою і зручною у використанні. В якості основних можливостей такої системи, які сприятимуть підвищенню продуктивності та швидкості роботи було обрано конвертація зображень, сортування та видалення дублікатів медіафайлів, використання пошукового сервера Elasticsearch для швидкого пошуку контенту, завантаження медіафайлів на хмарне сховище, публікація контенту, яка буде доступна на веб-сторінці.

Оскільки передбачається, що CMS-система буде оброблювати великий обсяг файлів, необхідно було розв'язувати проблему зі швидкістю під час роботи з файлами. Для цього було застосовано вбудовану Python-модуль Subprocess, який зможе запускати bash-скрипти у фоновому стані.

Для серверної частини CMS-системи, було застосовано Python-фреймворк Django з СУБД Postgresql. В якості deployment-системи, яка буде завантажувати веб-додаток CMS-системи було використано Ansible-Playbook як гнучкої системи з простим налаштуванням. Для обробки аудіо і відео контенту було застосовано комплекс вільних комп'ютерних програм та програмних бібліотек ffmpeg і imagemagick. На *рисунку 1* можна побачити те, на що здатна програмна бібліотека imagemagick. Для зберігання аудіо і відео-файлів було застосовано сервіс-сховище Amazon S3.

В результаті було отримано CMS-систему, яка спроможна автоматизувати процес підготовки контенту до публікації. Застосування такої системи допоможе контент-

менеджерам, які незнайомі з програмуванням і bash-скриптами прискорити процес підготовки нового контенту до публікації й редагування вже наявного контенту. Також, нові співробітники зможуть швидше навчитись користуватися функціоналом CMS системи.



Рис. 1 . Приклад застосування програмної бібліотеки imagemagick

USING CLOUD SERVICES TO AUTOMATE THE WORK OF CONTENT MANAGERS

V. Sirenko, T. Prokofiev

Oles Honchar Dnipro National University

thatelitemaili33t@gmail.com, prokofjjev@ffeks.dnu.edu.ua

Reviewing the possibility uses of cloud computing services and modern web frameworks for building Content Management Systems for the automation of the preparation of video and photo content for the publication process.

МОДИФІКОВАНИЙ АЛГОРИТМ ОБРОБКИ КІНЕТИЧНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ВІДГУКУ ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ РОЗТЯГНУТОЇ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ

О. Тонкошкур, А. Лозовський

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

andrew.lozovsky@gmail.com

Комп'ютерні технології обробки експериментальних даних вже набули широкого поширення в різних галузях науки та техніки. Одним із конкретних напрямків, де доцільним є використання таких технологій, є завдання пошуку та дослідження матеріалів для газочутливих сенсорів [1]. Дослідження такого виду пов'язані з необхідністю обробки та аналізу значних обсягів експериментальних даних. У [2]

показані перспективи вирішення такого завдання шляхом створення спеціалізованої вимірювальної інформаційної системи.

Як відомо, однією з ключових складових програмного забезпечення інформаційних систем такого класу є алгоритмізація процесів обробки експериментальних даних на основі відповідних математичних моделей.

Для первинної обробки даних, одержуваних при дослідженнях резистивних газових сенсорів [1] використана загальна феноменологічна модель на основі розтягнутої експоненціальної функції Кольрауша-Вільямса-Вотса (KWW-функції) у вигляді $S(t) = S_0 \exp[(t/\tau)^\beta]$, де t – час, а S_0 , τ та β – параметри [3]. Вона використана для опису кінетики релаксаційної залежності відгуку, зокрема на стадії відновлення. Перевагою такої моделі є придатність для опису релаксаційних явищ у неупорядкованих системах, у яких динамічні процеси відбуваються одночасно у багатьох часових діапазонах.

Використаний у віконному додатку, наведеному в [2], свідчить про реальність та ефективність комп'ютерної обробки значного обсягу даних у процесі проведення аналізованих фізико-хімічних вимірювань. Тим не менш, використаний алгоритм обробки даних вимірювань не дозволяє реалізувати повністю автоматизовану спеціалізовану вимірювальну інформаційну систему для досліджень основних характеристик газочутливих сенсорів. Основною причиною цього є необхідність чисельного обчислення похідних та вибору відрізка у часовій залежності основного параметра – чутливості до активного газу, що дозволяє оцінити параметр β KWW-функції, що апроксимує кінетику відновлення сенсора. Ці процедури вимагають участі у процесі обробки даних оператора.

У цій роботі пропонується та обґрунтовується алгоритм на основі розтягнутої експоненціальної функції, що дозволяє виключити участь оператора в процесі обробки та первинного аналізу даних вимірювань кінетики відгуку резистивних газових сенсорів.

Вираз для газової чутливості сенсорі $S(t)$ під час використання координат $x = \log(t)$ і $y = \log\{-\ln[S(t)/S_0]\}$ може бути перетворено до лінійної залежності $y = \text{const} + \beta \cdot x$. Це дозволяє на основі експериментальних її точок у таких координатах відносно просто визначити параметр β KWW-моделі без залучення операції чисельного диференціювання. Коефіцієнти S_0 і τ можуть бути визначені методом, аналогічним застосовуваному в [2].

Апробація запропонованого алгоритму обробки кінетичної залежності відгуку газових сенсорів на основі моделі розтягнутої експоненціальної функції, який не використовує операції чисельного диференціювання при знаходженні параметрів даної моделі, показала, що такий алгоритм дозволяє:

- усунути наявність розкиду точок у координатах діаграм апроксимуючих залежностей для розрахунку параметрів моделі та його вплив на точність обробки;
- відмовитися від участі оператора при виборі оптимального часового інтервалу з кінетичних залежностей для більш точної оцінки параметрів моделі;
- допускає реалізацію автоматизованої вимірювальної інформаційної системи для аналізованого процесу обробки даних.

- [1] Tonkoshkur A.S., Lyashkov A.Y., Povzlo E.L. Kinetics of Response of ZnO-Ag Ceramics for Resistive Gas Sensor to the Impact of Methane, and its Analysis Using a Stretched Exponential Function. Sensors and Actuators B: Chemical. Vol. 255(2018), Part 2. P. 1680-1686.
- [2] Tonkoshkur A.S., Lozovskyi A.S. Application for calculating the parameters of a gas sensor from the experimental kinetic dependence of response. System technologies. No. 133(2021). P. 26-32.
- [3] Simdyankin S.I., Mousseau N. Relationship between dynamical heterogeneities and stretched exponential. Physical Review E. Vol.68 (2003). P. 041110.1-041110.7.

MODIFIED ALGORITHM FOR PROCESSING THE KINETIC DEPENDENCE OF THE RESPONSE OF GAS SENSORS ON THE BASIS OF A STRETCHED EXPONENTIAL FUNCTION MODEL

A. Tonkoshkur, A. Lozovskyi

Oles Honchar Dnipro National University

andrew.lozovsky@gmail.com

The features of the use of computer technologies for processing experimental data for solving the problems of automating the research of materials for gas-sensitive sensors are considered.

An algorithm for processing the kinetic dependence of the response of gas sensors based on the model of an extended exponential function is proposed, which does not use numerical differentiation operations when finding the parameters of this model.

This allows you to significantly reduce the impact of the presence of data spread in the coordinates of the diagrams that are used in calculating the model parameters, increase the accuracy of their determination and contribute to the implementation of an automated information measuring system for the process of computer processing and analysis of experimental data.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА З НАДАННЯ ПОРАД ЩОДО ПРАВИЛ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ ВІЙНИ

К. Бабенко, С. Вовк

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

kostya.babenko.2999@gmail.com

Однією з актуальних та важливих задач сьогодення є дотримання громадянами правил безпеки в умовах війни, зокрема, правил поведінки під час ракетної атаки або правил поводження з вибухонебезпечними предметами. Для забезпечення належного виконання відповідних правил безпеки є доцільним користатися відповідною інтелектуальною системою, яка спроможна швидко та в достатньому обсязі надавати корисні поради та убезпечувати громадянина від неправильних або небезпечних дій. Враховуючи, що на даний час у нашому суспільстві широко використовується месенджер Telegram, була поставлена задача розробки інтелектуальної системи з надання порад з правил безпеки в умовах війни у вигляді відповідного чат-бота в зазначеному месенджері. Одна з основних вимог до цієї розробки стосувалась якості інтерфейсу системи для взаємодії з користувачем програми, оскільки необхідні дії під час використання системи мають бути зручними, простими і зрозумілими саме для користувача. Інша важлива вимога стосувалась того, що система повинна «розуміти» запити користувача та відповідати на них у належний спосіб. Крім того, додатковими вимогами були вимоги щодо можливості спілкування з системою на природній мові, а також можливості вдосконалення системи щодо переліку питань та обсягу й детальності її відповідей.

Відповідно до висунутих вимог, було визначено склад та структуру розроблюваної інтелектуальної системи. Її основу складають чат-бот, який дозволяє вести діалог із користувачем на основі закладеної моделі діалогу, та дві бази даних, які відповідають за вміст запитів користувача та вміст відповідей системи, відповідно. Використання двох баз даних дозволило спостити процес їх наповнення та коригування, зокрема, під час створення нових тем запитів та відповідних шаблонів відповідей, або ж під час деталізації вже існуючих відповідей. Також до функцій розроблюваної системи була додана функція підрахунку кількості однотипних запитів з метою визначення найбільш важливих типів запитань задля подальшого покращення ефективності застосування системи шляхом надання більш розгорнутих відповідей на найбільш важливі запитання. Модель діалогу з чат-ботом була обмежена певною кількістю стандартних запитів, які агреговано подаються через набір ключових слів, що вводяться в систему під час її налаштування. Апаратна частина системи вимагає наявності смартфона або персонального комп'ютера зі встановленим месенджером Telegram та підключення до мережі Інтернет.

Програмне забезпечення інтелектуальної системи розроблювалось на програмній платформі Python з використанням бібліотеки Telebot, яка звичайно використовується для програмування різних ботів та є дуже зручною для рішення поставленої задачі. Відповідно до цього, тестування розробки проводилось через сервіс @BotFather, який надає можливість тестувати бота до повного його запуску та переносу на сервер. На рис. 1 продемонстровано результат налаштування бота, а саме створення індивідуального API, юзер-нейму, іконки та опису. При цьому бот користується двома API, а саме LEX API від Google та API від mon.gov.

В цілому, тестування розробленої системи довело її працездатність та вказало на шляхи для її подальшого вдосконалення.

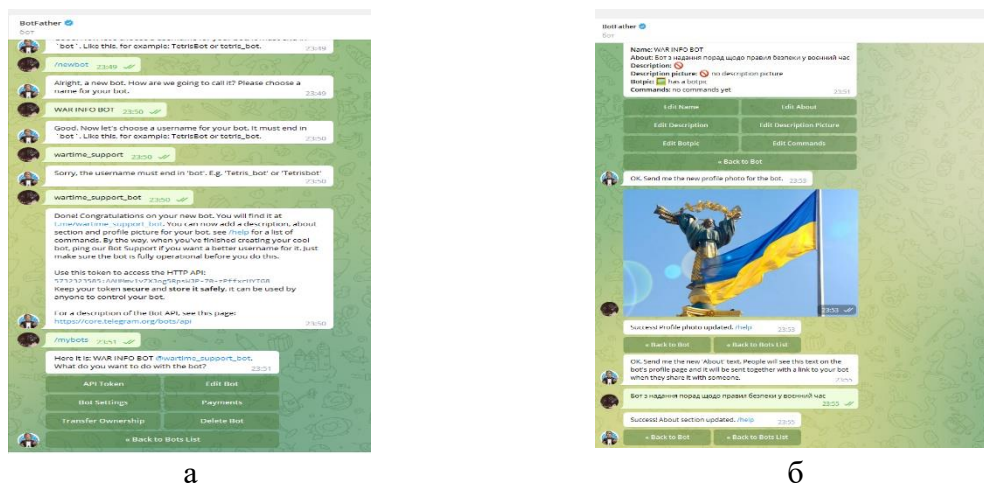


Рисунок 1 – Налаштування чат-бота та створення домену для його використання:
а - створення домену; б - налаштування бота

В доповіді наводяться приклади використання розробленої інтелектуальної системи та обговорюються особливості наповнення її баз даних.

- [1] TelegramAPIs. [Електроннийресурс] – Режим доступу: <https://core.telegram.org/>
- [2] Как создать Telegram бота с помощью Python [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://medium.com/nuances-of-programming>
- [3] Опорний конспект лекцій з дисципліни людино-комп'ютерна взаємодія [електрон-ний ресурс] http://pz.vntu.edu.ua/media/uploads/metod/LMV/LMV_OK.pdf

INTELLIGENT WARFARE SECURITY ADVISORY SYSTEM

K.Babenko, S. Vovk

Oles Honchar Dnipro National University

kostya.babenko.2999@gmail.com

The composition and structure of the intelligent system for providing advice on security rules in conditions of war are considered. It is based on a chatbot that allows you to conduct a dialogue with the user based on a built-in dialogue model, and two databases that are responsible for the content of user requests and the content of system responses, respectively.

КРОС-ПЛАТФОРМНА СИСТЕМА ВІДНОВЛЕННЯ ПСИХІЧНОГО ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

О. Волковський, В. Тарянік

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

volkovskyj@ffeks.dnu.edu.ua, v.e.taryanik@gmail.com

Як відомо, психічне здоров'я є не менш важливим ніж фізичне. В сучасній дійсності війни дуже легко отримати психічні травми, які будуть погіршувати стан людини. А під час повітряних тривог можливості отримати допомогу, чи самотійно заспокоїтись є не у кожної людини. Виникає потреба в системі яка б змогла надати відповідну допомогу чи заспокоїти кожну окрему людину яка цього потребує. Особливо актуальним стає крос-платформна система для найбільш широкого охоплення людей.

Метою даною роботи була розробка крос-платформної системи для відновлення психічного здоров'я людини для громадян України.

Принцип роботи системи полягає в тому, що в ній користувачі поділяються на ролі – ментора та звичайного користувача. Під ментором слід розуміти людину, яка є кваліфікованим психологом. При вході в систему користувач обирає роль, після чого проходить систему реєстрації або авторизації. У разі вільного ментору, у користувача з'являється можливість отримати допомогу. Якщо вільних менторів немає то користувачу пропонується або очікувати ментора, або пройти психологічне опитування для встановлення сеансу і користуватися системою далі. Більше того, в системі присутні і інші засоби по відновленню психічного здоров'я людини. Вони доступні користувачу для самотійної роботи із собою.

Для розробки системи були проведенні дослідження існуючих аналогів таких систем, платформ для розробки крос-платформних додатків, server-side мов. Були порівнянні «без серверний» і серверний підходи до розробки системи. [1].

Після дослідження були встановлені етапи розробки крос-платформної системи, а потім були обрані технології для розробки.

- frontend. Для цієї частини використовується React Native у зв'язку з його можливостями роботи із внутрішнією пам'яттю, швидкості, широкими можливостями та безліччю різних додаткових бібліотек[2]
- backend. Було вирішено використовувати технологію Node.js[3], яка доповнює Express та Mongo DB. Але оскільки під час аналізу підходів розробки додатків було встановлено, що «без серверний» підхід має деякі переваги, то вирішено використовувати ці технології в парі. В якості «без серверної» частини використовується Firebase.

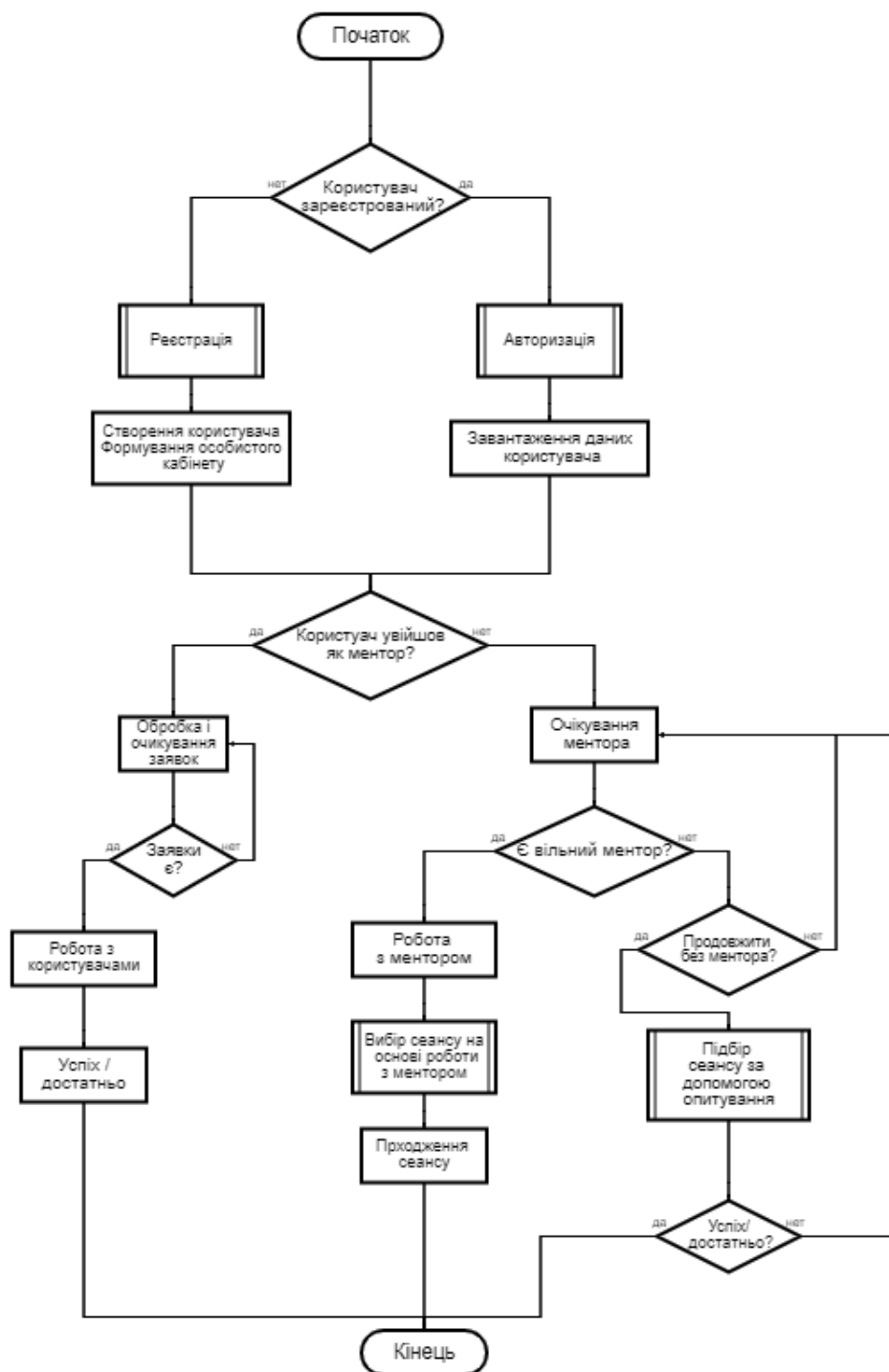


Рисунок 1. Загальна схема роботи системи

Розроблена система може використовуватися як засіб для відновлення психічного здоров'я людини для громадян України, які з різних причин цього потребують.

Загальна схема роботи системи подана на рисунку 1.

Система включає в себе – особистий кабінет, чат-канал для можливості роботи ментора та користувача, процес вибору сеансу на основі алгоритму опитування, окремі розділи для навчання грі на музичних інструментах. Слід відзначити, що навчання грі на музичних інструментах є окремим видом оздоровчої психічної практики.

- [1] Most Popular Mental Health Apps to Use [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.healthline.com/health/mental-health/mental-health-apps#how-we-chose>
- [2] React Native official documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://reactnative.dev/docs/getting-started>
- [3] Офіційна документація Node.js [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://nodejs.org/uk/docs/ocs/>

CROS-PLATFORM SYSTEM OF MENTAL HEALTH CARE

O.Volkovskyj, V.Tarianik

Oles Honchar Dnipro National University

volkovskyj@ffeks.dnu.edu.ua, v.e.taryanik@gmail.com

The purpose of this work was to develop a cross-platform system for the re-established of human mental health for citizens of Ukraine.

The principle of operation of the system is designed in such a way that users are divided into the roles of a mentor and an ordinary user. A mentor should be understood as a person who is a qualified psychologist. When logging into the system, the user chooses a role, after which he goes through the registration or authorization system. In the case of a free mentor, the user can get help. If there are no free mentors, the user is offered either to wait for a mentor or to take a psychological survey to set up a session and pass it. Moreover, the system also includes other means of restoring a person's mental health. They are available to the user for independent work with himself.

РОЗРОБКА БАГАТОКОРИСТУВАЦЬКОГО ДОДАТКУ

А. Баканов, І. Пономарьов

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

bakanov_a@ffeks.dnu.edu.ua

Додатки з багатокористувацьким режимом роботи цікавіші за аналогічні додатки які працюють тільки з одним користувачем. Реалізація цього режиму виконання додатку розуміє під собою наявність свого сервера, коду мережевої взаємодії, матчмейкінгу і багато іншого. Кожний багатокористувацький додаток має враховувати та вирішувати внутрішні проблеми пов'язані з мережею, такі як, наприклад, затримка та втрата пакетів. Розглянемо це питання на прикладі грального додатка.

Пошук правильного рішення залежить від жанру гри, масштабу її гравців і мережевих об'єктів, конкурентоспроможності та інших аспектів, наприклад, наскільки необхідний контроль над мережевим рівнем. Для різних сценаріїв потрібні різні рішення мережевого коду.

Оскільки єдиного рішення мережевого коду для всіх сценаріїв не існує, розробникам потрібно оцінити варіанти та вирішити, яке рішення мережевого коду – або комбінація рішень – найкраще відповідає потребам. У багатьох випадках також може знадобитися розширити або налаштувати існуючий код мережі.

На рисунку 1 зображена схема алгоритму вибору рішення створення багатокористувацького додатку.

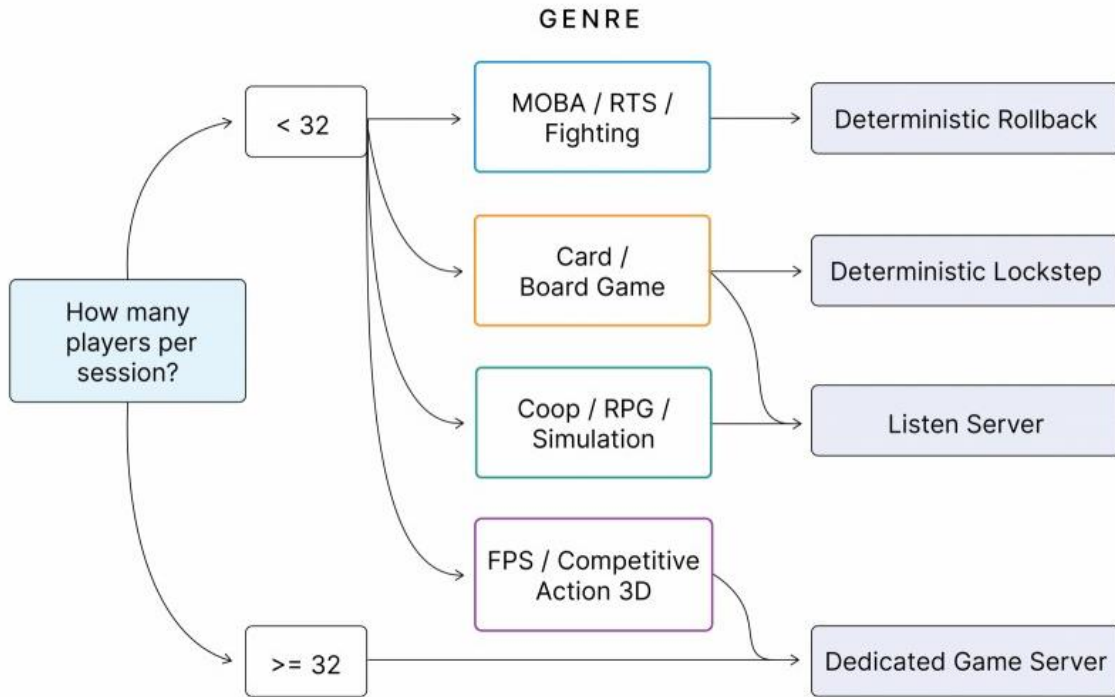


Рис.1. Схема вибору рішення створення багатокористувацького додатку

Перелік можливих варіантів для створення багатокористувацького додатку, які використовуються для прийняття рішень наступний.

- Виділений ігровий сервер (dedicated game server) – клієнт-серверна реалізація мережі, де сервер розміщено на виділеному комп'ютері – тобто окремо від клієнтських пристроїв. Цей варіант дорогий, але масштабований і безпечний.
- Сервер прослуховування (listen server) – клієнт-серверна реалізація, де сервер розміщено на клієнтському пристрої. Він недорогий, але не масштабований і небезпечний.
- Детерміноване блокування (deterministic lockstep) – реалізація P2P, де лише вхідні дані надсилаються всім іншим гравцям і синхронізуються в «заблокованому кроці» (тобто синхронізуються для того самого кроку симуляції одночасно), а детермінізм на кожному клієнті гарантує, що всі вони залишаються однаковими. Ця система є недорогою та безпечною, але зі складним детермінізмом.
- Детермінований відкат (deterministic rollback) – удосконалення детермінованого блокування, коли клієнти передбачають вхідні дані під час очікування оновлень. Це налаштування є складнішим, але забезпечує більш чутливу гру, ніж блокування. Це відносно недорогий і безпечний, але з дуже складним детермінізмом і моделюванням [1].

Наприклад, для невеликого багатокористувацького додатку, з невеликої кількістю користувачів в одній сесії, яка орієнтована на динамічну взаємодію найкращим вибором буде рішення з детермінованим відкатом.

Для ігор з покроковою взаємодією гравців, такі як карточні ігри, кращим вибором буде рішення з детермінованим блокуванням. Для кооперативних ігор з невеликою кількістю гравців, гарним вибором буде сервер прослуховування. А вже для масштабних

змагальних ігор, де важлива швидкість виконання і безпечність потрібно обирати виділений ігровий сервер для максимальної продуктивності і чесності ігрового процесу.

[1] Choosing the right netcode for your game [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://blog.unity.com/technology/choosing-the-right-netcode-for-your-game>.

DEVELOPMENT OF A MULTI-USER APPLICATION

A. Bakanov, I. Ponomarev

Oles Honchar Dnipro National University

bakanov_a@ffeks.dnu.edu.ua

Every multi-user application has to deal with internal network-related problems like support, packet loss, and scene management, and applications solve these problems in different ways. Let's consider this question on the example of a game. Finding the right solution depends on the genre of the game, the scale of its players and network facilities, competitiveness and other elements, for example, how necessary the aspect of control over the network layer is. Different scenarios require different network code solutions. There is no perfect, one-size-fits-all solution for all games and experiences.

MATHEMATICAL SOURCE-SINK MODEL ANALYSIS OF SPACE-TIME CONDIVERGENT PROCESSES IN A FRACTAL SEMICONDUCTOR MEDIUM

O. Onufrienko, I. Zinenko, N. Antonenko, V. Onufrienko

National University «Zaporizhzhia Polytechnic»

onufr@zp.edu.ua

Phenomena and concepts of divergence (W. Clifford, 1878) and convergence (J. K. Maxwell, 1873) are used for mathematical modeling of the existence and development in time and space of objects of any kind through relationships in equations of the continuity type. Divergent processes in a fractal medium lead to more and more dispersed media, while convergent processes lead to dense objects. These well-known definitions make it possible to model the convergence operator on physical-geometric fractal sets in the form

$(-1)^\alpha \operatorname{div}^\alpha \tilde{P}(P_x, P_y, P_z) = (-1)^\alpha \left(\frac{\partial^\alpha P_x}{\partial x^\alpha} + \frac{\partial^\alpha P_y}{\partial y^\alpha} + \frac{\partial^\alpha P_z}{\partial z^\alpha} \right)$. Convergence is defined as the limit of the

ratio of the flow of a vector field through a closed fractally configured with scaling surface C , surrounding a given point, to the volume bounded by C , when this surface contracts to a fractal point.

The differential integral model of the charge transfer and accumulation process in the semiconductor drain-source layer (with scaling α in time t and β space x) is based on the transfer equations

$$\begin{aligned} j_n^{(\alpha,\beta)}(x,t) &= \left(j_n^{(\alpha,\beta)}(x,t) \right)_E + \left(j_n^{(\alpha,\beta)}(x,t) \right)_D = env_n^{(\alpha)}(x,t) + eD_n \frac{d^\beta n(x,t)}{dx^\beta}; \\ j_p^{(\alpha,\beta)}(x,t) &= \left(j_p^{(\alpha,\beta)}(x,t) \right)_E + \left(j_p^{(\alpha,\beta)}(x,t) \right)_D = epv_p^{(\alpha)}(x,t) - eD_p \frac{d^\beta p(x,t)}{dx^\beta}, \end{aligned} \quad (1)$$

where $\left(j_n^{(\alpha,\beta)}(x,t) \right)_D ; \left(j_p^{(\alpha,\beta)}(x,t) \right)_D$ is the density of diffusion fractal currents of electrons and holes; $\left(j_n^{(\alpha,\beta)}(x,t) \right)_E ; \left(j_p^{(\alpha,\beta)}(x,t) \right)_E$ - density of drift fractal currents of electrons and holes; $v_n^{(\alpha)}(x,t), v_p^{(\alpha)}(x,t)$ - the drift speed of the ordered fractal movement, which occurs against the background of chaotic movement after the action of the electric field E on the fractally configured layer; D_n, D_p - diffusion coefficients; e - the charge of an electron; $(\alpha, \beta) \in (0;1)$.

The continuity conditions of the fractal flows of electrons and holes and Poisson's equation form a fundamental system of equations in the diffusion-drift approximation, taking into account the change over time in the concentration of electrons $n(x,t)$ and holes $p(x,t)$ and the difference in the rates of generation and recombination $R(x,t)$ of mobile charge carriers.

$$\frac{\partial^\alpha n(x,t)}{\partial t^\alpha} = \frac{(-1)^\beta}{e} \operatorname{div}^\beta \left(\bar{j}_n^{(\alpha,\beta)}(x,t) \right)_E + R(x,t); \quad \frac{\partial^\alpha p(x,t)}{\partial t^\alpha} = -\frac{(-1)^\beta}{e} \operatorname{div}^\beta \left(\bar{j}_p^{(\alpha,\beta)}(x,t) \right)_E + R(x,t). \quad (2)$$

Poisson's equation relates the field $E(x)$ or potential distribution $\varphi(x)$ to the charge density distribution $\rho(x)$:

$$\frac{d^\beta E(x)}{dx^\beta} = -\frac{d^{1+\alpha} \varphi(x)}{dx^{1+\alpha}} = \frac{\rho(x)}{\varepsilon \varepsilon_0}; \quad \rho(x) = e(p(x) - n(x) + N_d(x) - N_a(x)). \quad (3)$$

Such a physical-mathematical approach gives us the opportunity to simulate the fractality of the movement of charge carriers directed in a selected direction (fractal drift), which is superimposed on isotropic chaotic thermal motion, resulting in the non-isotropy of charge (current) movement.

The model of the elementary fractal "source-sink" of the convergent process $\Pi_n^\alpha(x,t)$ considered by us in a three-component complex (the concept "sink" (it accepts radiation), unlike a "source" (it radiates a field), and "source-sink" (it accepts and the field reradiates)) is used to analyze processes in a field-effect transistor in the form of a connection through an operator $L_{i,j}$ between three elementary source-sink.

In the statement through differintegral operators $L_{i,j}$, which connect the fields in regions i and j , we obtain a system of differential integral equations.

$$\begin{aligned} \Pi_1^{(\alpha_1)} &= L_{1,2}(\Pi_2^{(\alpha_2)} d^{(\alpha_1)} G_1); & \Pi_2^{(\alpha_2)} &= -L_{2,1}(\Pi_1^{(\alpha_1)} d^{(\alpha_2)} G_2) + L_{2,3}(\Pi_3^{(\alpha_3)} d^{(\alpha_2)} G_2); \\ \Pi_3^{(\alpha_3)} &= -L_{3,2}(\Pi_2^{(\alpha_2)} d^{(\alpha_3)} G_3). \end{aligned} \quad (4)$$

The concept of describing convergent processes presented here stimulates the development of a theory for modeling spatiotemporal effects (heredity, hysteresis, and buffering) that arise, in particular, in problems of controlling the characteristics of devices with negative capacitances and inductances [1].

The proposed approach to the analysis of convergent flows has been tested in the form of theoretical solutions for technologically implemented models of field-effect transistors with a fractal structure of elements [2].

The simulation results for non-fractal devices coincide with the known data [3].

- [1] Mengwei S. et al. Step-slope hysteresis-free negative capacitance MoS₂ transistors. Nature Nanotechnology. 2018. Volume 13, p. 24-28.
- [2] Onufrienko V.M., Slyusarova T.I., Onufrienko L.M. Modeling Characteristics of Field-Effect Fractal Nanotransistor. Proceedings 15-th International Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, Lviv-Slavske, Ukraine, 25-29 February 2020. Lviv. P.586-589.
- [3] Cobbold R. Theory and Application of Field-effect Transistors. Wiley-Intersc. (1970).

СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ АГРЕГУВАННЯ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ CELERY

Б. Молодець

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
bogdan.molodets@gmail.com

Будь-які системи моніторингу потребують постійного збору даних з багатьох джерел, які надаються у різних форматах. Наприклад, ресурсами системи моніторингу кості повітря є:

- дані з вимірювальних станцій;
- сторонні публічні агрегатори (відкриті бази, веб-портали);
- супутникові дані з міжнародних космічних програм (Sentinel-5P, Landsat-8 тощо).

В якості мови, що буде використано для проектування, вважатимемо Python, в якості фреймворку - Django Rest Framework, БД (база даних) - PostgreSQL.

Для агрегування даних необхідно створити API для мануального запуску задачі з накопичення цих даних. У цього рішення є декілька недоліків: немає контролю за частотою опитування, бо операція запускається вручну; чим більше джерел даних має система - тим важче їх серіалізувати (привести до єдиного формату) для зберігання в БД; чим більше ресурсів треба "опитати" - тим більша вірогідність отримати перевантаження системи, деякі задачі займають великий часовий проміжок, а наша мова програмування Python синхронний - чекає виконання попередніх задач. Це спричиняє незручності щодо продуктивності роботи.

Celery вирішує цю проблему, надаючи можливість створювати синхронні/асинхронні задачі, які можуть виконуватись в фоні, в іншому процесі [1]. Для зручності управління Celery надає користувацькі інтерфейси для зручного керування такі як Flower чи вбудований django-celery. Ця система складається з:

- task (функції що необхідно виконати);
- worker (сутність що виконує завдання);
- broker (система що зберігає повідомлення у вигляді черзі);
- task producer (поставник задач).

Так як Celery - це розподілена система, що дозволяє запускати worker-ів, broker-ів в іншому потоці або на іншій фізичній машині. Також це означає що в залежності від потреб системи та при наявності фізичних серверів розробник може запустити N worker-

ів, де N невід'ємне дискретне число. В якості брокера повідомлення можна використати RabbitMQ, який дозволяє обмінюватись повідомлення між кількома серверами шляхом надсилання/отримання повідомлень. Як відомо, RabbitMQ написаний на мові програмування Erlang, що вимагає наявності цієї мови на вашому сервері.

Для спрощення розгортання описаної архітектури, варто використати підхід віртуальних контейнерів - абстракцію на програмному рівні, що дає змогу швидко запустити одразу кілька контейнерів в одній системі. Контейнер є окремою системною одиницею, що містить у собі програмний код з допоміжними пакетами, що дає змогу розгорнути проект в різних середовищах. В свою чергу у Docker контейнери зберігається код, системне програмне забезпечення, налаштування оточення тощо [3].

Цей підхід гарантуватиме однакову поведінки розробленої системи незалежно від системних характеристик машини (ізолюваність системи). Серед переваг зазначимо можливість використання готових образів (зібраних контейнерів), що полегшує подальшу розробку, вимагаючи від розробника лише конфігурування сервісів (образів).

Як результат, для розгортання подібної системи необхідно до робочого репозиторію додати конфігураційний файл (Dockerfile, при використанні docker-compose - docker-compose.yml) та наявність встановленого клієнта Docker на робочій машині.

Розроблена архітектура сбору даних дозволить уникнути затримки в потоці виконання сервера, за допомогою виносу завдань в окремий потік виконання, також ця система надасть можливість швидкого обміну даних. Наявність великої кількості допоміжних сервісів компенсується docker-ізацією проекту.

[1] Celery Documentation Release 4.4.2 Ask Solem contributors Mar 17, 2020 [Електронний ресурс].

Режим доступу: https://docs.celeryq.dev/_/downloads/en/4.4.2/pdf/

[2] Docker & Kubernetes 3 : minikube Django with Redis and Celery - 2020 [Електронний ресурс].

Режим доступу: https://bogotobogo.com/DevOps/Docker/Docker_Kubernetes_Minikube_3_Django_with_Redis_Celery.php

[3] Docker Engine overview | Docker Documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.docker.com/engine/>

CREATING AN AGGREGATION SYSTEM USING CELERY

B. Molodets

*Oles Honchar Dnipro National University
bogdan.molodets@gmail.com*

All monitoring systems require permanent data collection from many sources, which are provided in various formats. It is necessary to create an API for manual launch of the task of accumulating this data to aggregate data.

Celery provides the ability to create synchronous/asynchronous tasks that can be performed in the background, in another process. RabbitMQ can be used as a message broker, which allows you to exchange messages between several servers by sending/receiving messages.

Using the virtual container (Docker) approach will simplify the deployment of the described architecture. This approach guarantees the same behavior of the developed system regardless of the system characteristics of the machine

ЕФЕКТИВНІСТ ТРАНСПОРТНОГО ЗАВДАННЯ

О. Бойко, О. Дерев'янка

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
boiko_ov@ffeks.dnu.edu.ua

Частиною лінійного програмування є транспортні завдання, які грають особливу роль для зменшенні транспортних витрат підприємства. Це є актуальним питанням в умовах ринкової економіки, коли будь-які витрати мають бути мінімізовані, адже тоді вони покриваються меншою частиною прибутку, та дозволяють знизити собівартість продукції.

Транспортна задача – завдання оптимального плану перевезень продукту між пунктами наявності та споживання.

Мета вважається досягнутою, якщо потрібний товар у необхідній кількості доставляється у потрібний час та у потрібне місце з мінімальними витратами [1].

Вирізняють два типи транспортних завдань: за критерієм вартості – план перевезень є оптимальним, якщо досягається мінімум витрат на його реалізацію; за критерієм часу – план перевезень оптимальний, якщо на нього витрачається мінімальна кількість часу.

Для вирішення транспортних завдань розроблено спеціальний алгоритм, який має такі етапи:

1. Знаходження вихідного опорного рішення;
2. Перевірка цього рішення на оптимальність;
3. Перехід від одного опорного рішення до іншого;

Існують такі способи вирішення транспортних завдань.

1. Метод північно-західного кута полягає в тому, що на кожному етапі ліва верхня (тобто північно-західна) клітина заповнюється максимальним числом. Заповнення триває доти, доки однією з кроків не вичерпаються запаси і задовольняються всі потреби.

2. Метод потенціалів розв'язання. Визначають систему з $m1$ лінійних рівнянь з $(m+n)$ невідомими, що має безліч рішень; на її визначеності одному невідомому надають довільне значення (зазвичай альфа рівне 0), тоді й інші невідомі визначаються однозначно.

3. Метод мінімального елемента полягає у заповненні на кожному кроці тієї клітини таблиці, якій відповідає найменше значення, а разі наявності кількох однакових тарифів заповнюється кожен із них.

4. Метод Фогеля - більш трудомісткий, але початковий план перевезень, побудований за його допомогою, є найбільш наближеним до оптимального. При розв'язанні задачі даним методом по всіх рядках та стовпцях таблиці знаходиться різниця між мінімальними тарифами (рядок або стовпець з найбільшою різницею є кращим). У межах обраного рядка (стовпця) знаходиться осередок з найменшим тарифом, на який записують відвантаження. Рядки постачальників, які повністю вичерпали можливості щодо відвантаження, та стовпці споживачів, потреби яких задоволені, викреслюються [2]

На даний момент маємо велику кількість методів вирішення даного типу задач, тобто предметна область добре вивчена на цей час, але маємо проблему у вирішенні ефективності кожного з цих методів з програмної точки зору, ефективне алгоритмічне рішення, яке рішення при яких умовах буде найефективнішим для використання у логістичних додатках

- [1] Юдін Д. Б., Гольштейн Е. Р. Лінійне програмування. Теорія, методи та додатки -1969 р. — 384 с.
- [2] William R. Black Sustainable Transportation: Problems and Solutions— 2010 р. – 299 р.

THE EFFICIENCY OF THE TRANSPORT TASK

O. Boiko, O. Derevyanko

Oles Honchar Dnipro National University

boiko_ov@ffeks.dnu.edu.ua

This report discussed the issue of solving the transport problem, methods for solving it, the effectiveness of each of them.

УСТАНОВКА НА БАЗІ МІНІ-КОМП'ЮТЕРА RASPBERRY Pi3 ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У РІДКИХ ДІЕЛЕКТРИКАХ

Д. Волнянський¹, Г. Карасьов², І. Волнянська², О. Карасьов²

¹Український державний університет науки і технологій

²Придніпровська державна академія будівництва і архітектури

dmvoln@i.ua, wirelessira@gmail.com, karasev.alexey3485@gmail.com

Вивчення процесу провідності діелектричних рідин ускладнюється тим, що струм з часом у діелектричних рідинах не залишається постійним і форма його кривої залежить від процесів, що протікають як і в приелектродних областях, так і в об'ємі рідини [1,2]. У цій роботі представлено опис експериментальної установки на базі міні-комп'ютера Raspberry Pi3 Model B для дослідження процесів протікання електричного струму та накопичення об'ємних зарядів у діелектричних рідинах.

Серед різних методів, які дозволяють визначати роль об'ємних зарядів у процесі проходження струму в діелектричних рідинах, можна виділити методи: закорочення зразка на вимірювальний прилад, при послідовному включенні напруги тієї ж полярності, але різної амплітуди, і метод реверсування напруги [3]. З метою використання цих методів при вивченні перехідних струмів у діелектричних рідинах розроблено експериментальну автоматизовану установку за допомогою якої в різні моменти часу в інтервалі від $5 \cdot 10^{-2}$ до $4,5 \cdot 10^3$ с можливо виконувати наступні програми вимірювань: дослідження зарядних струмів; дослідження розрядних струмів; вивчення струмів при реверсуванні напруги. Блок-схему установки показано на рис.1.

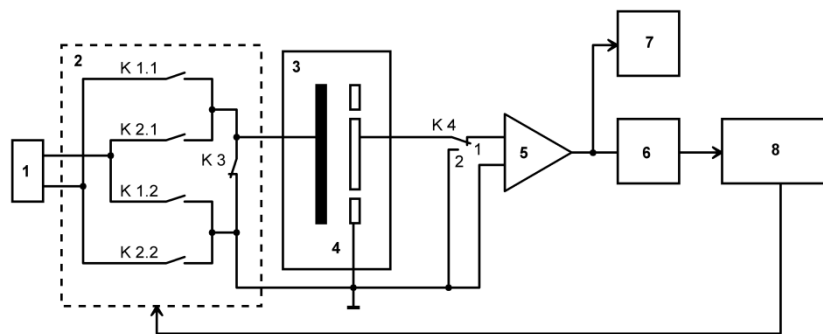


Рис.1 Блок-схема експериментальної установки

- 1 – джерело високої напруги (Б5-14);
- 2 – пристрій, що комутує;
- 3 – електровимірювальна камера
- 4 – електровимірювальний комірка;
- 5 – електрометричний підсилювач У5-11 (В7-30);
- 6 – аналогово-цифровий перетворювач АЦП (АЦП-6);
- 7 – осцилограф Hantek DSO1062B;
- 8 – міні-комп'ютер Raspberry Pi3 Model B.

Струм, який протікає крізь діелектричні рідини, реєструється електрометричним підсилювачем (рис. 1. В7-30 або У5-11), що забезпечує вимірювання струмів в діапазоні від 10^{-4} до 10^{-12} А. Від підсилювача У5-11 сигнал надходить на осцилограф Hantek DSO1062B (7) та аналогово-цифровий перетворювач (АЦП-6), це мікросхема ADS1115, інформація з якої надходить на міні-комп'ютер (8), в якості якого використовувалася модель Raspberry Pi 3 Model B.

Однією з головних переваг RaspberryPi є наявність виходів загального призначення (GeneralPurposeInput/Outputs). GPIO – це група контактів, якими можна керувати за допомогою програми. Причому керування це може бути дуже простим, наприклад, включення/вимкнення світлодіода. Або дуже складним - обмін даними з периферійними пристроями за спеціалізованими протоколами. За допомогою GPIO можна збирати дані з різних датчиків, керувати реле, двигунами, силовими ключами. Загалом керувати реальним світом за складеною нами програмою.

Вибір програмного забезпечення Python обумовлений такими його перевагами як ясність коду та швидкість реалізації на ньому програм. Мова є повністю об'єктно-орієнтованою в тому плані, що все є об'єктами. Незвичайною особливістю мови є виділення блоків коду пробілами. Синтаксис ядра мови мінімальний, завдяки чому практично рідко виникає необхідність звертатися до документації.

Вибір АЦП ADS1115 обумовлений його відмінними характеристиками: низьке енергоспоживання (150 мкА), вбудований підсилювач вхідного сигналу, програмована частота дискретизації, вихідний компаратор. У мікросхемі є 4 входи (AIN0-AIN3), які попарно можуть використовуватися як два диференціальних входи для вимірювання різниці напруги між входами, або як 4 окремих несиметричних входи, у цьому випадку напруга вимірюється між одним із входів та загальним дротом. Підсилювачем У5-11 вимірюється двополярний сигнал (+/-), тому АЦП(ADS1115) використовуємо диференціальний вхід: A0(+), A1(-).

- [1] R. Romanets, G. Karasev, Yu. Kostenko, E. Frankevich. In. Conference Record Eighth International Conference on Conduction and Breakdown in Dielectric Liquids. Italy.- 1984.-P.135.
- [2] Р.Г. Романец, Г.Г. Карасёв, Ю.А. Костенко. Электроника органических материалов. -Москва, 1985. -С. 130.
- [3] B. Dikarev, G. Karasev Charging and Reversal Currents in Hydraulic Liquids IEEE International Conference on Liquid Dielectrics, Bled, Slovenia, June 30 – July 3, 2014, PSACEA Dnipropetrovsk, Ukraine ecenter@mail.pgasa.dp.ua (4p.) 978-1-4799-2064-8/14 \$31.00 ©2014 IEEE

DEVICE BASED ON RASPBERRY Pi3 MINI-COMPUTER FOR RESEARCHING TRANSIENT PROCESSES IN LIQUID DIELECTRICS

D. Volnianskyi¹, G. Karasev², I. Volnianska², A. Karasev²

¹*Ukrainian State University of Science and Technologies*

²*Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture
wirelessira@gmail.com, karasev.alexey3485@gmail.com*

Among the various methods that allow you to determine the role of volume charges in the process of current passing through dielectric liquids, the following methods can be distinguished: shorting the sample to a measuring device, when voltage of the same polarity, but of different amplitude is applied sequentially, and the voltage reversal method. In order to use these methods in the study of transient currents in dielectric liquids, an experimental automated device was developed, with the help of which the following measurement programs can be performed at different moments of time in the interval from $5 \cdot 10^{-2}$ to $4.5 \cdot 10^3$ s: research of charging currents; research of discharge currents; study of currents during voltage reversal.

ВИКОРИСТАННЯ ЯСКРАВОСТІ ПІКСЕЛІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ СКАНУВАННЯ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ОСЦИЛОГРАМ

О. Івон, В. Істушкін, В. Бєлугіна

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
aii_vel93@i.ua*

Растрові зображення є засобом оцифровування візуальної інформації. Зокрема, вони дозволяють вимірювати миттєві напруги імпульсних електричних сигналів з відносною похибкою не більше $\pm 1\%$ за даними сканування растрових зображень аналогових осцилограм [1]. Сканування може відбуватися в ручному режимі, шляхом клацання мишею в обраній точці зображення, і автоматично, програмним шляхом. Для автоматичного сканування потрібен критерій обрання точок сканування програмним шляхом. Такий критерій можна визначити на підставі кольору пікселів, заданого RGB кодом. Цей код формує кольоровий відтінок як суміш базових кольорів: червоного (red), зеленого (green) і синього (blue). Внесок C кожного з цих кольорів визначається 8 бітовим двійковим кодом, тобто у десятковій системі числення він може мати значення в діапазоні $0 \leq C \leq 255$. Найбільшу яскравість має білий колір, в якому внески базових кольорів максимальні, тобто для них $C = 255$. Яскравість будь якого кольорового відтінку визначається як сума вкладів базових кольорів $C_r + C_g + C_b$.

На растрових зображеннях осцилограм, отриманих з екрану аналогового осцилографа за допомогою цифрової фотокамери, найбільшу яскравість мають пікселі в області ліній сигналів. Тому, як критерій вибору точок растрового зображення при автоматичному скануванні, можна використати яскравість пікселя.

Метою даної роботи є створення програми для автоматичного сканування растрових зображень аналогових осцилограм електричних сигналів.

Значні можливості для цього надає технологія Canvas, яка використовується для реалізації векторної графіки на web-сторінках HTML документів. Векторна графіка підтримується мовою JavaScript і реалізується на прямокутній області web- сторінки – полотні, створеному тегом `<canvas>` мови HTML 5.0. Доступ до RGB коду пікселів зображення, вбудованого в полотно, забезпечують методи `getImageData`, `imgData` і властивості `data[0]`, `data[1]`, `data[2]` мови JavaScript. Вони дозволяють програмним шляхом, у вигляді десяткових чисел, отримати вклади в колір пікселя базових кольорів. На підставі цих даних можна розрахувати яскравість пікселів і з урахуванням їх координат побудувати розподіл яскравості на растровому зображенні.

Створена в даній роботі програма після завантаження і вбудовування зображення в полотно виконує сканування координат і компонентів RGB коду пікселів вздовж вертикальної лінії товщиною 1 піксель, виділеної користувачем. Ця лінія рисується на зображенні. Пікселі на ній мають однакову координату x і різні координати y_i . На підставі даних сканування програма розраховує яскравість пікселів i , використовуючи координати x, y_i , будує розподіл яскравості вздовж лінії. Програма знаходить координати y_{imax} пікселів, які відповідають максимумам розподілу яскравості і будує спектр яскравості. Спектр являє собою набір горизонтальних ліній товщиною 2 пікселя і довжиною пропорційною яскравості пікселя. Кожна з цих ліній проводиться починаючи з координат x, y_{imax} паралельно висі X растрового зображення. Для організації автоматичного сканування програма виконує фільтрацію спектру яскравості згідно кількості ліній N з найбільшою яскравістю, які треба залишити в спектрі. Значення N відповідно кількості осцилограм електричних сигналів на растровому зображенні визначає користувач. Він уводить це значення у відповідне поле форми інструментарію програми.

На рис. 1, показано вікно програми на заключному етапі виконання із растровим зображенням осцилограм імпульсів напруги і струму ($N=2$) для зразка оксидно-цинкової кераміки. Після фільтрації у спектрі залишилися дві лінії з координатами пікселя xU, yU на осцилограмі імпульсу напруги і xI, yI на осцилограмі імпульсу струму.

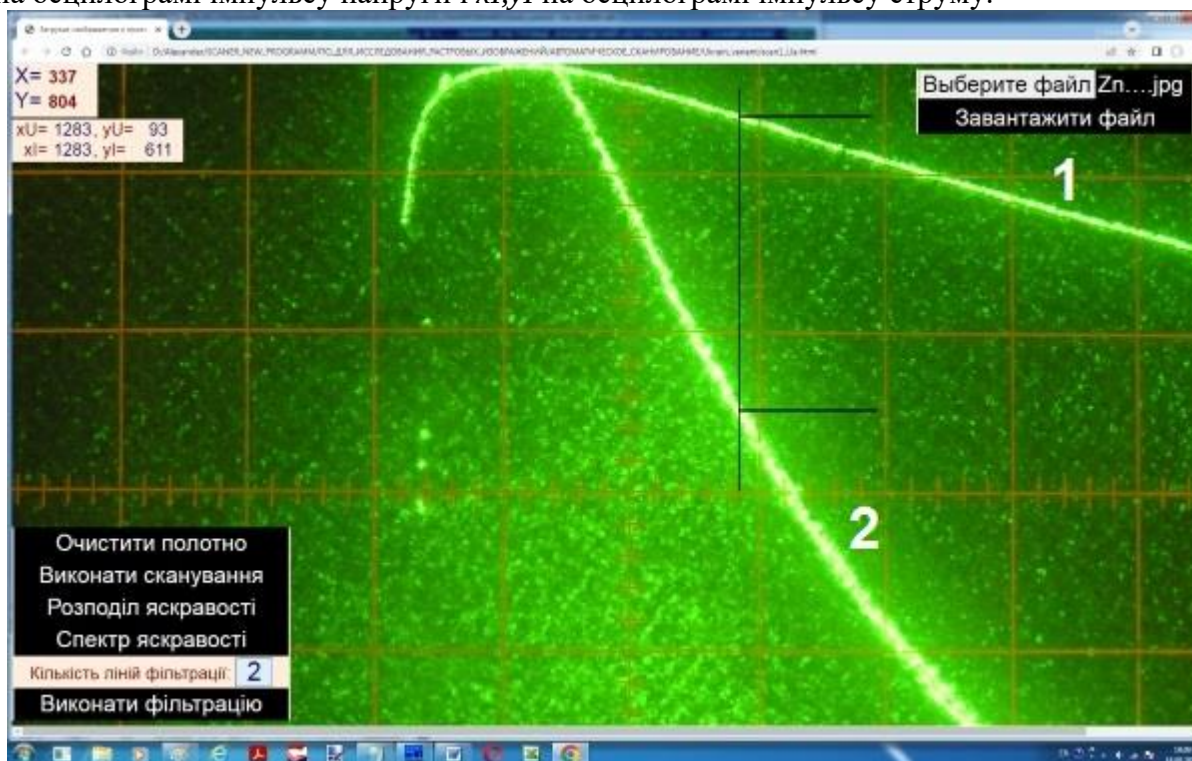


Рис. 1. Вікно програми на заключному етапі виконання.
Осцилограми імпульсів: напруги (1), струму (2)

Інструментарій програми складається з блоку завантаження зображень (у правому верхньому куті вікна), блоку поточних координат (у лівому верхньому куті) і блоку обробки (у нижньому лівому куті). Блок обробки має набір кнопок і поле форми для введення кількості ліній N після фільтрації спектру яскравості. Кнопки цього блоку дозволяють користувачу очищати полотно, виконувати сканування, будувати розподіл і спектр яскравості, а також виконувати фільтрацію спектру яскравості.

[1] Ivon A.I., Istushkin V.F., Rybka Yu.M., Savran S.V. Processing of the digital images of analogous oscillograms at pulsed measurements. Системні технології. Вип. 1(126). (2020). С. 54-66.

USING PIXELS BRIGHTNESS TO AUTOMATE SCANNING OF THE OSCILLOGRAMS RASTER IMAGES

A. Ivon, V. Istushkin, V. Belugina

Oles Honchar Dnipro National University

aiv_vel93@i.ua

A program based on the analysis of the pixel brightness distribution along a vertical line drawn on the raster image of analog oscillograms of electrical signals, allowing automatically select points for scanning is described.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ПРОТОТИПУ СИСТЕМИ З МІКРОСЕРВІСНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ

А. Кривошея, В. Хандецький

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
v.khandetsky@gmail.com*

В теперішній час при розробці інформаційних систем найбільш широко використовують монолітну та мікросервісну архітектуру веб-додатків. Монолітна архітектура забезпечує відносну простоту розробки та підтримки програмного продукту, проте її основним недоліком є складність масштабування додатку.

В цьому сенсі мікросервісна архітектура має ряд переваг, які реалізуються за допомогою наступних засобів [1].

Кожна служба є відносно невеликою, тому їх легше і швидше тестувати. Служби можна розгортати незалежно, при цьому кожна команда може будувати, тестувати, розгортати та масштабувати свої сервіси незалежно від інших команд. Відносно невеликий об'єм мікросервісів дозволяє покращити ізоляцію несправностей, усуває будь-які довгострокові зобов'язання щодо даного стеку технологій. Розробляючи нову послугу, можна використовувати інші технологічні стеки.

Слід відмітити, що при проектуванні сервісів у ряді випадків ефективним є використання дизайн утиліт Unix. Unix надає значну кількість утиліт, прикладами яких є, наприклад, `grep`, `cat`, `find`. Кожна утиліта чітко виконує одну дію і призначена для поєднання з іншими утилітами за допомогою сценарію оболонки для виконання складних завдань.

Основні недоліки мікросервісної архітектури пов'язані зі складністю створення розподіленої системи. Це операційна складність розгортання та керування системою, що складається з багатьох різних служб; необхідність запровадження ефективного зв'язку між службами системи; суттєво збільшене споживання пам'яті, особливо якщо кожна служба реалізована на власній віртуальній машині (як, наприклад, у випадку з Netflix). Непростою задачею є також розбиття програмного додатку на мікросервіси.

Для забезпечення слабкого зв'язку між сервісами, є доцільним кожній службі мати власну базу даних. Підтримка узгодженості даних між службами є не простим питанням, оскільки 2-фазова операція - фіксація/розподілені транзакції не підходить для багатьох програм.

Служба публікує подію, коли її дані змінюються. Інші служби використовують цю подію та оновлюють свої дані. Існує кілька способів надійного оновлення даних і публікації подій, зокрема визначення джерела подій і запис журналу транзакцій.

Інше питання полягає в реалізації запитів, які потребують отримання даних, що належать багатьом службам. Для цього ефективним є використання шаблонів складу API та розподілу відповідальності за командний запит (CQRS).

При розробці прототипу додатку з мікросервісною архітектурою в даній роботі здійснено наступне. Розділення на сервіси проведене за принципом функціональності, що є, на нашу думку, найбільш оптимальним за умови обґрунтованого обмеження функціональності складових додатку і мінімізації кількості кроссерверних запитів. Визначено API (Application Programming Interface) в якості єдиного загального компоненту для мікросервісів, що розширило можливості горизонтального та вертикального масштабування.

При розробці прототипу були створені сервіси клієнтів і замовлень, кожен з яких містить відповідну бізнес-логіку, сервіс звітності. Кожний сервіс фактично розроблявся

як окремий додаток. Для розробки серверної частини додатку на підприємстві використовувалась платформа .Net, а саме фреймворк для розробки веб-додатків ASP.Net з використанням паттерну WebAPI.

Для рівня доступу до бази даних було використано Entity Framework. Слід зазначити, що використання фреймворків для роботи з базою даних значно прискорює процес розробки, так як дозволяє зосередитись на бізнес логіці, застосувавши усі низькорівневі операції з базою даних у фреймворку [2]. Це забезпечує гнучкість та потенційну можливість змінити провайдера бази даних.

При роботі з базою даних використовувався PostgreSQL. PostgreSQL є однією з найбільш популярніших систем управління базами даних. Існує багато версій цієї системи, поточною є версія 14. PostgreSQL підтримується основними операційними системами - Windows, Linux, MacOS.

Хмарний провайдер, що забезпечує розгортання даного додатку – Microsoft Azure [3]. Для розгортання в Microsoft Azure використовувались DevOps застосунки (Kubernetes). Клієнтська складова проектується на даному етапі лише для браузера, тому для неї було використано Angular 12.

Кожен сервіс має власні точки входу, частина з них необхідна для кроссервісної взаємодії, інші для взаємодії API з сервісами. Таке розділення дозволило однозначно побудувати ієрархію запитів, так як кроссервісна взаємодія не потрібна на найвищому рівні і використовується для задач генерації звітності.

Сервіси розробленого додатку зконфігуровані для роботи на одній машині. Додаток повністю готовий до розгортання у хмарному середовищі, проте можливі деякі зміни конфігурації, якщо кожен сервіс буде розміщено на окремій машині в мережі провайдера.

Тестування готового продукту також є безперечно важливим пунктом розробки. При роботі над даним проектом використано тестування навантаження та smoke тестування для загальної перевірки усіх компонентів системи.

- [1] Agile software development process [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://praxent.com/blog/agile-software-development-process-puts-command>.
- [2] Entity Framework Core: Saving Data in Connected Scenario [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.entityframeworktutorial.net/efcore/saving-data-in-connected-scenario-in-ef-core.aspx>.
- [3] Microservice architecture style Azure [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/guide/architecture-styles/microservices>.

FEATURES OF DEVELOPING A SYSTEM PROTOTYPE WITH MICROSERVICE ARCHITECTURE

A. Kruvosheja, V. Khandetskyj

*Oles Honchar Dnipro National University
v.khandetsky@gmail.com*

A prototype of an information system with microservice architecture has been developed. The division into services was carried out according to the principle of functionality. The API is used as a common component for microservices, which expanded the possibilities of horizontal and vertical scaling. When developing the prototype, customer and order services were created, each of which contains the corresponding business logic, and a reporting service. The following technology stack was used in the development: ASP.Net WebAPI, Entity Framework, PostgreSQL.

ДОДАТОК ДЛЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ДІЕЛЬКОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

І. Кулик, О. Тонкошкур

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
tonkoshkuras@gmail.com*

Обробка експериментальних даних з метою отримання інформації про діелектричні властивості різного роду матеріалів є одним із ключових завдань при їх дослідженні та технічному застосуванні. Використання з цією метою комп'ютерних технологій, зокрема, інтелектуальних інформаційно-вимірювальних систем [1,2], дозволяє суттєво знизити трудомісткість процесу такої обробки та збільшити точність одержуваних результатів. Актуальним питанням у цьому напрямку є створення програмного забезпечення обробки експериментальних даних, яке включає елементи їх аналізу відповідно до наявних теоретичних моделей.

В даній роботі наведені результати створення додатку призначеного для обробки та аналізу експериментальної частотної залежності комплексної діелектричної проникності діелектричних матеріалів.

Алгоритм, реалізований у додатку, оснований на методі безпосереднього використання залежності від частоти ω уявної частини КДП $\varepsilon''(\omega)$ моделі Коула-Коула [3]. Параметри діелектричного спектру: низькочастотну ε_1 та високочастотну ε_h діелектричні проникності, найбільш вірогідний час релаксації τ та параметр його розкиду α знаходяться із експериментальних діелектричних спектрів за допомогою методу найменших квадратів. Суть його полягає в мінімізації спеціальної цільової функції ,

$$\Phi(\tau, \alpha, \varepsilon_1 - \varepsilon_h) = \sum_{k=1}^N \{\log(\varepsilon_k'') - \log[\varepsilon''(\omega_k)]\}^2$$

де ε_k'' та ω_k – експериментально вимірювані значення коефіцієнта діелектричних втрат і відповідних їм частот.

Для пошуку мінімуму застосовано послідовний симплекс-метод (ПСМ), який є одним з найбільш простих і ефективних методів розв'язання оптимізаційних задач.

Сутність ПСМ полягає в створенні n-мірному просторі координат (в даному випадку параметрів $\tau, \alpha, \varepsilon_1 - \varepsilon_h$) випуклої фігури з (n+1) вершиною – симплексу та реалізації алгоритму послідовного покрокового виключенні на кожному кроці вершини симплекса, де цільова функція має найгірше значення, і заміні його новою (відбитою) вершиною. Якщо вершина з мінімальним значенням цільової функції зберігає своє положення, то за центр плану береться будь-яка вершина з останнього симплекса, а крок варіювання зменшується. Це повторюється, поки крок не стане менше припустимої погрішності визначення координат.

В додатку програмна реалізація алгоритму створена засобами відомого математичного пакету Mathcad. Додаток має інтерфейс, завдання якого управління бібліотекою прикладних програмних модулів, що представляють собою відомого математичного пакету Mathcad. Загальна його архітектура і перелік модулів показана на рис. 1.

Середовищем, що забезпечує роботу описуваного програмного продукту, є операційна система Windows. Навігація між розділами відбувається за допомогою кнопок і меню різних рівнів (головного, проміжних і робочих меню).



Рис. 3.1. Структурна схема програми для обробки даних діелекметричних вимірювань

У додатку використані: монітор пакета, який написаний з застосуванням мови C# і проект Windows Forms Application середовища Visual Studio. Прикладні програмні модулі розрахункового алгоритму, як було вже зазначено - документи відомого математичного пакета Mathcad. Для введення значень експериментальних даних використовувались засоби програми для роботи з електронними таблицями Excel.

Головне вікно додатка викликається командою Dielkom.exe із папки його проєкту Debug (Dielkom – назва проєкту). Елементами цього вікна є кнопки з мітками, які означають їх призначення. Натискання кнопок «Ввести експериментальні дані **eps''_im**» та «Ввести експериментальні дані **eps'_r**» викликають різні вікна програми Excel, які містять дані для тестування або в які слід вводити призначені для обробки експериментальні дані. Після введення експериментальних даних, натискання кнопки «Розрахунок параметрів моделі Коула-Коула» викликає запуск програми їх обробки. В результаті її виконання у вікні середовища пакету Mathcad знаходяться відповідні параметри та контролюється їх адекватність.

- [1] Селиванова З.М. Интеллектуализация информационно-измерительных систем неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов. Дисс. на соискание д.т.н., ТГТУ, Тамбов (2006). 402 с.
- [2] Раннев Г.Г. Интеллектуальные средства измерений: учебник для студ. высш. учеб. Заведений. М. Издательский центр «Академия» (2011). 272 с.
- [3] Тонкошкур О.С., Ігнаткін В.У. Фізичні основи електричного контролю неоднорідних систем. Дніпродзержинськ: ДДТУ(2010). 290 с.

APPLICATION FOR DATA PROCESSING OF DIELCOMETRIC MEASUREMENTS

I. Kulik, A. Tonkoshkur

*Oles Honchar Dnipro National University
tonkoshkuras@gmail.com*

The issues of using computer technologies for the development of tools for scientific research and non-destructive testing of the electrical properties of materials, aimed at expanding their functionality, including solving problems of experimental data analysis, increasing efficiency and accuracy, are considered. A specialized application based on the algorithm of the well-known Cole-Cole model for processing measurement data of the frequency dependence of the complex permittivity of dielectrics is presented.

РОЗРОБКА ВЕБ-ДОДАТКУ ДЛЯ МОНІТОРІНГУ ПРИБОРІВ В КОМП'ЮТЕРНІЙ МЕРЕЖІ

В. Прищепчук, В. Хандецький

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
v.khandetsky@gmail.com*

Моніторинг хостів в комп'ютерній мережі допомагає підвищити продуктивність, безпеку і надійність її роботи. Сервіс-агент повинен постійно контролювати мережу, повідомляти про активні пристрої, розпізнавати унікальні ідентифікатори обладнання. Сервіс-колектор повинен збирати отриману від агента інформацію, аналізувати її (перевіряти на дублікати, реалізувати логіку роботи при втраті з'єднання з мережею), а також робити записи у базу даних про закриті та активні сеанси. Необхідно також організувати обліковий запис адміністратора, який дозволить встановлювати обмеження на регулярність та тривалість моніторингу. Цей сервіс розсилає повідомлення адміністраторам про появу або вимкнення пристроїв в мережі. Повідомлення можна надсилати у web-додаток, або у месенджер Telegram.

Перевірка (пінгування) комп'ютерної мережі потребує написання програмного забезпечення, яке дозволить працювати з ICMP-пакетами. Для цього використовувалась процедура PythonPing [1], яка реалізується в Python. Вона дозволяє надсилати пакети ICMP на віддалені пристрої, майже так як із терміналу. PythonPing є модульною процедурою, тому вона може запускатися у скрипті як окрема функція, або інтегруватися в повноцінну програму.

Незалежно від детального режиму, функція ping завжди повертатиме об'єкт ResponseList. Це спеціальний ітерований об'єкт, який містить список елементів відповіді. Для запуску процедури пінгування можна на рівні операційної системи використати демон cron (у UNIX системах) або планувальник задач (у Windows). Проте для автоматизації та кросплатформності ми використовуємо окремий Python-модуль.

В проєкті нами використовується бібліотека Advanced Python Scheduler (APScheduler), яка дозволяє планувати виконання коду Python одноразово або періодично [2]. APScheduler не є демоном або службою, а також не постачається з інструментами командного рядка. В першу чергу цей продукт призначений для запуску всередині існуючих програм. Тим не менш, APScheduler надає деякі будівельні блоки для створення служби планувальника або запуску спеціального процесу планувальника.

Для прискорення сканування мережі функцією ping використано додаток ThreadPoolExecutor. Модуль concurrent.futures надає інтерфейс високого рівня для асинхронного виконання викликів.

Асинхронне виконання може залучити потоки, використовуючи ThreadPoolExecutor, або окремі процеси, використовуючи ProcessPoolExecutor. Обидва реалізують однаковий інтерфейс, який визначається абстрактним класом Executor. Використання процесів більше підходить для великої кількості обчислень, що супроводжується додатковим навантаженням процесора. Для синхронного пінгування краще використати потоки, а не процеси.

Результат виконання функції ping() повертається у об'єкті ResponseList. Можна зберегти ці об'єкти для кожного перевіреного IP у окремому списку і, за необхідності, фільтрувати їх для одержання активних адрес. ResponseList інкапсулює у собі декілька об'єктів класу Response. Ми можемо відфільтрувати наш ResponseList і зберегти результати лише тих ехо-запитів, які дозволили одержати ехо-відповіді.

Щоб зберегти IP адреси пристроїв, які відгукнулися, скористаємося захищеним полем класу Response _responses. У кращому випадку це поле містить три ехо-відповіді,

якщо очікування пакета не перевищило ліміт часу очікування. Ехо-відповідь містить IP вузла, що відповів, і час відгуку пристрою в мілісекундах. В найгіршому випадку `_responses` міститиме три об'єкти типу `NoneType`. Метод `success()` повертає значення `True` для записів `Response`, у яких є, як мінімум, одна не `None` ехо-відповідь. Для отримання IP адреси джерела достатньо лише однієї ехо-відповіді, але, оскільки будь-яка з них може виявитися порожньою (`None`), потрібно фіксувати не певний пакет за індексом, а перший, що одержано з типом не `None`. Наприкінці необхідно виконати копіювання поля `source` з об'єкту `Message`, що зберігається в об'єкті `_responses`.

Для визначення MAC- адреси використовували модуль `Scapy` [3]. В його складі присутній метод `ARP`, який використовується для визначення MAC-адрес хостів.

На початку за допомогою `Scapy` ми створюємо `ARP`-запит з IP хоста, який нас цікавить, та інкапсулюємо його у `broadcast Ethernet` запит, який у полі `destination` буде містити MAC адресу ширококомовлення. Функція `srp()` призначена для надсилення пакетів рівня 2 (IEEE 802.3 тощо) та отримання відповідей [3]. Вона повертає пару у кортежі : пакети з відповідями `SndRcvList` та пакети без відповіді `PackedList`. Якщо відповіді немає, після закінчення часу очікування буде сформоване значення `None`. Тепер можна дістати MAC адресу хоста, для цього через нульовий індекс виймаємо з кортежу `SndRcvList` та перевіряємо його довжину. Якщо вона дорівнює нулю – сповіщаємо про це користувача та повертаємо `None`. Таке може трапитись, якщо в налаштуваннях пристрою вказано ігнорувати вхідні `ARP`-запити з метою сховати себе у мережі. Крім того це трапляється через технічні особливості смарт-годинників, ігрових консолей, елементів «розумного» будинку. У середині `SndRcvList` знаходиться ще один кортеж, цього разу іменований. З нього можна дістати об'єкт класу `Ether`, що є просто пакетом протоколу `Ethernet`. У полі `hwsrc` (скорочення `hardware source`) знаходиться MAC адреса обладнання, яке надіслало нам відповідь.

Зібравши разом IP та MAC адреси ми відправляємо їх за допомогою `HTTP` запитів (бібліотеки `request`) на сервіс-колектор, який записує їх у базу.

- [1] `Pytonping 1.1.4`, від 25.10.2022 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pypi.org/project/pythonping/>.
- [2] `Advanced Python Scheduler 3.9.1` [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://apscheduler.readthedocs.io/en/3.x/userguide.html>.
- [3] `Scapy's documentation – Scapy 2.5.0`, від 19.10.2022 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://scapy.readthedocs.io/en/latest/usage.html>.

DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR MONITORING DEVICES IN COMPUTER NETWORK

V. Pryshchepchuk, V. Khandetskyj

*Oles Honchar Dnipro National University
v.khandetsky@gmail.com*

Monitoring hosts in a computer network helps to increase its productivity, improve the reliability and security of the network operation. To automate network ping, software has been developed using the `PythonPing` procedure, which allows to you work with `ICMP` packets. In this case, the `APSScheduler` library was used for scheduling the program execution. Together with verification of IP addresses, procedures were developed and tested for automatically determining the MAC addresses of network devices.

ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМНО-КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ НА ТЛІ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗАВАД

В. Олійник, В. Лукін

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

v.o.oliinyk@khai.edu, v.lukin@khai.edu

В задачах оцінки часової затримки сигналів системою двох мікрофонів стандартні методи працюють, якщо виконується декілька умов: співвідношення сигнал/шум (ССШ) є суттєво більшим, ніж одиниця, широкосмуговий сигнал і шум є стаціонарними, час накопичення сигналу є досить великим. Але у практичних застосуваннях ці вимоги часто не витримуються. ССШ може бути близьким до одиниці або ще меншим, характеристики шуму досить важко описати однією математичною моделлю, інформаційний широкосмуговий сигнал є нестационарним (рисунк 1), особливості цифрової обробки змушують використовувати інтервали сигналу фіксованого розміру, тощо.

Для мовного сигналу нами був проведений статистичний аналіз тривалості пауз. Рисунок 1 показує виділені інтервали мови при загальній тривалості сигналу 10 с та кількості відліків 97000. Можна легко побачити, що у сигналі є ділянки низької та високої амплітуди. Якщо розмір елементарного інтервалу обробки є меншим розміру паузи, то можуть мати місце наступні види інтервалів: інтервал високої амплітуди, інтервал низької амплітуди (пауза), інтервал переходу від низької амплітуди до високої і навпаки. Обробка сигналів для інтервалів, що відповідають паузам, майже гарантовано призводять до аномальних оцінок затримки (і кута приходу мовного сигналу). Якщо ж інтервал припадає на перехідну ділянку, то можуть спостерігатись як аномальні, так і досить великі нормальні похибки оцінок затримки.

Тож бажано обирати такий інтервал, що мінімізує появу хибних оцінок. В якості прикладу нами був обраний інтервал обробки тривалістю 1024 відліків (в цьому випадку легко використовувати алгоритми швидкого перетворення Фур'є, що важливо як для стандартного методу та його модифікацій і дозволяє виконувати обробку сигналів у реальному часі). Статистичний аналіз показав, що кількість блоків, що повністю попадають на паузу, - 18, кількість блоків, що попадають на перехід з паузи на мову та навпаки, дорівнює 49. Решта блоків (26) повністю припадає на мову.

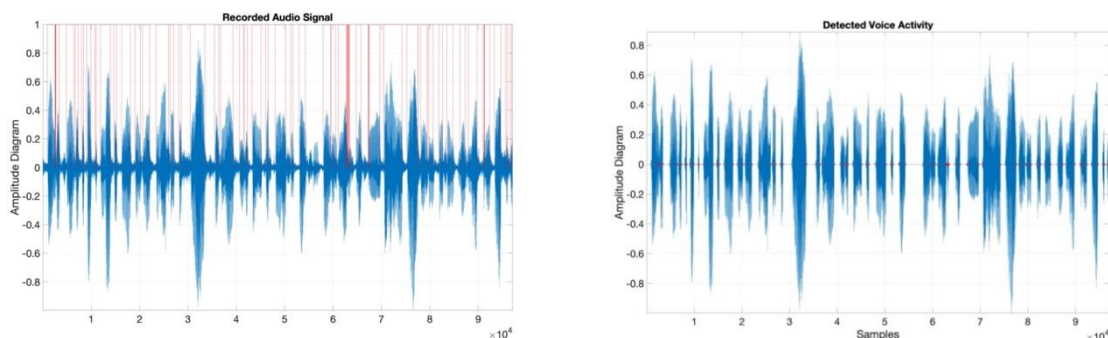


Рисунок 1 –Мовний сигнал і виділені фрагменти паузи та мови

Якщо проаналізувати розподілення потужності сигналу за інтервалами обробки на *рисунку 2*, то можна побачити, що потужність сигнальної складової у блоках відрізняється, не є постійною. Це може бути ще одним фактором, що призводить до похибок оцінювання часової затримки сигналів. Наявність блоків з низькою потужністю

призводить до відповідного малого відношення сигнал-шум та підвищеної ймовірності отримання аномальної оцінки затримки.

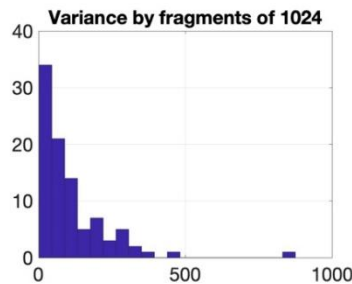


Рисунок 2 – Гістограма оцінок потужності мовного сигналу за блоками

Також важливим моментом є спосіб обробки даних. На *рисунку 3* наведені дані для порівняння стандартного методу оцінки часової затримки на основі швидкого перетворення Фур'є та методу, що базується на модифікації використанні відстані Хелінгера між сумішами сигналу і шуму в двох каналах прийому. При моделюванні важкість хвостів розподілу та інтенсивність адитивного шуму регулювалися зміною відповідно параметрів α_{sas} та γ для симетричного альфа-стабільного розподілу. Добре помітно, що за більшої інтенсивності шуму зростає ймовірність аномальних похибок оцінки затримки. При цьому запропонований нами альтернативний підхід [1] на основі стійких оцінок подібності забезпечує суттєво кращі результати.

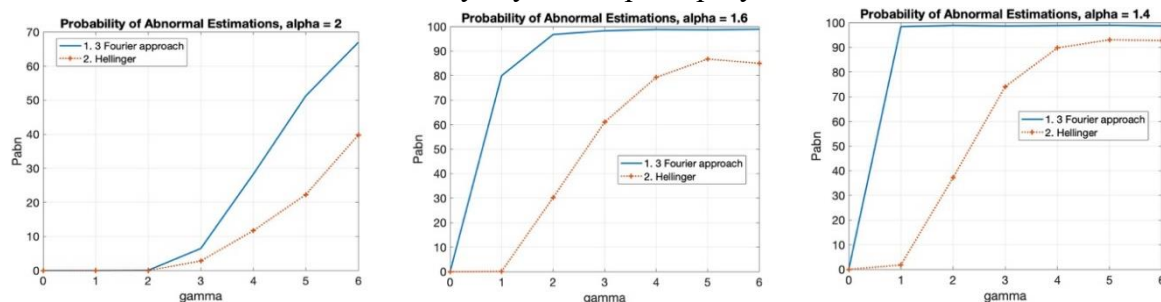


Рисунок 3 – Ймовірність появи аномальних оцінок часової затримки сигналів із зростанням інтенсивності шуму

[1] Oliinyk V., Lukin V., Djurovic I., Time Delay Estimation for Noise-Like Signals Embedded in Non-Gaussian Noise Using Robust Similarity Measures, Proceedings of MECO, 2021, 6 p. DOI: 10.1109/MCO52532.2021.9460148

FEATURES OF MUTUAL CORRELATION PROCESSING OF BROADBAND SIGNALS ON THE BACKGROUND OF NON-STATIONARY INTERFERENCE

V. Oliinyk, V. Lukin

National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"
v.o.liinyk@khai.edu, v.lukin@khai.edu

In the tasks of estimating the time delay of signals with a two-microphone system, standard methods don't work good because practically conditions are not suitable: the signal-to-noise ratio (SNR) is less than unity, the broadband signal and noise are not stationary, and the signal accumulation time is not long enough. The purpose of the paper is to conduct a statistical analysis of the speech signal, analyze the characteristics of the signal, and determine a better approach to estimating the time delay of the signal. Optimal methods for estimating the temporal estimation of signals under these conditions have been described.

АРХІТЕКТУРА ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ДОДАТКІВ СТВОРЕНИХ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН

А. Шаповал, І. Пономарьов

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
shapoval_a@ffeks.dnu.edu.ua*

Життя сучасної людини важко уявити без щоденного використання найновіших технологій, що дуже стрімко розвиваються. Однією з таких є технологія блокчейн, що запропонувала розробникам абсолютно новий підхід для створення додатків. Таким чином на заміну старим централізованим або розподіленим системам, прийшли нові децентралізовані, які мають перевагу у доступності, надійності, безпеці, та збереженні особистих даних користувача.

На даний момент найбільш широко використовуваною системою для розробки власних децентралізованих додатків є блокчейн Ethereum. До її переваг можна віднести наявність власної однойменної криптовалюти, детальну документацію, широку спільноту та зручність у використанні. Платформа Ethereum має власну, повну за Т'юрингом мову програмування Solidity, для розробки смарт-контрактів. Дана мова має синтаксис подібний до синтаксису мови програмування JavaScript.

Смарт-контракт, по суті, є програмою, написаний на мові, яка може бути зрозумілою для комп'ютера або цільового пристрою. Також він виконує угоди між сторонами у вигляді бізнес-логіки. Ще одна основоположна ідея полягає в тому, що смарт-контракти автоматично виконуються при досягненні певних умов [1].

Однією зі складових частин блокчейну Ethereum є Ethereum Virtual Machine (EVM) – віртуальна машина Ethereum. EVM розміщується поверх апаратного та мережевого рівня вузлів Ethereum. Її основна мета — обчислювати стан мережі, після кожного нового блоку, доданого до ланцюжка, а також запускати та компілювати різні типи коду смарт-контракту в низькорівневий байт-код [2]. EVM складається з комп'ютерів учасників мережі, які перевіряють та додають нові транзакції в блокчейн, а натомість отримують винагороду у вигляді внутрішньої валюти ether. Таких учасників у мережі називають майнерами.

У блокчейні Ethereum використовується ще одна внутрішня валюта газ (gas) - одиниця вимірювання обчислювального зусилля необхідного для виконання певних операцій. Це працює наступним чином: коли потрібно виконати метод смарт-контракту, то його код упаковується в транзакцію. Цю транзакцію майнер повинен додати до блоку, для цього локально у себе на комп'ютері у EVM він виконує цей метод. Код методу розбивається на певне число операцій. Кожна така операція має певну складність, і кількість газу, відповідно чим складніша операція, тим більшої кількості газу вона потребує. Потім підраховується скільки газу потрібно для виконання коду усього методу. Це зроблено для того, щоб не можна було порушити роботу систему, додавши до коду, наприклад нескінченний цикл.

Для розробки додатків використовуються наступні компоненти:

- Web3JS – бібліотека для взаємодії зі смарт-контрактами;
- Ethereum – блокчейн платформа для створення децентралізованих додатків;
- Remix IDE – середовище для розробки смарт-контрактів на мові Solidity;
- публічна тестова мережа Rinkeby та інші [3].

Загальна архітектура децентралізованих додатків розроблених на базі платформи Ethereum представлена на рис. 1.

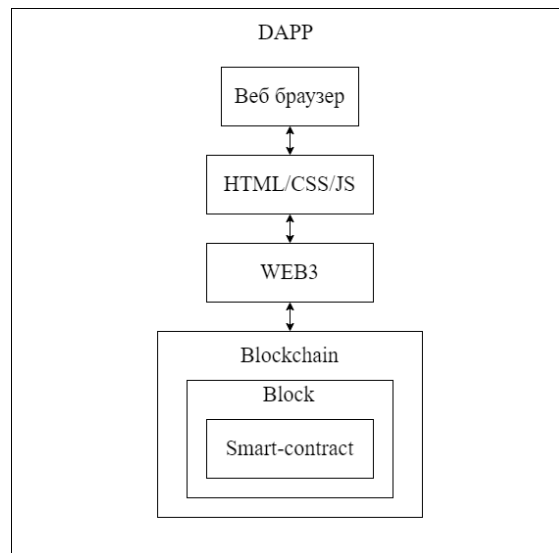


Рис. 1. – Структура додатку

Ethereum має тестові мережі, що дає змогу безкоштовно тестувати роботу розроблюваного додатку [4].

- [1] Башир И. Блокчейн: архитектура, криптовалюты, инструменты разработки, смарт-контракты / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 538 с.
- [2] Ethereum Virtual Machine. Coinbase Help [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://help.coinbase.com/en/coinbase/getting-started/crypto-education/glossary/ethereum-virtual-machine>.
- [3] I.V. Ponomarev Features of creating a voting system using the Ethereum blockchain platform - Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 1(132). – Дніпро, 2021, - с. 124-129.
- [4] А. Шаповал, І. Пономарьов. Створення децентралізованих додатків з використанням тестової мережі блокчейну Ethereum - Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем: V Всеукраїнська науково-практична конференція MEICS-2021. Дніпро, 24-26 листопада 2021р.– с. 45-46.

ARCHITECTURE OF DECENTRALIZED APPLICATIONS CREATED ON THE BASIS OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY

A. Shapoval, I. Ponomarev

*Oles Honchar Dnipro National University
shapoval_a@ffeks.dnu.edu.ua*

The main goal of the work is to research the possibilities of using blockchain technology to create your own decentralized applications. The Ethereum platform was taken as a basis.

The result is an overview of the Ethereum platform and its main components. Description of his work. The principles of the Ethereum network are considered. An own decentralized application was developed by writing a smart contract and deploying it in the test network and user interface development.

ТЕХНОЛОГІЯ VAULT ВІД HASHICORP ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ТА ЗАХИСТУ ПАРОЛІВ ТА ТОКЕНІВ ДОСТУПУ

М. Скок, В. Герасимов

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
skok@ffeks.dnu.edu.ua*

На сьогоднішній день існує велика кількість різноманітних додатків, які інтегруються майже в усі сфери повсякденного життя, а тому немає нічого дивного, що протягом усього терміну існування додатку над ним працює велика кількість спеціалістів, кожному з яких в залежності від його ролі необхідний доступ до різних даних, до того ж важко гарантувати, що після звільнення з одного проекту колишній робітник не вирішить поділитися "секретом фірми" з вашим конкурентом. Саме тут постає питання захищеності даних, адже інколи для спрощення роботи логіни, паролі, сертифікати та інші конфіденційні дані просто вписують в код, а отже будь-хто може їх побачити.

В 2019 році вченими з Університету штату Північної Кароліни проведено дослідження платформи GitHub, у якому протягом шести місяців проводили сканування загальнодоступних репозиторіїв, зосередившись на файлах приватних ключів та API токенів, які мають свій специфічний формат. Сканування близько 13% таких репозиторіїв показало, що серед просканиваних було знайдено більше сотні тисяч репозиторіїв з подібними даними, а щодня ще публікуються сотні нових [1]. Це говорить про те, що належний захист секретів додатків є реальною проблемою в сучасному світі.

Компанія HashiCorp [2] створила Vault — кросплатформений інструмент з відкритим вихідним кодом, який забезпечує надійне зберігання та захист секретів, має єдиний інтерфейс та вбудований ACL (Access Control List — список керування доступом), а також веде детальний аудит логів. Розгортати сервер можна на будь-якому сервері, головне, щоб усі складові додатку, яким необхідні дані зі сховища, мали до нього доступ.

При встановленні сервер Vault знаходиться в заблокованому стані, тобто сервер знає місцезнаходження даних, але не знає як їх розшифрувати. Тому при першому запуску серверу важливо виконати процес ініціалізації, при якому буде отриманий root-токен для доступу до даних, а також ключі шифрування, які надалі будуть використовуватися для розблокування. Важливо їх запам'ятати, так як надаються вони один раз при процесі ініціалізації. Всього надається 5 ключів, мінімум 3 з яких необхідні для розблокування. В разі повного перезапуску серверу сховище блокується [3]. Розраховується, що ключі для розблокування будуть у групи надійних співробітників і в разі потреби троє з них повинні будуть ввести свої ключі, що забезпечує надійний захист даних.

Коли сервер запущено, доступ до даних можна отримати через веб-інтерфейс або командний рядок. Для аутентифікації потрібно надати токен, для початку можна використати root-токен, але надалі бажано налаштувати базову аутентифікацію з метою забезпечення розподіленого доступу до даних. Після проходження аутентифікації користувач може зберегти необхідні секрети в просторі імен `secret` через команду `vault kv put` та переглянути їх через команду `vault kv get`. При створенні секрету до нього відразу додаються наступні метадані: `created_time`, `deletion_time`, `destroyed` та `version`. Будь-яка зміна даних в секреті буде відзначатися як нова версія, що забезпечує журнал аудиту секретів, дозволяючи побачити які секрети були змінені і коли. При необхідності видалення секретів є два варіанти `delete` та `destroy`,

перший відмічає дані як видалені та не дозволяє отримати їх через звичайний GET запит, проте з самої системи не видаляє, другий же видаляє дані без можливості відновлення [3].

Vault дозволяє створювати динамічні секрети, тобто є можливість налаштувати створення тимчасових користувачів в різних системах, коли після закінчення часу пароль перестане діяти. Існує можливість налаштування автооновлення токенів доступу для додатків, тобто створюється тимчасовий токен, за яким додаток отримує початковий доступ до сховища, після закінчення `ttl` (time to live — час життя) цього токена на його основі генерується новий та надсилається додатку у зашифрованому вигляді, таким чином вже після першого оновлення токен відомий лише додатку та серверу Vault.

Виходячи з власного досвіду налаштування та користування Vault слід відзначити, що не дивлячись на добре прописане API та зрозумілу документацію від розробників, правильно налаштувати Vault для проектів зі складною структурою задача не проста, якщо у вас в команді немає досвідченого DevOps, то доведеться витратити чимало часу на правильне структурування і налаштування доступів та динамічних паролей.

Другим фактором є те, що запуск серверу у режимі розробки, хоча і простіший в налаштуванні, є доволі ненадійним і підходить лише для ознайомлення з технологією, адже зберігає всі дані в пам'яті і в разі перезапуску серверу вам доведеться виконувати всю роботу з початку.

По-третє при налаштуванні динамічних секретів з автооновленням є важливий нюанс, який полягає в тому, що окрім часу існування токена є глобальна змінна `max_lease_ttl` — максимальний час життя секрету і за замовчанням він дорівнює 768 годин, тобто місяць. Така константа скоріш за все повинна попереджувати спробу створити токени доступу з безкінечним автооновленням, що є правильним з точки зору безпеки, але дійсно не дуже зручно. І тут вам вже необхідно вирішити: чи щомісяця поновлювати усі підключення до сховища, чи самостійно задати інше значення `max_lease_ttl`, збільшивши його до більш зручного проміжку часу.

- [1] Michael Meli, Matthew R. McNiece, Bradley Reaves. How Bad Can It Get? Characterizing Secret Leakage in Public GitHub Repositories. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.ndss-symposium.org/wp-content/uploads/2019/02/ndss2019_04B-3_Meli_paper.pdf
- [2] HashiCorp: Infrastructure enables innovation. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.hashicorp.com/>
- [3] Безпечне використання секретів: шаблон для використання HashiCorp Vault [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/536694/>

HASHICORP'S VAULT TECHNOLOGY TO STORE AND PROTECT PASSWORDS AND ACCESS TOKENS

M. Skok, V. Gerasymov

Oles Honchar Dnipro National University

skok@ffeks.dnu.edu.ua

Features of using and configuring the cross-platform Vault tool are shown, which provides reliable storage and protection of secrets, has a unified interface and built-in ACL, and conducts a detailed audit of logs.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗГЛАДЖУВАННЯ ЗА АДАПТИВНИМИ АЛГОРИТМАМИ БРАУНА І ХОЛЬТА

Д. Керекеша, М. Твердоступ

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
tven72@ukr.net*

Дослідження можливостей алгоритмів згладжування дозволяє оптимізувати обробку експериментальних даних та підвищити їх точність і надійність.

Метою роботи є розробка і створення програми-калькулятора для порівняльного дослідження згладжування за алгоритмами Брауна і Хольта та визначення їх впливу на точність результату виміру.

Адаптивний алгоритм експоненціального згладжування Брауна[1] зводиться до перетворення поточних значень деякої змінної X_i згідно з рекурентною формулою

$$\tilde{X}_i = \alpha X_i + (1 - \alpha) \tilde{X}_{i-1}, \quad (1)$$

де $\tilde{X}_i$, $\tilde{X}_{i-1}$ – експоненціальні середні на моменти часу i і $i - 1$ відповідно; α – параметр згладжування ($0 < \alpha \leq 1$).

В алгоритмі Хольта експоненціальні середні на моменти часу i і $i - 1$ рівні

$$\tilde{X}_i = \alpha X_i + (1 - \alpha)(\tilde{X}_{i-1} + b_{i-1}); \quad (2)$$

де $b_i = \gamma (\tilde{X}_i - \tilde{X}_{i-1}) + (1 - \gamma) b_{i-1}$ причому $0 < \gamma \leq 1$.

Дійсне значення вимірюваної змінної величини X_i визначено у вигляді середнього арифметичного X_{cp} з похибкою ΔX .

Для оцінки динаміки поведінки X_{cp} і ΔX в залежності від кількості вимірів N середнє значення визначали у вигляді кумулятивного ковзаючого

$$X_{cp}(N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (3)$$

при $1 \leq N \leq 100$, а похибку середнього визначали як довірчий інтервал ΔX з обраною вірогідністю 0,95

$$\Delta X(N) = t_N \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - X_{cp})^2}}{\sqrt{N(N-1)}}, \quad (4)$$

де t_N – коефіцієнт Стюдента. Величини $X_{cp}(N)$ і $\Delta X(N)$ обчислювали для початкового і згладженого числових рядів. В якості дійсного значення вимірюваної величини було прийнято значення X_{cp} при максимальній величині N для досліджуваного числового ряду. Вирази (1) – (4) покладені в основу математичної моделі розробленої програми-калькулятора.

У створеній програмі використано графічний інтерфейс з відображенням даних у вигляді кнопок, іконок, таблиць (рис. 1) і графіків (рис. 2). Для прикладу на рис. 1 представлено масив початкових даних і результати розрахунку за двома алгоритмами при параметрах $\alpha = 0,1$ і $\gamma = 0,1$; на рис. 2 для масиву 100 чисел показані отримані графічні залежності початкових $X(N)$ та згладжених даних за обома алгоритмами відповідно.

У програмі передбачена паралельна обробка до п'яти окремих масивів чисел. Експериментально встановлено, що відносна похибка розрахунків програмою-калькулятором не перевищує $3,2 \cdot 10^{-6} \%$.

Розроблена програма-калькулятор показала себе зручним у користуванні інструментом для порівняльного дослідження згладжування за алгоритмами Брауна і Хольта.

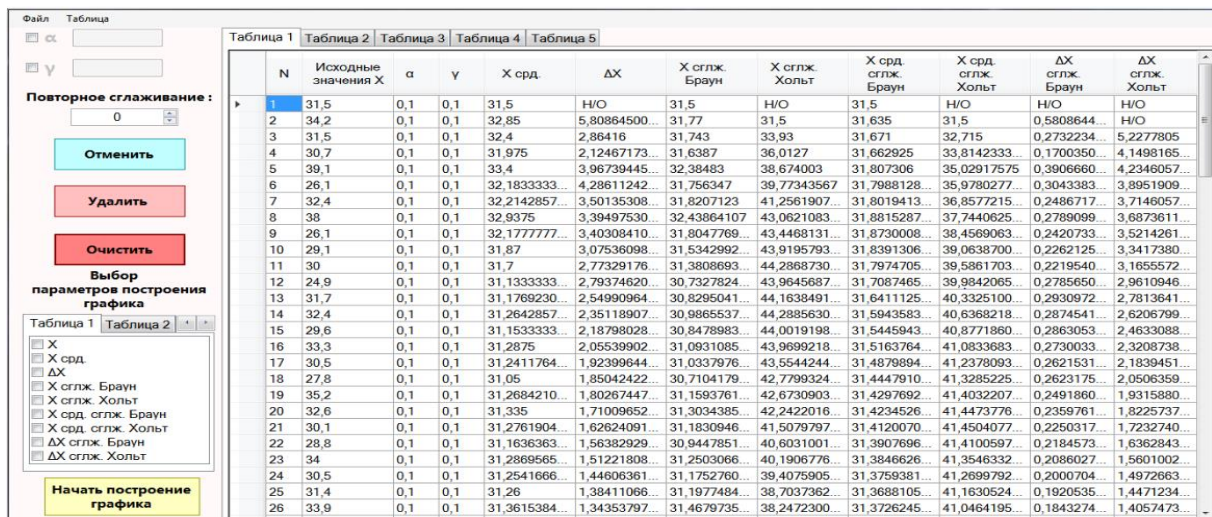


Рис. 1

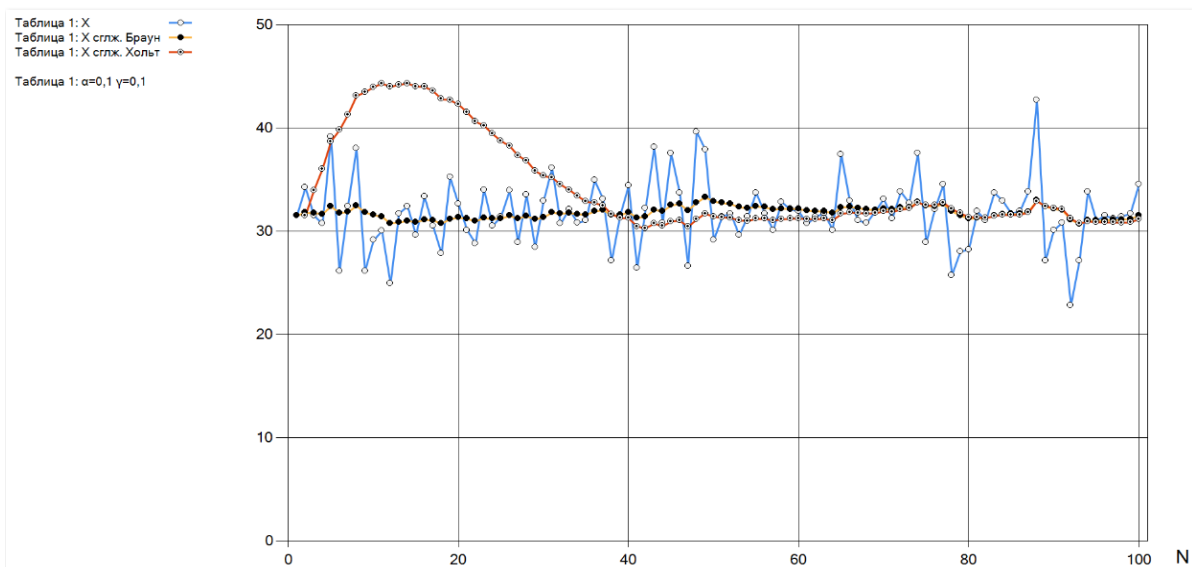


Рис. 2

- [1] Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.

AUTOMATION OF SMOOTHING BY ADAPTIVE ALGORITHMS OF BROWN AND HOLT

D. Kereksha, N. Tverdostup
Oles Honchar Dnipro National University
tven72@ukr.net

A specialized program with a graphical interface has been developed for a comparative study of the efficiency of smoothing according to the Brown and Holt algorithms. The program calculates the moving average value and its error, considering the selected smoothing parameter.

ОСОБЛИВОСТІ КЕРУВАННЯ ХМАРНОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ ПІДПРИЄМСТВА

Д. Рягузов, В. Хандецький

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
v.khandetsky@gmail.com*

В теперішній час на ринку представлено три основних хмарних провайдерів: AWS, Azure та Google cloud. Вони мають спільні елементи загальнодоступної хмари – автомасштабування, самообслуговування, безпечне підключення, функції керування доступом і миттєве розгортання ресурсів. На наш погляд, Azure є більш зручним та простішим у використанні. А спільна компанія-розробник спрощує використання таких програмних продуктів як, наприклад, Visual Studio або Visual Studio Code.

В залежності від того, які зміни плануються в інфраструктурі, обирається певний інструмент. Якщо потрібно одноразово змінити один чи декілька ресурсів, у більшості випадків Azure Portal (веб-сторінка) буде найшвидшим та найзручнішим інструментом. Для щоденних змін краще підходить інтерфейс командного рядка (Azure PowerShell або Azure CLI) або Інфраструктура як код (IaaS).

Інтерфейс командного рядка Azure (CLI) дозволяє виконувати команди через термінал за допомогою інтерактивних підказок командного рядка або сценарію. Azure CLI можна інсталивати локально на комп'ютерах Linux, Mac або Windows. Його також можна використовувати з браузера через Azure Cloud Shell або запускати з контейнера Docker.

Синтаксис цих команд дуже схожий до PowerShell та Bash відповідно. Використовувати їх можна або інтерактивно в терміналі, або створювати файл-сценарій.

Принципово інший варіант – це використання підходу Інфраструктура як код. В цьому випадку створюються шаблони (ARM templates), які описують інфраструктуру у декларативному вигляді. Шаблон ARM – JavaScript Object Notation (JSON) визначає один або кілька ресурсів для розгортання.

Ще одним варіантом IaaS є Terraform. Це інструмент інфраструктури як коду, який дозволяє визначати як хмарні, так і локальні ресурси в зрозумілих для людини конфігураційних файлах. Terraform може керувати компонентами низького рівня, такими як віртуальні машини, диски та мережеві ресурси, а також компонентами високого рівня, такими як записи DNS і функції SaaS. Terraform підтримується більшістю хмарних провайдерів серед яких AWS та Azure, має простий та зрозумілий синтаксис.

Робочий каталог, що містить конфігураційні файли Terraform, ініціалізується за допомогою команди terraform init. Після створення нової конфігурації або клонування існуючої це перша команда, яку потрібно виконати. Ви можете використовувати команду init для встановлення плагіна та дочірнього модуля, ініціалізації серверної частини

Команда terraform plan генерує план виконання. Сама по собі команда плану насправді не впровадить запропоновані зміни, тому перш ніж застосовувати їх вам необхідно перевірити, чи відповідають запропоновані зміни вашим очікуванням.

Terraform також допомагає зберегти план у файлі для подальшого виконання за допомогою terraform apply, що може бути корисним під час застосування автоматизації. Цього можна досягти за допомогою аргументу -out. Якщо запустити план Terraform без параметра -out=FILE, буде створено спекулятивний план, який є описом ефектів плану, але без наміру їх фактичного впровадження.

Кроки, запропоновані в плані Terraform, виконуються за допомогою команди `terraform apply`. Найпростіший підхід до використання `terraform apply` — це виконати його без будь-яких аргументів. У цьому випадку він автоматично створить новий план виконання, а потім створить запит на схвалення перед виконанням зазначених дій.

Ім'я збереженого файлу плану, раніше підготованого за допомогою `terraform plan -out=...`, також можна передати в `terraform apply`, у цьому випадку Terraform застосує зміни до плану без запиту підтвердження. Цей двоетапний процес насамперед призначений для автоматизованого виконання.

Деякі ускладнення додає той факт, що Terraform – декларативна мова, тобто описується тільки бажаний стан, а не послідовність операцій.

Однією з проблем може бути умова на створення ресурсу. Класичного “if-else” в Terraform немає. Цю задачу можна вирішити використанням параметру “count”. Зазвичай він використовується для опису кількості ресурсів, які необхідно створити. Створення ресурсу відбудеться, коли параметр прийме значення «1». Для задання значення цього ресурсу краще всього використати змінну. При цьому для зручності можна описати значення змінної за замовчуванням, потрібно лише вказати такий параметр як “default”.

Також слід взяти до уваги, що посилання на ресурс буде вимагати визначити індекс цього ресурсу. Так для створення дочірніх ресурсів потрібно вказувати параметри основного ресурсу. Крім того, таким чином можна визначати залежності між ресурсами. Звісно можна скористатись вбудованим функціоналом Terraform і застосувати конструкцію “depends_on”. Цей параметр можна визначити для дочірнього ресурса та вказати в ньому перелік ресурсів, які повинні бути створені попередньо. Але це також буде вимагати додаткової конфігурації. З цієї причини використання посилань на параметри інших ресурсів є хорошою практикою.

Використання цих та подібних прийомів дозволяє істотно зменшити кількість коду, підвищити зручність його підтримки та надійність.

[1] IaaS vs. PaaS vs. SaaS [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.leanix.net/en/wiki/saas/iaas-vs-paas-vs-saas>.

[2] Terraform Workflow :Terraform plan & AWS Create VPS Overview [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://k21academy.com/terraform-iac/terraform-workflow-and-its-use-case/>.

[3] Azure you cloud success [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/virtual-machines/overview>.

FEATURES OF ENTERPRISE CLOUD INFRASTRUCTURE CONTROL

D. Riahuzov, V. Khandetskyj

Oles Honchar Dnipro National University

v.khandetsky@gmail.com

To control the cloud infrastructure of the enterprise, the Infrastructure as Code (IaaS) approach was applied using the Terraform tool. The advantages and disadvantages of this approach are analyzed. Software tools for optimizing some Terraform designs are proposed in order to reduce the amount of code, improve its support, automate some operations, and increase control reliability.

WEB-ДОДАТОК ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТУ НЕЛІНІЙНОСТІ ВОЛТАМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

О. Івон, В. Істушкін, В. Любимкін

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
aii_vel93@i.ua

Для варисторних матеріалів актуальною задачею є вимірювання ВАХ і її нелінійності в області сильних електричних струмів. Такі вимірювання можна здійснити на підставі даних імпульсних випробувань [1].

Метою даної роботи є створення web-додатку, призначеного для вимірювання вольтамперної характеристики і її коефіцієнту нелінійності за даними сканування растрових зображень аналогових осцилограм імпульсів напруги і струму.

Програма створена засобами мов HTML5, CSS3, JavaScript і технології Canvas. Вона реалізує наступний алгоритм обробки растрового зображення: 1). Завантаження і вбудовування зображення в полотно для використання Canvas. 2). Масштабування. 3). Визначення координат нульових ліній напруги і струму. 4). Розрахунок на підставі даних сканування миттєвих значень напруги, струму і коефіцієнту нелінійності. 5). Виведення результатів.

Розрахунок коефіцієнту нелінійності α в різних точках ВАХ, програма здійснює за координатами трьох точок на растровому зображенні осцилограм напруги і струму (рис. 1) з урахуванням попередньо визначених масштабів і координат нульових ліній.

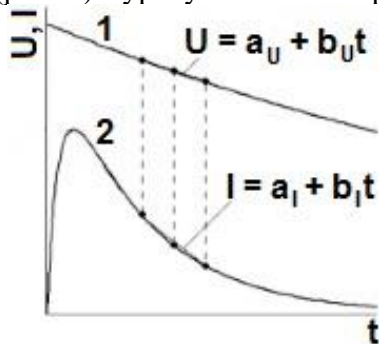


Рис. 1. Осцилограми імпульсів напруги (1) і струму (2)

Для цього вона методом найменших квадратів, розраховує коефіцієнти b_U і b_I прямих ліній, проведених через ці точки, реалізуючи просту лінійну регресію. Диференціальний опір R_{dif} у середній з трьох точок визначається як $R_{dif} = b_U/b_I$, а статичний опір R_{st} – як відношення миттєвої напруги до миттєвого струму. Значення α розраховується як $\alpha = R_{st}/R_{dif}$. Таким чином, формуються масиви миттєвих напруг, струмів і коефіцієнтів нелінійності для багатьох точок ВАХ. Кількість точок n визначається кількістю точок N , в яких виконано сканування ($n = N-2$). Користувач може обрати потрібну кількість точок N , перервавши сканування напруги за допомогою кнопки інструментарію «Скан. U

закінчено» (рис. 2). Програма перевіряє кількість сканованих точок N і видає відповідне повідомлення коли $N < 3$. Для більш чіткого виділення границь ліній осцилограм за допомогою кнопки «Інверсія кольору» можна інвертувати колір растрового зображення. На рис. 2 представлено растрове зображення осцилограм імпульсів напруги і струму з інвертованим кольором.

Сканування починається з осцилограми імпульсу напруги і виконується за подією mouseup шляхом клацання лівою клавішею миші в обраній точці зображення. Для зчитування координат використовуються властивості pageX і pageY об'єкту event мови JavaScript. Скановані точки відмічаються засобами Canvas кружками, з'єднаними прямими лініями. На етапі сканування імпульсу напруги із кожної сканованої точки, засобами Canvas, проводяться вертикальні лінії, які полегшують обрання точок осцилограми імпульсу струму, які відповідають сканованим миттєвим напругам.

Вікно програми на заключному етапі виконання показано на рис. 2. Програма має інструментарій: блок відображення поточних координат курсору (в правому верхньому куті вікна браузера), блок завантаження зображень і блок обробки. Блок обробки містить приховані блоки, які відкриваються на етапах виконання програми.

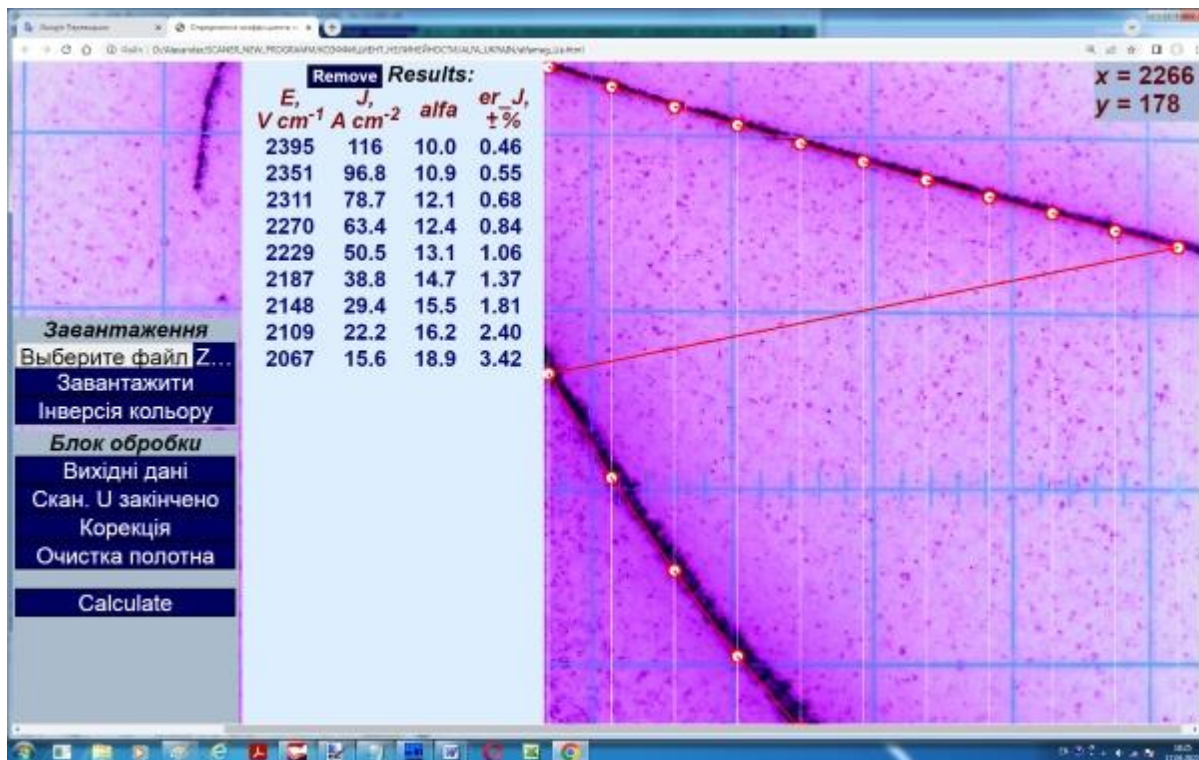


Рис. 2. Вигляд вікна програми для вимірювання вольтамперної характеристики і коефіцієнту нелінійності (α) на заключному етапі роботи. Вимірювання виконані для зразку оксидно-цинкової кераміки

Робота програми після відкриття в браузері починається з завантаження растрового зображення осцилограми сигналу калібрувальної напруги. Для цього використовується поле форми типу «file» і кнопка «Завантажити». Кнопка «Вихідні дані» відкриває блок для введення товщини і площі електродів зразка та опору струмового резистора. Після їх введення відкривається блок масштабування напруги, який дозволяє за даними сканування осцилограми сигналу калібрувальної напруги визначити масштаб напруги. Далі, після відкриття блоку визначення масштабу струму і завантаження осцилограми калібрувального сигналу, визначається масштаб струму. Потім завантажуються растрові зображення осцилограм імпульсів напруги і струму досліджуваного зразка. Виконується сканування нульових ліній та осцилограм напруги і струму, за результатами якого розраховуються миттєві напруги, струми і коефіцієнти нелінійності. Результати виводяться на екран комп'ютера (рис. 2).

[1] Zhen-Ya Lu, Glot A.B., Ivon A.I., Zi-Yang Zhou. Electrical properties of new tin dioxide varistor ceramics at high currents. J. Europ. Ceramic Society. Vol. 32. (2012). P. 3801–3807.

WEB APPLICATION FOR MEASURING THE NONLINEARITY COEFFICIENT OF VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS

A. Ivon, V. Istushkin, V. Lubimkin

*Oles Honchar Dnipro National University
aai_vel93@i.ua*

An applied web-application for measuring the nonlinearity coefficient of volt-ampere characteristics is presented.

МЕТРИЧНА СКЛАДНІСТЬ ЯК ПОКАЗНИК ЯКОСТІ СИСТЕМИ

І. Кривий, В. Герасимов

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

kryvyy_i@ffeks.dnu.edu.ua

При розробці серверного програмного забезпечення, незалежно від мови програмування, украй важливим показником являються метрики, або метрична складність. Даний показник дає змогу визначити складність майбутнього рефакторингу, або навіть впровадження нового функціоналу; чим він нижче тим краще. Метрики бувають трьох видів: кодові, бізнес та ресурсні. Розглянемо кодові метрики.

Цикломатична складність (анг. *cyclomatic complexity*) — це складність, розрахована на основі кількості шляхів через код. Щоразу, коли потік керування функцією розділяється, лічильник складності збільшується на одиницю [1]. Простіше кажучи, чим більше умов міститиме в собі код того чи іншого функціоналу, тим вище буде показник цикломатичної складності, адже умова приводить до нового потоку керування [2]. Кожна функція має мінімальну складність 1, але цей розрахунок дещо відрізняється залежно від мови програмування, оскільки ключові слова та функції відрізняються. Наприклад для мови програмування Java ключовими словами, що підвищують складність, є: `if`, `for`, `while`, `case`, `catch`, `throw`, `&&`, `||`, `?`.

Когнітивна складність (анг. *cognitive complexity*) — показник, який описує те, як важко зрозуміти потік керування кодом. Цикломатична складність вже давно є стандартом де-факто для вимірювання складності потоку керування методом. Спочатку він був призначений «для ідентифікації програмних модулів, які буде важко тестувати або підтримувати», але хоча він точно розраховує мінімальну кількість тестових випадків, необхідних для повного охоплення методу, це не є задовільним показником зрозумілості. Це пояснюється тим, що методи з однаковою цикломатичною складністю не обов'язково мають однакову складність для супроводжуючого, що створює відчуття, що вимірювання мають дещо спотворений результат, через переоцінку одних структур і заниження інших [3]. Простіше кажучи, кожна додаткова умова може створювати додаткову цикломатичну складність, однак не обов'язково — когнітивну.

Дублювання блоків (анг. *duplicate blocks*) — також відноситься до метричної складності та вказує на повторне написання вже створеного блоку коду. Щоб блок коду вважався дубльованим, повинно бути принаймні 10 послідовних і дубльованих операторів незалежно від кількості рядків. Під час виявлення дублікатів відмінності у відступах і рядкових літералах ігноруються [1]. «Повторне використання» — один із принципів ООП, який дозволить покращити показник дублювання і тим самим метричну складність. До цього показника також можна віднести: дублювання файлів (анг. *duplicate files*) та дублювання рядків (анг. *duplicate lines*).

Рейтинг ремонтпридатності (анг. *maintainability rating*) — рейтинг, наданий вашому проекту, пов'язаний зі значенням вашого коефіцієнта технічного боргу (див. далі). Шкала рейтингу ремонтпридатності за замовчуванням така: A=0-0.05, B=0.06-0.1, C=0.11-0.20, D=0.21-0.5, E=0.51-1. Тобто, якщо непогашені витрати на відновлення становлять не більше 5% часу, який уже було витрачено на програму, то маємо рейтинг A. Якщо від 6 до 10% — рейтинг B і т.д. [1].

Технічний борг (анг. *technical debt*) — зусилля виправити всі недоліки коду. Показник зберігається в базі даних у хвилинали. Коли значення відображаються в днях, передбачається 8-годинний робочий день [1].

Дотримання усіх принципів ООП, чистої архітектури та використання різних патернів проектування дає змогу покращити метричну складність та кожен з її показників. Будь-який додаток може значно відрізнятись від іншого за кожним із параметрів, проте у той же час для них не існує лімітів, але існує принцип — «Чим нижче показник — тим краще».

Перспективною методологією використання буде впровадження збору метричних показників, та відображення їх на графіках покращення якості системи, зображених у додатку для ведення якості системи під час розробки. Дана методологія може дещо відрізнятись у різних випадках і залежати від стеку технологій, але реалізувати її можна у будь-якому разі. Першим кроком у реалізації буде підключення бібліотеки для збору метричних даних і генерування звіту, та написання скрипту, який буде отримувати результати з нього. Подібні бібліотеки існують майже для кожної з мов програмування, тому залишається лише створити скрипт, який повинен не лише витягнути дані, але і відправити їх у додаток для відображення на графіку. Далі все зводиться до контейнеризації та описування pipelines, які відпрацьовуватимуть на будь-якій системі контролю версій GIT. Pipeline — основна сутність CI/CD — це конвеєр, який може складатися з опису того, що потрібно виконати (jobs), та етапів (stages), що вказують в якій послідовності їх потрібно виконати. Для прикладу може існувати наступний порядок опису pipeline:

- build: етап збору проекту, відпрацьовування всіх тестів та генерування звіту з метричними показниками;
- metric-details: етап, на якому відпрацьовує створений скрипт;
- deployment: один із процесів CI/CD, а саме continuous delivery.

Кількість етапів може змінюватись за необхідністю, але слід відзначити, що порядок, наведений у прикладі змінюватись не може. Завдяки цьому підходу слідкувати за якістю розробки системи можуть як розробники, так і замовники, що покращить не тільки якість системи, але й ведення проекту з точки зору бізнес відносин, оскільки останні зможуть слідкувати за створенням продукту через математичну модель.

[1] Sonarqube. User guide. Metric Definitions [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.sonarqube.org/latest/user-guide/metric-definitions/>.

[2] Code metrics - Cyclomatic complexity [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/visualstudio/code-quality/code-metrics-cyclomatic-complexity?view=vs-2022>.

[3] Sounarsource. Cognitive complexity [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://assets-eu-01.kc-usercontent.com/0e10b765-77af-0152-d616-9bc07249c7ce/e89714ed-2e5b-4119-9ff7-3ccdef359ee9/CognitiveComplexity.pdf>.

METRIC COMPLEXITY AS AN INDICATOR OF SYSTEM QUALITY

I. Kryvyi, V. Gerasymov

*Oles Honchar Dnipro National University
kryvyi_i@ffeks.dnu.edu.ua*

What is a metric complexity. Promising methodology of using metric complexity from technical side. The prospects for using the described methodology are considered. Through the using considered methodology achieved improvement in project management and compliance with the quality of product creation.

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Л. Ахметшина, С. Мітрофанов

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
mitrofanov.stas@hotmail.com

При діагностиці багатьох захворювань використовуються різні типи медичних зображень, які доступні в широкому спектрі методів візуалізації (наприклад, комп'ютерний томограф, ультразвуковий апарат тощо) і вимірюють фізичні властивості людського тіла (наприклад, радіоцильність, непрозорість для рентгенівських променів). Ці зображення інтерпретуються експертами і мають великий вплив на достовірність діагностики. Підвищення якості медичних зображень є фундаментальною частиною аналізу, що впливає на якість роботи експерта.

Слабкий контраст - найбільш поширений дефект, обумовлений обмеженістю діапазону відтворюваної яскравості. Крім цього, у цифрових зображеннях завжди присутня нечіткість та невизначеність, яка обумовлена процесами в системі формування, відображенням 3Д образів у 2Д простір, перетворенням на цифрову форму.

У доповіді приводиться аналіз ефективності алгоритмів підвищення контрастності напівтонових медичних зображень методами нечіткої обробки [1]. На рис. 1. наведено інтерфейс розробленого програмного забезпечення. Він забезпечує введення вихідних знімків, побудову гістограм, виділення границь методом нечіткого шаблону, застосування методів обробки зображення: операторів нечіткої інтенсифікації (INT, NINT), обробки зображення на основі нечіткого очікуваного значення (FEV), адаптивної нечіткої гіперболізації (FHH), модифікований метод нечіткої кластеризації на основі локальної інформації (FLICM), обробка цифрового зображення на основі FCM та сингулярного розкладання (SVD) [2]. Інтерфейс дозволяє задати базові параметри для виконання алгоритмів, та послідовно застосувати один алгоритм до результату іншого.

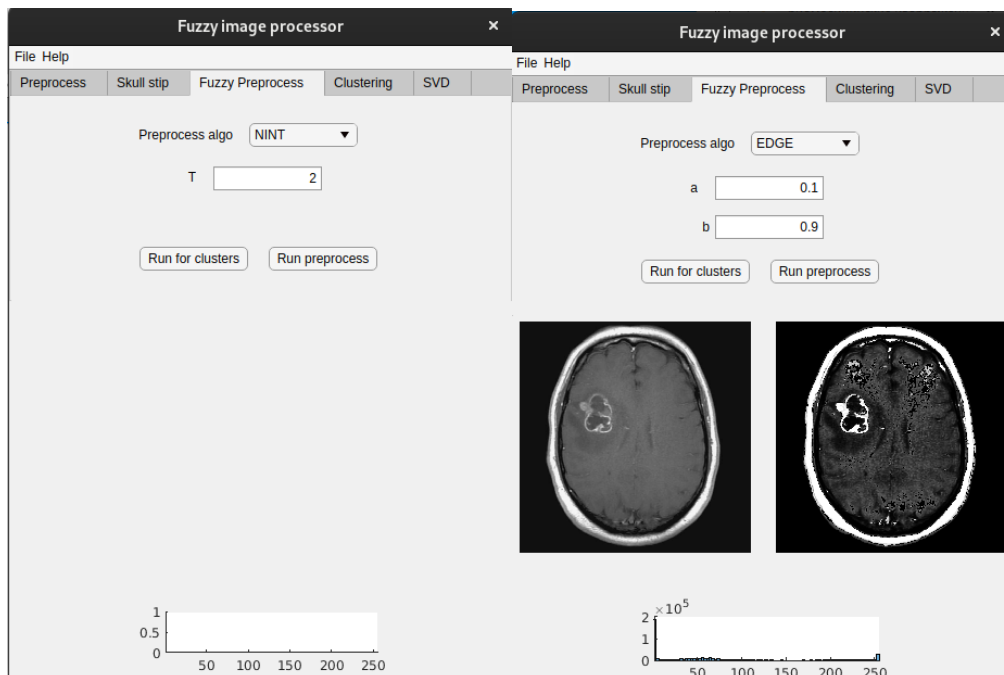


Рис 1. Графічний інтерфейс для застосування нечітких методів при обробке медичних зображень

На рис. 2 наведені результати обробки МРТ знімка з використанням методу FEV та нечіткого визначення границь на основі шаблону. Застосування методу FEV, до знімку МРТ дозволило підвищити контрастність, завдяки чому стало можливо краще розрізнити об'єкт інтересу. Після застосування методу нечіткого виділення границь, вдалося також поліпшити точність виділення границі інтересу.

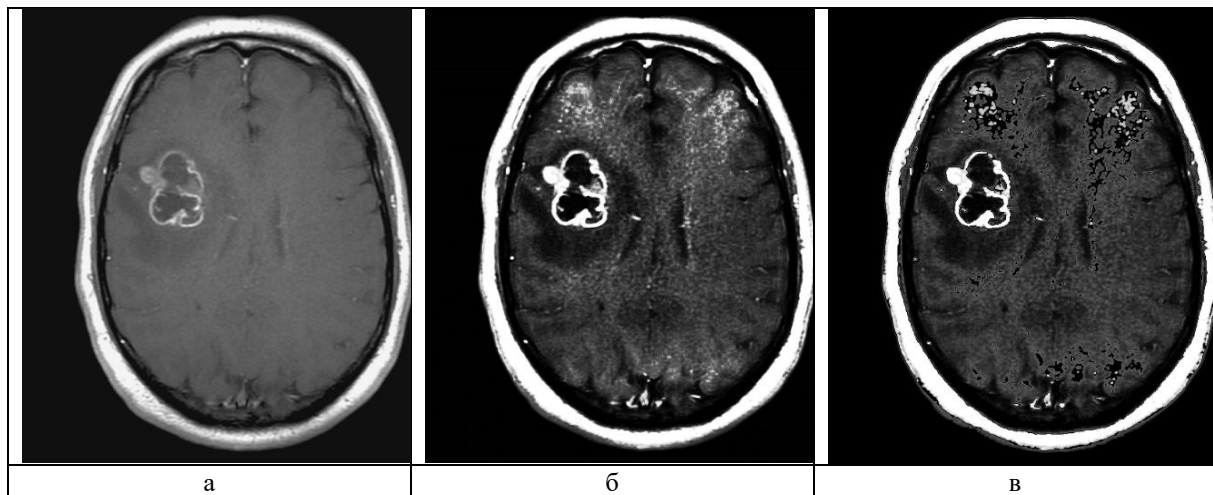


Рис 2. а) вхідне зображення; б) метод FEV; в) застосування нечіткого визначення границь до результату FEV

У доповіді наведено приклади використання нечітких методів, та їх комбінування для обробки модельних даних та реальних медичних зображень різного типу. Наведено різні способи відображення результату.

Висновки. При вирішенні конкретних завдань для досягнення прийнятних результатів, зазвичай потрібне застосування декількох різних підходів, які доповнюють один одного. Використання комбінованих методів обробки медичних зображень на основі нечітких множин є перспективним напрямком обробки зображень.

- [1] Chi Z. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition / Chi Z., Yan H., Pham T. – Singapore; – New Jersey; – London; – Hong Kong: Word Scientific, 1998. – 225 p.
- [2] Horst Haußecker . Fuzzy Image Processing /Horst Haußecker, Hamid R. Tizhoosh. Handbook of computer vision and applications. - Vol. 2. Signal processing and pattern recognition By Academic press ,1999 . –722 с.
- [3] Ахметшина Л.Г.Інтелектуальна обробка цифрових зображень.-Дніпро, 2018. - 132 с.

USING FUZZY METHODS TO IMPROVE THE QUALITY OF MEDICAL IMAGES

L. Akhmetshina, S. Mitrofanov
Oles Honchar Dnipro National University
mitrofanov.stas@hotmail.com

Presented graphical user interface that allows to apply different fuzzy algorithms to images. With usage of the presented interface, shown experimental capabilities of the fuzzy expected value and fuzzy edge detection algorithm to improve low-contrast medical images.

ON PRACTICAL USE OF THE FRAME-BASED SENTENCE PATTERNS IN COMPUTER-AIDED LANGUAGE LEARNING SYSTEM

O. Lytvynov, M. Lytvynov

Oles Honchar Dnipro National University

lishu.dnpr.ua@gmail.com, litvinovma0@gmail.com

There are three key classes of CALL systems connected to three language learning approaches: behavioristic, communicative, integrative. The systems of the first type do not allow enough authentic communication to be of much value and are focused on “drill and practice” principle. communicative systems try to involve the computer system encouraging students to generate original utterances rather than manipulate prefabricated language. The typical integrative system is Dustin program developed by the Institute for Learning Sciences at Northwestern University [1, 2].

To make the interconnection between the user and the system more natural and effective means making the system flexible to a variety of student responses. This claim gets the developers faced the issue of a huge number of probable variants of acceptable answers connected to one task, considering their completeness, acceptability etc. It is obvious that this problem cannot be resolved simply by the enumeration of all the available variants.

The solution is based on frame-based paradigm [3], according to which each sentence can be represented as a number of ordered slots (terminals and non-terminals) connected with the terms (variants of expression parts represented by the slots). Some slots are strongly required to be filled with the values others are optional ones. The collection of required slots forms the semantic core of the expression: the meaning cannot be passed if the slot is not filled with a proper value. Slots can be connected to a number of alternative values – the terms with the same meaning, some of which can be regarded as preferable. Some of these values can also be described by the complex structures(frames) but mostly they are equivalent to a word or a number of words. The order of the slots allows us to build syntactically right sentences.

The attractive idea of using such patterns suffers from following disadvantages. First, some of the languages have rigorous sentence, others more flexible, but every language allows to change words order in definite scope of restrictions. The question is how to process that type of allowable words moving. The next question considers some general rules of interpretation, e.g. according to the rule of indefinite article “a” becomes “an” before the word started with the vowel. Of course, they could be solved by the rigorous frame description, but it would require more time of a person responsible for frames description and, therefore, could undermine the idea of simplicity of the system. Third question connected to error handling. When the user chooses a wrong word or a part of phrase instead of the right one, he/she have got the notification that his answer is incorrect and, in the best variant, how the most closed proper answer is looked like. But usually, users want to get some explanations about why the provided variant is not right. How to process the situation making the system more usable and friendly, increasing its interaction-orientedness. The last question is how to embed patterns in scenario scripts, how to make the process of scenario construction simpler and more effective.

Therefore, to make the system more adoptable to the expert needs we introduce some methods which would help making a set of frames with reordered slots more effectively: additional set of frames which can the share slots among each other and with the basic one, public and private rules of frame transformation. To make error handling more convenient for end-user we propose to include erroneous variants of answer into the list of the slot values attaching detailed description of the error, the same method could be used for detailed

description of the right variants with low weight. We also provide a mechanism of interpretation rules which could be used for refining the text built by the system using frames. In the end we provide a way to describe the scenario using plain text including task steps which based on frames. We hope that all the described aspects of the problems and their solutions will help developers to make integrative systems more interactive, communication-oriented and effective.

- [1] Warschauer M. (1996) "Computer Assisted Language Learning: an Introduction". In Fotos S. (ed.) Multimedia language teaching, Tokyo: Logos International: 3-20.
- [2] Wang C. On Linguistic Environment for Foreign Language Acquisition. Asian culture and history. Vol.1 No.1. 2009, pp. 58-62.
- [3] M. Minsky 1975. 'A Framework for Representing Knowledge'. In The Psychology of Computer Vision, ed. P. H. Winston, 211 – 277. New York: McGraw-Hill.

ПЕРЕВАГИ ТЕХНОЛОГІЇ SPRING FRAMEWORK ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДОДАТКІВ

К. Мохов, Н. Матвєєва, Л. Загородня

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
mohov_kv@ffeks.dnu.edu.ua*

З розвитком інтернет мережі, важливу роль відіграють веб-додатки. Веб-додаток являє собою програмне забезпечення, яке можна відкрити за допомогою будь-якого браузера. Зовнішній інтерфейс такого додатка розробляється за допомогою таких засобів, як: HTML, CSS та мови програмування JavaScript. Для написання серверної частини додатку використовуються мови програмування, такі як: Python, PHP або Java.

Саме веб-додатки володіють такими перевагами, як: застосування на будь-якій ОС, легка розробка та інше. Для створення веб-додатків використовують різноманітні фреймворки, такі, як: Spring, Laravel, Django, Express JS.

Spring Framework є зручним та гнучким інструментом для створення веб-додатків.

За допомогою Spring можна розробити будь-який Java додаток. Він включає до складу:

- найповніший легкий контейнер, який забезпечує централізовану, автоматизовану конфігурацію та з'єднання об'єктів;
- спільний абстрактний рівень для управління транзакціями, який дозволяє змінювати менеджерів транзакцій та розподіляти транзакції, не маючи справи з низькорівневими проблемами;
- абстрактний рівень JDBC, який пропонує чітку ієрархію виключень, спрощує обробку помилок, і значно зменшує об'єм необхідного коду;
- функціональність AOP, повністю інтегрована в менеджмент конфігурацій Spring-a. Можна AOP-enable будь-який об'єкт керований Spring-ом, додавши такі аспекти, як декларативне управління транзакціями;

- гнучкий MVC фреймворк веб-додатків, побудований на основній функціональності Spring. Цей фреймворк високо конфігурований через інтерфейси і забезпечує численні технології як JSP, Velocity, Tiles, iText, та POI.

Spring має такі переваги:

- він торкається багатьох сфер, яких інші популярні фреймворки не чіпають, фокусується на забезпеченні можливості управління бізнес об'єктами;
- одночасно і рівневий, і модульний, має рівневу архітектуру, що означає, що можна використовувати будь-яку її частину ізольовано;
- спроектований з основи, для того, щоб полегшити написання коду та його тестування. Spring – ідеальний фреймворк test driven проєктів.

До архітектурних переваг Spring можна віднести:

- ефективно організовує об'єкти проміжного рівня, незалежно від того, чи використовується EJB чи ні;
- робить вибір EJB питанням реалізації, а не вирішуючим фактором архітектури застосування;
- допомагає вирішити багато проблем, без EJB. Він може надати альтернативу EJB, застосовну для багатьох web-додатків. Наприклад, Spring може використовувати АОП для декларативного управління транзакціями без використання EJB-контейнера, і навіть без реалізації JTA, якщо обмежитись використанням одної БД;
- надає середовище доступу до даних з використанням JDBC чи таких ORM-продуктів, як Hibernate;
- надає стійку, просту модель програмування, перетворюючи її в ідеальний архітектурний "клей". Це можна простежити в підході Spring до JDBC, JMS, JavaMail, JNDI та багатьох інших важливих API.

Будь-який Java-додаток може бути реалізований за допомогою Spring, що надає простоту коду, швидкість тестування та зручність при написанні додатків. Фреймворки можуть працювати незалежно один від одного, що забезпечує більшу функціональність додатків.

[1] [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://springframework.org>.

[2] Mayur Ramgir «Full Stack Java Development with Spring MVC, Hibernate, jQuery, and Bootstrap», 2020 р. – 712 с.

[3] [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://coderlessons.com/tutorials/java-teknologii/uchis-vesne/spring-framework-arkhitektura>.

ADVANTAGES OF THE SPRING FRAMEWORK FOR CREATING APPLICATIONS

K. Mohov, N. Matveeva, L. Zahorodnia
Oles Honchar Dnipro National University
mohov_kv@ffeks.dnu.edu.ua

Spring is a universal framework for creating Java applications.

The main advantages of Spring are: simplicity, ease of testing and the use of Spring positively affects the design of the application and the simplicity of the code.

Frameworks can work independently of each other, which provides greater functionality of applications.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВІЛЬНОГО ВИБОРУ ДИСЦИПЛІН СТУДЕНТАМИ В ЗВО

Д. Карнацький, Н. Карпенко

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
karnatskyi_do@ffeks.dnu.edu.ua

Реформа вищої освіти, яка відбувається на протязі останніх років, намагається зробити процес отримання знань гнучким і студентоцентрованим. Радянська освіта, яка не змінювалась й по перше десятиріччя XXI століття, нагадувала жорсткий каркас з обов'язкових дисциплін. Поступово стали враховувати інтереси студентів і дозволили обирати блоки дисциплін починаючи з 2 курсу навчання. Слід відзначити, що такий вибір найчастіше робили на весь період навчання, що залишився, тобто вибір відбувався одночасно на 2, 3 та 4 курси. Але на 2 курсі ще студенти не зовсім могли визначитися з напрямком в ІТ-галузі, який їм цікавий і вибір блоків дисциплін відбувався виключно за принципом «сподобалась назва». І навіть якщо студент на старших курсах починає розуміти, що дисципліни обраного блоку йому не цікаві, то не надавався шанс змінити їх на інші.

В останні два роки ситуація кардинально змінилася і студенту надана можливість сформулювати свій індивідуальний план навчання на 25%. Наприклад, у бакалаврів з 4-річним навчанням, кількість кредитів ЄКТС складає 240, отже на 60 кредитів студент може набрати собі дисциплін, які відповідають його поточним інтересам. Кожен рік, починаючи з 2 курсу, студент робить вибір 4 дисциплін, які він бажає прослухати на конкретному році навчання. З цього випливає проблема організації процесу вибору дисциплін студентами, обробки результатів цього вибору та впровадження результатів в освітній процес.

Дослідження показали, що заклади вищої освіти (ЗВО) не були готові до повноцінного вирішення цієї проблеми, тобто автоматизовані системи керування навчальним процесом, якщо і були впроваджені в ЗВО, то вони ще не підтримували організацію вільного вибору дисциплін студентами. Наприклад, процес вибору дисциплін з університетського та факультетського каталогів в основному зводиться до того, що студентам надсилають посилання на Microsoft Forms, де вони в текстові поля вписують шифр та назву дисципліни, які б вони хотіли вивчати. Причому такі форми не відстежують правильність вибору дисциплін студентами. Типовими помилками при цьому є вибір дисципліни, що не призначена для конкретного рівня освіти (наприклад, бакалаври можуть обрати дисципліну зі списку для магістрів і, навіть, для аспірантів) та вибір однієї і тієї ж самої дисципліни понад один раз. Окрім цього, результати таких форм опитування складно обробляти через помилки при заповненні, а після вибору дисциплін треба підготувати звіт певного типу, який готується вручну і також може містити помилки через "людський фактор".

Впровадження автоматизованої системи допоможе вирішити ці питання. Така система повинна відповідати за верифікацію користувачів, містити підказки при заповненні форм та забороняти виконувати дії, які не передбачені правилами, наприклад, вибір однієї дисципліни двічі, причому відслідковуватись повинні не лише дії в поточній формі, але й слід підтягати дані з індивідуального плану конкретного студента. Також ця

інформаційна система повинна автоматизувати обробку результатів, тобто готувати звіт у заздалегідь заданому форматі.

Процес вибору дисциплін буде реалізований на основі модифікації раніше створеного покращеного протоколу Фудзіоки-Окамото-Охта [1]. Цей алгоритм забезпечує майже всі властивості “ідеального” протоколу, такі як допуск до голосування правомочних виборців, неможливість голосування за іншу людину тощо. За цим протоколом, систему голосування поділяють на дві частини - реєстратор та лічильник. На стороні лічильника запити персоніфіковані, містяться дані про саме голосування (час проведення, можливі варіанти вибору), а також дані про тих хто має право обирати предмети. Лічильник же не персоніфікований у базовому алгоритмі – він не знає хто саме з користувачів звертається до нього і перевіряє підпис через публічний ключ реєстратора [2]. Лічильник зберігає результати, і саме через нього вони обробляються та готується звіт. Ці дві підсистеми тісно взаємодіють між собою, але внаслідок внесених змін до алгоритму відмова одного з них не призведе до фатальних помилок і у користувача буде можливість зробити свій вибір пізніше. Подальша невелика модифікація протоколу зможе забезпечити вирішення усіх вищезазначених проблем, правильно провалідувати дані та зберегти і обробити результат.

Система буде розроблена у форматі веб-додатку задля забезпечення максимальної зручності користування усіма користувачами. Правильний підхід до побудови архітектури забезпечить інтеграцію зі сторонніми системами, якщо це буде необхідно – від авторизації користувачів і отримання даних про студента (курс, група та інша потрібна для вибору предметів інформація) до отримання університетського каталогу дисциплін. У результаті такий підхід дозволить побудувати сервіс-орієнтований додаток, який можна буде доволі легко розширювати і тестувати.

- [1] Протоколы голосования – Учебная и научная деятельность Анисимова Владимира Викторовича – Лекция 17. Криптографические методы защиты информации [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/kripto/lecture/tema15/tema15_3_
- [2] Шнайер, Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си / Б. Шнайер – М.: ТРИУМФ, 2002. – С.816.

ORGANISATION OF THE PROCESS OF FREE CHOICE OF DISCIPLINES BY STUDENTS IN HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS

D. Karnatskyi, N. Karpenko

*Oles Honchar Dnipro National University
karnatskyi_do@ffeks.dnu.edu.ua*

Automated educational process management system will be developed as a web-application and will allow to smooth processes related to choosing optional university subjects. Students voting will be implemented with the use of modified Fujioka-Okamoto-Ohta protocol. Afterwards, system will automatically generate reports in a pre-defined form.

ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ПАПУЛІСА-ГЕРХБЕРГА

Л. Ахметшина, А. Варгін

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
intdnp@gmail.com

Доступність величезних колекцій зображень, що використовуються в різних галузях діяльності людини, таких як медична діагностика, дистанційне зондування, мікроскопічна візуалізація тощо, викликала потребу в розробці нових ефективних методів, здатних забезпечити їх обробку та перетворення на вигляд, що забезпечує вирішення конкретних завдань. Надроздільна здатність (SR) - це загальна назва підходів у комп'ютерному зорі, які дозволяють створювати зображення з високою просторовою роздільною здатністю (HR) з одного або кількох спостережень з низькою роздільною здатністю (LR). Реалізація SR включає завдання збільшення зображення без аліасу, за рахунок чого збільшується максимальна просторова частота, реконструкцію і усунення погіршень, що виникають при захопленні зображення (розмиття і шум).

По суті, процес SR призначений для генерації відсутніх високочастотних компонентів. В даний час запропоновано безліч різних методів для отримання зображень з високою роздільною здатністю, які істотно різняться на вибір області обробки, використовуваної моделі спостереження, методу захоплення LR-зображень, їх кількості, а також за сигналами, які використовуються для вилучення інформації із вихідних даних [1].

На рис. 1 наведено принцип формування сітки HR шляхом проєкціювання відомих значень зображень LR.

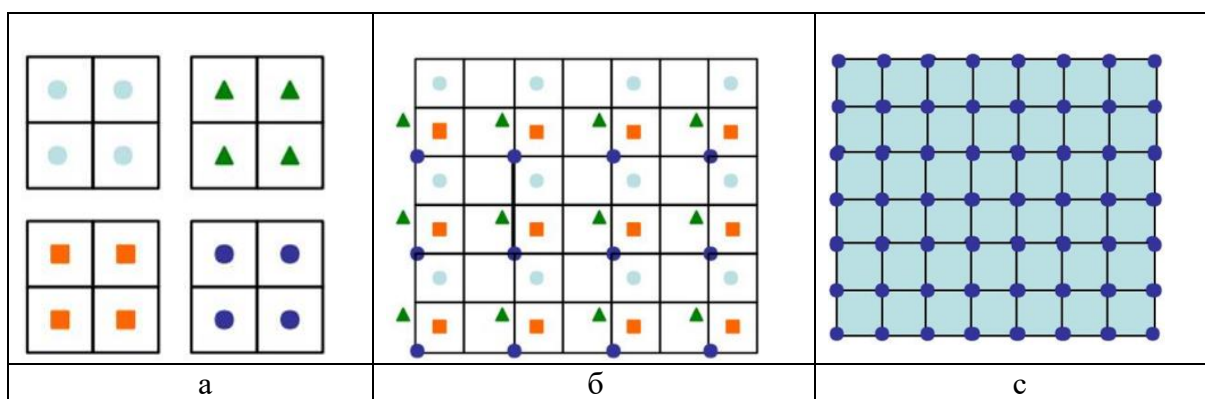


Рис. 1. Реконструкція на основі реєстрації-інтерполяції: а - зображення з низькою роздільною здатністю (значення пікселів тільки для цілих пікселів); б – HR на нерівномірно розташованих точках вибірки; с - ітераційна процедура реконструкції для отримання рівномірно розташованих точок

У доповіді розглядається SR алгоритм Папуліса-Герхберга [2], який дозволяє виконувати інтерактивне відновлення зображень для випадку, коли є лише одне зображення LR. Цей метод передбачає дві речі:

- деякі значення пікселів у сітці високої роздільної здатності відомі;
- високочастотні компоненти у зображенні високої роздільної здатності дорівнюють нулю.

Ітерація алгоритму Папуліса-Герхберга включає таке [3]:

- фіксацію k позицій відомих значень вихідних даних;
- перехід у частотну область;
- низькочастотну фільтрацію з частотою зрізу σ , яка приймається за максимально допустиму частоту, що призводить до розмиття зображення: невідомі пікселі отримують деякі значення, відомі значення пікселів також змінюються;
- перехід у просторову область;
- відновлення k відомих значень, що створює високочастотні компоненти.

При обнуленні високочастотних складових, цей метод намагається інтерполювати невідомі значення i , таким чином, коригувати накладення для низькочастотних компонентів. Крім того, примусово використовуючи відомі значення, він дійсно передбачає деякі високочастотні значення. На рис. 2 показаний спектр Фур'є у логарифмічній шкалі вихідного та відновленого зображення після однієї ітерації методу.

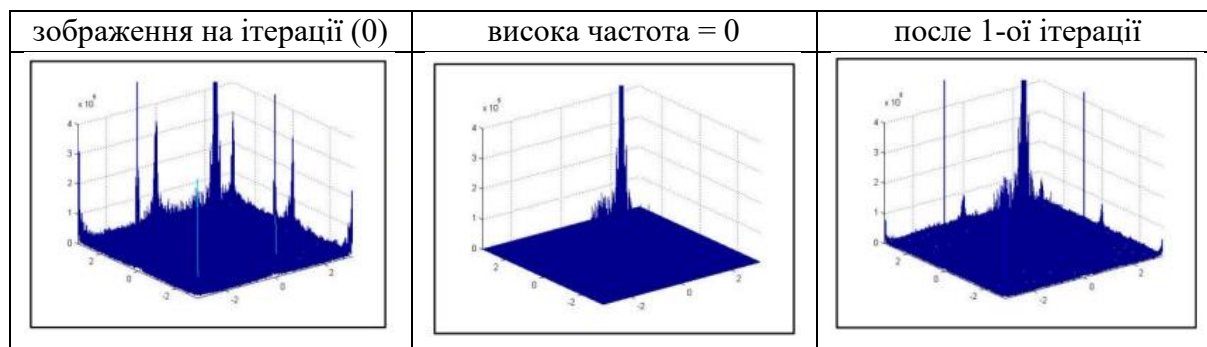


Рис. 2. Перетворення Фур'є зображення

Висновки. Метод Папуліса-Герхберга не вимагає налаштування параметрів, той самий код добре працює для широкого діапазону зображень, дозволяє забезпечити прийнятну якість відновлення невідомих значень, коли ширина областей, що підлягають відновленню, відносно мала.

- [1] Чаттерджі, С. Мукерджі, С. Чаудхурі, Г. Сітараман. Застосування методу Папуліса-Герхберга в надроздільній здатності зображень і малюванні Пріям Чаттерджі. Комп'ютерний журнал вип.. 00, № 0, 2007.
- [2] Д. Джайн. Надроздільна здатність за допомогою алгоритму Папуліса-Герхберга.
- [3] Паулу Дж. С. Г. Феррейра. Навчання алгоритмам реконструкції сигналу та зображення. Журнал Detua, вип. 1, № 6, 1996.

FUZZY TYPE_2 SETS IN THE PROBLEM OF SEGMENTATION OF LOW-CONTRAST IMAGES

L. Ahmetshina, A. Varhin

*Oles Honchar Dnipro National University
intdnp@gmail.com*

This report studies the Papoulis-Gerchberg algorithm, which allows interactive image restoration for the case when only one low-resolution image is available.

ПРО КОРЕКТНІСТЬ РІШЕННЯ ЗАДАЧ МІНІМІЗАЦІЇ БУЛЕВИХ ФУНКЦІЙ ПРИ ВИВЧЕННІ ДИСЦИПЛІНИ «КОМП'ЮТЕРНА ЛОГІКА»

М. Твердоступ

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
tven72@ukr.net*

Вивчення дисципліни «Комп'ютерна логіка» передбачає опанування методами мінімізації булевих функцій з метою подальшої побудови найбільш оптимальних логічних схем цифрових автоматів.

Відомо, що довільна булева функція може мати безліч еквівалентних форм [1, 2, 3]. Тільки досконала диз'юнктивна (або кон'юнктивна) нормальна форма має одне зображення. Результатом мінімізації, взагалі, може бути не одне, а декілька рівнозначних зображень булевої функції з найменшою кількістю змінних і логічних операцій з ними. Проте, можливу множину зображень мінімальної форми булевої функції не завжди враховують при рішенні задач мінімізації. Досить часто результатом мінімізації приводять тільки одне зображення, вважаючи при цьому, що задача вирішена остаточно. Проте, таке рішення є неповним, воно в подальшому не дає можливості вибору для побудови оптимальної логічної схеми.

Метою роботи є підтвердження необхідності пошуку всіх можливих зображень мінімальних форм булевої функції для забезпечення вибору оптимального рішення.

Наведене проаналізуємо на прикладі мінімізації деякої булевої функції f , заданої у вигляді досконалої диз'юнктивної нормальної форми

$$f = \overline{x}\overline{y}\overline{z} + \overline{x}\overline{y}z + x\overline{y}z + x\overline{y}\overline{z} + xyz. \quad (1)$$

Мінімізацію проведемо методом Квайна [1]. До (1) застосуємо операцію неповного диз'юнктивного склеювання відповідних конститuent, а саме: першої з другою, другої з третьою, третьої з п'ятою, четвертої з п'ятою. Склеювання дає можливість знайти прості імпліканти $\overline{x}\overline{y}$, $\overline{y}z$, xz і $x\overline{y}$, які використаємо для створення скороченої диз'юнктивної нормальної форми заданої булевої функції

$$f = \overline{x}\overline{y} + \overline{y}z + xz + x\overline{y}. \quad (2)$$

Будуємо імплікантну таблицю Квайна із конститuent одиниці і простих імплікант.

№	Прості імпліканти	Конституенти одиниці функції f				
		xyz	$x\overline{y}z$	$\overline{x}\overline{y}z$	$\overline{x}\overline{y}\overline{z}$	$x\overline{y}\overline{z}$
1	xz					
2	$x\overline{y}$					
3	$\overline{y}z$					
4	$\overline{x}\overline{y}$					

Із таблиці видно, що імпліканти за номерами два і чотири є ядром, бо тільки вони покривають четверту і п'яту константи, отже ці імпліканти будуть обов'язково входити до складу мінімальної функції, також вони покривають першу і третю константи. Для покриття константи за номером два вибираємо першу імпліканту і отримуємо зображення мінімальної (також і тупикової) диз'юнктивної нормальної форми

$$f = xy + \bar{x}\bar{y} + xz. \quad (3)$$

Проте, для покриття константи за номером два можна також обрати і третю імпліканту, що дає зображення іншої мінімальної форми

$$f = xy + \bar{x}\bar{y} + xz. \quad (4)$$

Вирази (3), (4) є повним рішенням задачі мінімізації, вони складають множину рівноправних зображень булевої функції і забезпечують можливість вибору при подальшому конструюванні цифрових автоматів.

В навчальному процесі при опануванні студентами методів мінімізації неврахування наявності множини зображень може привести до спотворення оцінки якості відповіді. Також це актуально на вступних іспитах в магістратуру, де, досить часто, перевірка робіт проводиться порівнянням відповіді абітурієнта з відповіддю із заздалегідь приготовленого переліку, який, на жаль, містить тільки одне зображення функції.

Висновок. Коректним рішенням задачі мінімізації булевих функцій є зображення не однієї можливої функції, а множини зображень цих функцій.

- [1] Кочубей О. О., Сопільник О. В. Прикладна теорія цифрових автоматів. Логічні основи. Д.: РВВ ДНУ; Вид-во ДНУ, 2009. – 264 с.
- [2] Самофалов К.Г., Корнейчук В. И., Тарасенко В. П. Цифровые ЭВМ. Теория и проектирование. К.: Вища шк., 1989. – 424 с.
- [3] Лысиков Б.Г. Арифметические и логические основы цифровых автоматов. Мн.: Вышейш. шк., 1980. – 368 с.

ON THE CORRECTNESS OF SOLUTIONS TO MINIMIZATION PROBLEMS BOOLEAN FUNCTIONS WHEN STUDYING THE DISCIPLINE "COMPUTER LOGIC"

N. Tverdostup

*Oles Honchar Dnipro National University
tven72@ukr.net*

It is confirmed that the correct solution to the problem of minimization of Boolean functions is the image of not one possible function, but a set of images of these functions.

ВИКОРИСТАННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАДАЧ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ НА ЗОБРАЖЕННЯХ

Л. Ахметшина, А. Нестеренко

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
intdnp@gmail.com

Задачі виявлення аномальних сегментів зображень є актуальними для найрізноманітніших галузей застосування комп'ютерного зору та штучного інтелекту. Такі задачі відрізняються від типових задач класифікацій тим, що, по-перше, аномальні сегменти можуть мати будь-який, завчасно невідомий системі вигляд, а по-друге, збір даних, що містять великий обсяг різноманітних аномалій та обробка їх вручну є дуже складним процесом. Ця задача ускладнюється тим, що аномальними можуть вважатися не лише окремі регіони зображення, які відрізняються за кольором або яскравістю, а також складні за формою об'єкти.

Одним з видів штучних нейронних мереж (ШНМ), які здатні навчатися за принципом «навчання без вчителя» з використанням лише таких даних, що не містять аномалій, є мережа-автокодувальник [1]. Для розпізнання та класифікації складних об'єктів поширеним є використання «згорткових» нейронних мереж, які працюють за принципом виділення багаторівневих ознак [2]. Тому, для задач пошуку складних аномалій доцільно використовувати ШНМ-автокодувальник із згортковими шарами.

Архітектура, яка використовувалася для тестування можливості пошуку аномальних сегментів зображень представлена на рис. 1. ШНМ складається з вхідного і вихідного шарів однакової розмірності, а також набору прихованих шарів, що знаходяться між ними. Кожен прихований шар є комбінацією з операцій згортки з активаційною функцією ReLU та операцій підвибірки (Max Pooling). Приховані шари мають розмірність, що послідовно зменшується. На першому та другому рівнях шарів використовуються згорткові фільтри, розмірністю 5×5 , на третьому та четвертому – 3×3 . Операція підвибірки здійснюється за допомогою ядра 2×2 на кожному із шарів. Кожен згортковий шар меншої розмірності має пропорційно більшу кількість згорткових фільтрів. Використання згорткової архітектури дозволяє автокодувальнику отримувати кілька рівнів ознак, що дозволяють найповніше реконструювати реальні зображення поверхні землі.

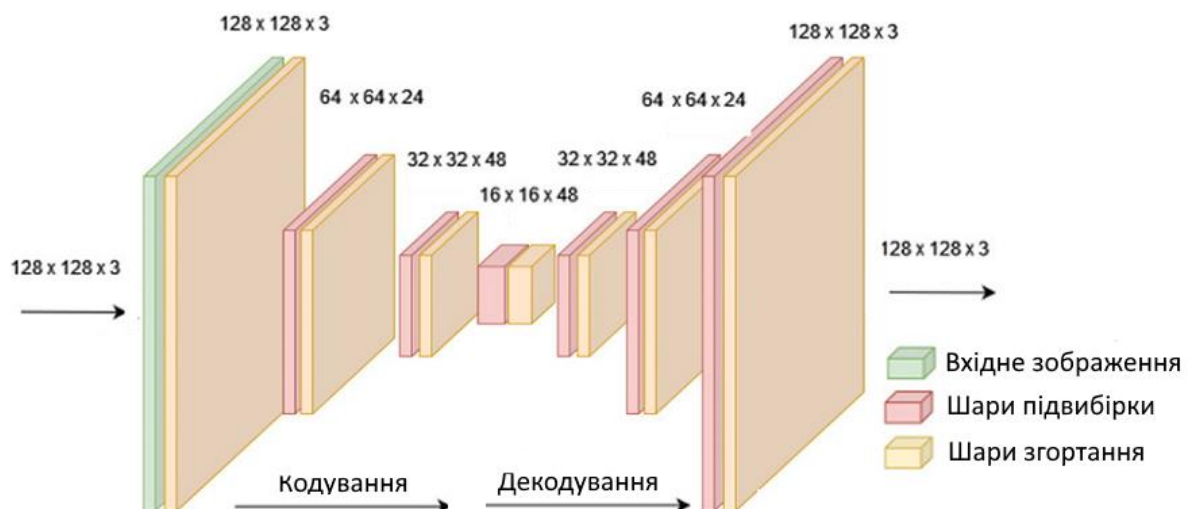


Рис. - 1 Архітектура ШНМ-автокодувальника

Зображення, які використовувалися під час дослідження, являли собою повітряні фотографії місцевості, такої як поля, ліси, водойми, тощо. Вони були розділені на сегменти, розміром 128 x 128 пікселів. Для тренування ШНМ були використані лише такі сегменти зображень, що не містили аномальних для даного типу місцевості об'єктів. Для тестування сегменти нових зображень, у тому числі такі, що містять аномалії, подаються на вхідний шар автокодувальника. Після процесу кодування та декодування, отримана реконструкція сегменту порівнюється із вхідним сегментом за принципом середньо-квадратичного відхилення. Ті сегменти, для яких коефіцієнт помилки перевищує порогове значення вважаються аномальними. На рис. 2 наведено приклади результатів роботи ШНМ: сегменти зображень, які були визнані аномальними для наведеного типу місцевості та їх реконструкції.



Рис. – 2 Сегменти зображень, що містять аномальні об'єкти, а) вхідне зображення, б) реконструкція

Висновки. Запропонована архітектура ШНМ згорткового типу та метод навчання «без вчителя» можуть використовуватися для задач пошуку складних аномальних об'єктів, навіть якщо вони не були відомі системі заздалегідь.

- [1] Junhai Zhai; Sufang Zhang; Junfen Chen; Qiang He. Autoencoder and Its Various Variants. *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*.
- [2] Yamashita R, Nishio M, Do RKG, Togashi K. Convolutional neural networks: an overview and application in radiology. *Insights Imaging*. 2018 Aug;9(4):611-629.

APPLICATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS TO PROBLEMS OF ANOMALY DETECTION

L. Ahmetshina, A. Nesterenko

*Oles Honchar Dnipro National University
intdnp@gmail.com*

The report provides a method for detection of complex anomalous objects on aerial imagery. It has been proven that convolutional autoencoders provide adequate performance when trained in an unsupervised manner on non-anomalous data.

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Ю. Лаврич, С. Плаксін

Інститут транспортних систем та технологій НАН України

lavrich@westa-inter.com

В основі більшості напрямків, що розвиваються, таких як безпілотні автомобілі, літальні апарати та інші для вирішення різних завдань лежать радіолокаційні технології [1]. Радіолокаційні системи (РЛС) є складними наукомісткими виробами радіоелектронної техніки, що втілюють новітні досягнення в галузі інформаційних технологій. Загальною закономірністю розвитку РЛС є безперервне їх ускладнення, що супроводжується суттєвим збільшенням термінів та витрат на їх розробку та серійне виробництво. У зв'язку з цим суттєво зростають вимоги до доказовості та якості наукових досліджень з обґрунтування вигляду перспективної РЛС. На сьогоднішній день процес формування вигляду перспективних систем, як правило, знаходиться у творчій площині та базується на досвіді та знаннях розробників.

Традиційне проєктування з використанням систем автоматичного проєктування (САПР), сьогодні це типові, доступні навіть студентам, системи, але розробники РЛС використовують тільки свої системи проєктування конструкторської документації (КД) та технологічної документації (ТД), але перша є інструментом конструктора, а друга – технолога. Локальність та неінтегрованість систем приводять до виникнення помилок, тому, враховуючи наслідки виникнення рівнів невідповідності між КД та ТД, необхідно мати технологію спільного проєктування.

Життєвий цикл РЛС включає етапи розробки, виробництва, розгортання та випробувань, експлуатації, модернізації чи утилізації. Проєктування має охоплювати весь життєвий цикл (ЖЦ), але зазвичай ЖЦ для розробника фактично закінчується після здачі в експлуатацію, а продовження термінів якої залишається завданням експлуатанта. Основні експлуатаційні і технічні обмеження та недоліки радіоелектронних систем будь-якого призначення закладаються вже на рівні використовуваної елементної бази. Однією з проблем проєктування перспективного виробу є вибір елементної бази, оскільки сьогодні чітко позначено проблему невідповідності ЖЦ комплектуючих елементів для створення зразка та ЖЦ виробленого виробу на цих елементах. Досвід розробки нових зразків та експлуатації радіоелектронної апаратури (РЕА) показує усталену тенденцію випередження морального старіння елементної бази РЕА від морального старіння зразків техніки. ЖЦ експлуатації багатьох зразків значно перевершує ЖЦ або часовий інтервал випуску елементної бази, де реалізована радіоелектронна апаратура – техніка не знята з експлуатації, а елементна база здебільшого знята з виробництва.

Одним із способів вирішення цієї невідповідності є віртуальне проєктування, при якому віртуальність, як правило, має на увазі блочно-модульний комплекс відкритої архітектури, що забезпечує можливість створення низки нових систем з основних компонентів, які є сукупність старих модулів попередньої розробки, нових (розроблюваних) модулів з поточної розробки та майбутніх модулів (з планованої розробки).

Відмінною особливістю концепції віртуальної електронної компонентної бази є уявлення та сприйняття її створення та розвитку двома складовими: реальною – у вигляді реалізованого блоку та уявною (ідеальною) – у вигляді віртуального компонента. Реальна складова в більшості випадків є гальмом подальшого розвитку, а уявна

складова, в якій закладено інтелектуальний доробок розробника для створення РЕА на тривалу перспективу аж до морального старіння зразка.

Для перспективних зразків високої складності вже сформувалася тенденція до зростання конструктивно-ієрархічного рівня віртуального проектування таких систем. На жаль, не завжди сучасні наукові знання можуть бути основою створення нових систем і розробнику часом доводиться шукати рішення поза науковим полем, спираючись на наявний результат власних розробок та винаходів.

Створення нового покоління техніки потребує розробки близько 50% нових конструктивно-схемних та технологічних рішень, наявності у розробника не просто науково-технічного доробку (НТД), а випереджувального, орієнтованого на фундаментальні дослідження та дослідження, які безпосередньо не передбачають подальших дослідно-конструкторських робіт (ДКР) щодо створення конкретного зразка техніки. Таким чином, формування НТД слід розглядати як складний системний вид діяльності, що створює науковий, технічний та технологічний базиси проектування, що здійснюється в основному розробником.

Безперервний інжиніринг є однією з умов прискорення процесу розробки, причому безперервність це насамперед переосмислення ключових навичок, пошук нових концепцій для вирішення нових завдань. Найбільш ефективною є концепція високої заводської готовності (ВЗГ) та відкритої архітектури. Технологія відкритої архітектури передбачає створення станцій на основі типових конструктивних компонентів – макромодулів, які можна змінювати, нарощувати, переформовувати стосовно призначення комплексу і поставленим завданням. У цьому головна відмінність РЛС нового покоління від радіолокаторів із жорсткою архітектурою, де конструкція формувалася у процесі розробки та практично не змінювалася до кінця експлуатації. Технологія ВЗГ передбачає в конструкції зразка використання конструктивних та апаратурних рішень, що дозволяють з уніфікованого набору структурних вузлів [2] формувати РЛС з тактико-технічними характеристиками, що відповідають оперативно-тактичним вимогам.

[1].Pasternack Irvine. Radar technology advancements and new applications, Microwave Journal, 2017, vol. 60, iss. 3, pp. 82–96.

[2] Техніка та напівпровідникова електроніка НВЧ: Навчальний посібник [Текст] / О. О. Дробахін, С. В. Плаксін, В. Д. Рябчій, Д. Ю. Салтиков.– 3-є вид. (доповнене). Д.: ДНУ, 2018. 335 с.

SOME FEATURES OF THE DESIGN OF PERSPECTIVES RADAR SYSTEMS

Yu. Lavrich, S. Plaksin

*Institute of Transport Systems and Technologies of
the National Academy of Sciences of Ukraine
lavrich@westa-inter.com*

In the article, some problems of the design of prospective radar systems are considered. The need for virtual design and the creation of an advanced scientific and technical facility is suggested. Acceleration of the development process is possible when using continuous engineering.

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ФОНОВОГО РАДІАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОРТАТИВНОГО БЕЗПРОВОДОВОГО ДОЗИМЕТРИЧНОГО ПРИСТРОЮ

М. Павленко, Д. Чернетченко, С. Волокітін, І. Гладуш

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

mack.pavlencko2016@gmail.com

Як відомо, жоден орган чуття людини не в змозі фіксувати, відчувати та кількісно виміряти фонове радіаційне випромінювання, яке має постійну іонізуючу дію на все, що нас оточує. Підвищений рівень радіації викликає незворотні процеси у біологічних клітинах, запускаючи руйнівні для здоров'я процеси. Це несе за собою жакливі наслідки, такі як онкологічні хвороби, або смерть [1].

У наш час, проблема відсутності даних про фонове випромінювання у конкретно взятому місці, та у будь-який час постає особливо гостро з декількох причин, таких як: наявність атомних електростанцій та підприємств, де використовуються радіаційні джерела та ядерні відходи і так далі.

Розвиток мікроелектроніки та мікроконтролерів дозволяє вирішити дану проблему, пропонуючи для розробників дедалі більш спрощену процедуру вироблення та налаштування складних і багатофункціональних пристроїв для вимірювання фонового випромінювання.

Готові пристрої на базі мікроконтролеру стають дедалі більш доступними, менш коштовними та компактнішими, що задовольняє потребу вимірювати радіацію будь-кому, будь-де, та у будь-який час. Ринок портативних дозиметрів налічує багато різноманітних пристроїв з різним функціоналом, який задовольняє головні потреби, але зазвичай вартість таких пристроїв не обмежується десятками тисяч доларів.

Для вирішення задачі постійного моніторингу рівня фонового випромінювання було розроблено доступний мікроконтролерний пристрій. Наприклад, відомий дозиметр FS600, в нього вбудовано лічильник Гейгера-Мюллера, як і в розробленому дозиметричному пристрої. Обидва пристрої вмють фіксувати гама та бета випромінювання, мають звукову сигналізацію, вимірюють накопичену дозу, та потужність дози в режимі реального часу, є можливість встановлення порогу сигналізації потужності дози та дози випромінювання, вмють записувати зафіксовані дані у пам'ять, які не будуть втрачені після відключення живлення. В якості додаткових функцій розроблений пристрій має вбудований годинник та може додатково фіксувати значення температури та вологості, а FS600 має лише вбудований годинник. При цьому собівартість розробленого пристрою не перевищує 300 доларів.

Але, головною перевагою розробленого пристрою над FS600 та іншими подібними пристроями полягає у тому, що існує можливість моніторингу рівня радіації дистанційно за допомогою мережі інтернет, маючи перед собою лише смартфон з операційною системою Android та встановлений додаток взаємодії. Ще однією не менш важливою перевагою є вартість такого дозиметричного пристрою, яка майже вдвічі менша від представленого для прикладу дозиметру FS600.

Основою для пристрою було обрано потужний мікроконтролер Arduino MEGA2560 та WI-FI модуль на базі мікроконтролеру ESP8266 з 8Mb flash пам'яті. Для індикації вимірювань застосовано дисплей 240x320 на базі контролеру ILI9341. Для забезпечення можливостей годинника використовується модуль Real Time Clock на базі

мікросхеми DS1307. Фіксування значень температури та вологості здійснюється за допомогою датчика DHT11. Збереження інформації забезпечується MicroSD модулем та картою пам'яті на 2Гб. В якості чутливого до радіації датчика використовується детектор радіоактивних частинок GGreg20_V3 з трубкою Гейгера СБМ-20 українського виробництва [2].

Мікроконтролер MEGA2560 та ESP8266 було запрограмовано на мові C++ у середовищі розробки Arduino IDE. Оригінальний додаток для платформи Android було розроблено на мові Java у програмному середовищі «Android Studio». Розроблений пристрій можна також використовувати для перевірки «чистоти» овочів, фруктів, грибів та ягід.

Було проведено дослідження, метою якого було калібрування розробленого пристрою. Згідно з документацією на трубку СБМ-20, для вимірювання потужності дози використовується наступна формула:

$$D = N * k, \quad (1)$$

де D – це потужність дози (мікрорівні на годину);

N – кількість імпульсів за хвилину;

k – коефіцієнт, який коливається в межах $\pm 20\%$ в залежності від трубки. Коефіцієнт може відрізнятись в діапазоні від 0.0054 до 0.0092.

Розроблений пристрій пройшов калібрування за допомогою повіреного дозиметру «ДКС-02К Кадмій». Згідно з проведеним розрахунком було встановлено коефіцієнт на рівні 0.0084.

[1] Вимірювання радіації вбереже від онкологічних захворювань [Електронний ресурс].

Режим доступу: <https://www.otava.ua/index.php/blog/post/izmerenie-radiacii-uberezhet-ot-onkologicheskikh-zabolevaniy>.

[2] GGreg20_V3 Ionizing Radiation Detector [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://iot-devices.com.ua/en/product/ggreg20_v3-ionizing-radiation-detector-with-geiger-tube-sbm-20/.

RESEARCH OF RADIATION BACKGROUND LEVEL USING A PORTABLE WIRELESS DOSIMETER DEVICE

M. Pavlenko, D. Chernetchenko, S. Volokitin, I. Gladush

Oles Honchar Dnipro National University

mack.pavlencko2016@gmail.com

There is a need to develop a cheap, portable, and multifunctional dosimeter. The device is based on the MEGA2560 microcontroller and wi-fi module ESP8266. The display (240x32) based on the ILI9341 controller and used to display the measurements. Real time clock module is used to provide the date and time and save settings. The DHT11 sensor measures the temperature and humidity of the indoor environment. GGreg20_V3 Ionizing Radiation Detector is used to measure the radiation background level. SD module and SD card are used for saving data from the GGreg20_V3.

The embedded firmware for microcontrollers was developed using C++ and Arduino IDE. The original application for the Android platform was developed in the Java language in the «Android Studio» programming environment. «DKS-02K Cadmium» is used for calibration of the device.

РОЗПІЗНАВАННЯ РАДІОЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

А. Гузь, О. Дробахін

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
gooz.artem@gmail.com

Використання ширококутових мікрохвильових сигналів міліметрового діапазону електромагнітних хвиль з подальшим переходом до часової області дозволяє виявляти об'єкти, розташовані за непрозорим в оптичному діапазоні бар'єром, та отримувати їхні радіозображення. Основна ідея відповідного підходу полягає у поєднанні синтезу часового (просторового) сигналу з частотних даних для отримання інформації в поздовжньому напрямку та сканування для отримання даних у поперечному напрямку. Таким чином, може бути сформовано тривимірне радіозображення. Перевагою такого підходу є можливість розділення радіозображення об'єкта, що розглядається, і бар'єру. В результаті це дозволяє отримати зображення об'єкта, аналогічне зображенню об'єкта в вільному просторі [1]. Експериментальні дослідження низки об'єктів у вигляді циліндрів та паралелепіпедів показали, що переріз радіозображення має колоколоподібний характер. Мета роботи – дослідити ефективність розпізнавання радіозображень об'єктів із застосуванням нейромережових технологій.

Було використано функцію Гауса (1) як наближення до експериментальних залежностей модуля коефіцієнтів відбиття від об'єкта дослідження:

$$f(x, \mu, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

де x_0 – центр функції, σ – стандартне відхилення. Було розглянуто п'ять класів об'єктів, що відрізняються значеннями стандартного відхилення, які обіймали цілі значення від одиниці до п'яти. Нейромережа, яка була застосована для класифікації 2-х вимірного гаусіана, мала наступну структуру: 81 вхідних нейронів, під розмір одновимірного вектору вхідних даних, 10 нейронів в схованому шарі і 5 вихідних нейронів відповідно до кількості класів для здійснення класифікації. Поділ даних: випадковий, навчання: масштабований сполучений градієнт, ефективність: крос-ентропія.

З метою якісного навчання нейромережі класифікувати об'єкти була використана значна кількість даних. Для навчання нейронної мережі для кожного класу сігми генерувалося у випадковий спосіб по 1000 значень сігми, а відповідно і гаусіан, з розкидом відносно значення сігми класу в 0,09. Після навчання нейромережі на даних без шуму, її тестування, для даних без адитивного шуму була отримана 100 % правильна класифікація. Після додавання шуму при відношенні сигнал/шум у 10 дБ, відсоток вірного розпізнавання склав 86,5. При відношенні сигнал/шум 1 дБ вірна відповідь була отримана в 53,9 % випадків, тобто результат роботи практично зводився до випадкового вгадування.

Особливості застосування нейромережових технологій для розпізнавання 3-х вимірних радіозображень були досліджені для функцій типу Гауса виду

$$g(x, y) = A \cdot e^{\left(-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right)}, \quad (2)$$

де коефіцієнт A відіграє роль амплітуди, x_0 , y_0 визначають центр, а σ_x , σ_y – відповідно «силу розмиття» в напрямках x і y . Була використана нейромережева технологія, яка знайшла застосування при розпізнаванні об'єктів на оптичних зображеннях. Нейромережа на перших етапах своєї роботи виділяє шаблони, за якими вже точніше зможе їх класифікувати. Для формування даних для навчання була використана така само технологія, як для двовимірного об'єкту, але σ_y було фіксованим і дорівнювала значенню 2. Навчання було проведене для даних без шуму. Розмірність зображень 3-х вимірних гаусіан складало 21×21 піксель.

Для вирішення проблем класифікації складних даних, таких як зображення, нейронні мережі з кількома прихованими шарами довели свою ефективність. Кожен шар може вивчати функції на різному рівні абстракції. Одним із способів ефективного навчання нейронної мережі з кількома рівнями є навчання одного рівня за раз. Цього можна досягти, навчивши спеціальний тип мережі, відомий як автокодер для кожного бажаного прихованого шару. Автокодер — це нейронна мережа, яка намагається відтворити вхідні дані на виході. Таким чином, розмір його вхідних даних буде таким же, як і розмір вихідних даних. Коли кількість нейронів у прихованому шарі менше розміру вхідних даних, автокодер вивчає стисле представлення цих даних [2]. Ці властивості дозволяють знизити розмірність, шляхом тренування цієї мережі ігнорувати незначущі дані («шум»).

Спочатку тренуються окремо автокодери без зовнішнього вчителя. Останній, вихідний, шар побудований із застосуванням узагальненої логістичної нормованої експоненційної функції (softmax), що використовується для задач класифікації, коли кількість можливих класів більше двох, як в нашому випадку. Далі ці окремі рівні нейронної мережі, які були навчені окремо один від одного, були з'єднані в єдину систему, щоб утворити складну мережу, і проведено підсумкове тренування під контролем. Сформована система багатошарової нейромережі показала результат вірної класифікації для даних без шуму – 100%, при відношенні сигнал/шум 10 дБ – 89,4%, при значенні – 1 дБ – 57,1%. Отже, застосовуючи нейромережовий підхід, є перспективи успішно класифікувати 3-х та 2-х вимірні радіозображення, навіть при наявності в даних високого вмісту шумів.

- [1] Drobakhin O.O., Drobakhina M.O., Korotkaya V.G., Sherstyuk G.G. recognition of microwave multifrequency images of objects hidden behind wall // Conference proceedings “Ultrawideband and ultrashort impulse signals” 2012 6-th International Conference. Sevastopol, Ukraine, pp.120-122.
- [2] Train Stacked Autoencoders for Image Classification [Електронний ресурс] // www.mathworks.com: [сайт]. Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/releases/R2020a/deeplearning/ug/train-stacked-autoencoders-for-image-classification.html>

RECOGNITION OF RADIO IMAGES USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES

A. Huz, O. Drobakhin

*Oles Honchar Dnipro National University
gooz.artem@gmail.com*

The purpose of the work is to investigate the effectiveness of recognizing radio images of objects such as cylinder using neural network technologies. A model of image was Gaussian. To train the neural network, 1000 data variants were randomly generated for each sigma class. A neural network with 10 neurons in the hidden layer was applied to classify a 2-dimensional Gaussian, after training it shows 100% correct classification for data without noise, as the noise level increases to 10 dB, the classification accuracy drops to 86.5%. For the recognition of 3-dimensional radio images, neural network technology similar to the one for optical images recognition was used. To generate the training data, the same technology was used as for the two-dimensional object, but σ_y was fixed and equal to 2. The classification results for data without noise are 100% and with a noise value of 10 dB, it decreases to 89.4%. Therefore, using a neural network approach, there are prospects for successfully classifying 3- and 2-dimensional radio images, even when the data contains high level of noise.

ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ ДОЗИМЕТРИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО МОНІТОРІНГУ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ ТА РІВНЯ НАКОПИЧЕНОЇ ДОЗИ

І. Гладуш, Д. Чернетченко, С. Волокітін, М. Павленко

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

vangladush@gmail.com

В наш час дуже гостро постає питання радіаційної безпеки, насамперед її виявлення. Підвищений рівень радіаційного випромінювання дуже негативно впливає на здоров'я людини, що може нести тяжкі для неї наслідки. Також і в повсякденному житті є така потреба, як наприклад безпека працівників при лікуванні онкологічних захворювань дистанційним методом де застосовуються природні джерела гамма випромінювання так і апарати фотонного випромінювання. Розрізняють дві форми променевої хвороби [1]:

- гостра форма, яка виникає в результаті опромінювання великими дозами за малий проміжок часу. При дозах порядку тисяч Рад поразка організму може бути миттєвою ("смерть під променем").

- хронічні хвороби, які розвиваються внаслідок систематичного опромінювання дозами, які перевищують гранично допустимі. Зміни в стані здоров'я називають соматичними, якщо вони проявляються безпосередньо в опроміненої людини, і спадковими, якщо вони проявляються у її нащадків.

Тому є потреба в універсальних дозиметрах, які вимірюють радіаційний фон у реальному часі. Використання радіації побудило і розвиток засобів для її вимірювання які розробляються на основі мікроконтролерів. Саме вони дозволяють розробляти малогабаритні і багатофункціональні дозиметричні прилади.

На ринку портативних дозиметрів є безліч готових приладів які задовольняють ті чи інші потреби. Але, на жаль, вони є не зовсім збалансованим по функціональних можливостей які потрібні у робочих моментах. Тому постало питання виготовити дозиметр з використанням різних функціональних модулів для робочих потреб. Зробити його компактним, стаціонарним і з можливістю передачі даних у мережу інтернет, для подальшої обробки.

Для приладу було обрано:

- потужну і відносно дешеву плату для розробки, на якій інтегровано класичний контролер Arduino MEGA2560 та Wi-Fi модуль на ESP8266 з 8Mb flash пам'яті. Обидві частини можуть працювати як спільно так і абсолютно незалежно, Перевагою даної плати являється кількість пінів для підключення різних приладів.
- якісний SPI TFT дисплей 240 x 320 на контролері ILI9341 з резистивною сенсорною панеллю і контролером ХРТ2046
- детектор радіоактивних частинок GGreg20_V3 з трубкою Гейгера СБМ-20 – електронний сенсорний модуль для побудови персонального лічильника Гейгера та визначення рівня іонізуючого випромінювання [2].
- мікросхема DS1307
- MicroSD модуль із картою пам'яті 2 Гб.
- DHT11
- Li-ion акумулятор, типорозміру 18650
- Модуль заряду TP4056
- Перетворювач MT3608, Uin 2...24 В, Uout до 28 В. Iout до 2 А.

Загальна структурна схема розробленого пристрою показана на Рис. 1.

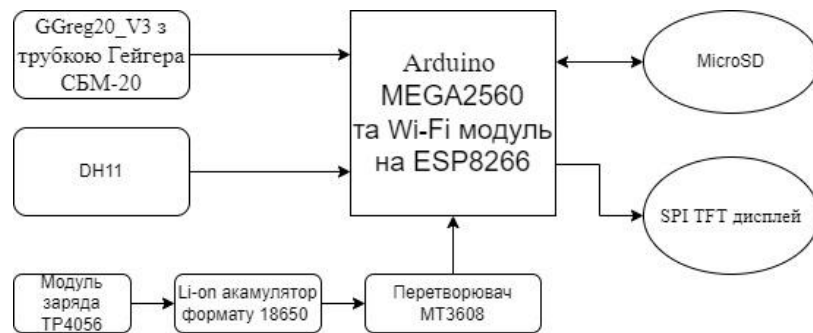


Рис. 1. Структурна схема розробленого пристрою

Принцип роботи даного приладу:

1. Лічильник Гейгера і DHT11 передає дані на головний мікроконтролер
2. Arduino опрацьовує дані і виконує 3 основні завдання: передача на ESP8266; зберігання на карті пам'яті, на випадок проблем передачі WI-FI; виведення отриманих даних на екран дисплею.
3. Для забезпечення можливостей годинника використовується модуль Real Time Clock на базі мікросхеми DS1307. З її допомогою пристрій має можливість прив'язувати отримані дані до часу.
4. За допомогою ESP8266 пристрій передає дані на сервер за допомогою стандартної мережі WI-FI.
5. Додаток на мобільному пристрої зв'язується з сервером і візуалізує дані за допомогою графічного інтерфейсу з будь-якої точки з доступом до Інтернету.
6. Для живлення мікросхеми і трубки Гейгера використовується Li-ion акумулятор типорозміру 18650, що заряджається за допомогою модуля TP4056. Так як вихідна напруга даного акумулятора буде не достатньо для живлення Arduino, додатково потрібен перетворювач MT3608

Даний пристрій є дуже зручним, наприклад, для використання на підприємствах з ризиком опромінення, так як він є доволі компактним і автономним, його можна носити з собою. Він здатен сповіщати про небезпеку і показувати дозу у реальному часі віддалено за допомогою додатку на мобільному телефоні.

- [1] Основи радіаційної безпеки [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/39438>
- [2] GGreg20_V3 Ionizing Radiation Detector [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://iot-devices.com.ua/en/product/ggreg20_v3-ionizing-radiation-detector-with-geiger-tube-sbm-20/.

HARDWARE AND SOFTWARE DOSIMETRIC COMPLEX FOR CONTINUOUS MONITORING OF THE RADIATION BACKGROUND AND THE LEVEL OF ACCUMULATED DOSE

I. Gladush, D. Chernetchenko, S. Volokitin, M. Pavlenko

*Oles Honchar Dnipro National University
vangladush@gmail.com*

Dosimeters are needed to detect and measure the level of background radiation. The device uses MEGA2560 R3 + ESP8266 WiFi board. The touch screen display on the XPT2046 controller is used to interact with the device and display information. If there is no WI-Fi connection for some reasons, SD module with 2GB memory is used to store the needed data. The GGreg20_V3 radioactive particle detector has been chosen for determining the level of ionizing radiation. DHT11 and real time clock are used for detecting the temperature, humidity and provide the correct time. There are used Android Studio and Arduino IDE for programming the main blocks of the device.

УЗГОДЖЕННЯ В СКІНЧЕННИХ АНТЕННИХ РЕШІТКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕЗОНАТОРНОЇ ОБЛАСТІ ЗВ'ЯЗКУ

М. Потапов, В. Магро, Д. Салтиков

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
maks104p@gmail.com*

Скінченні антенні решітки грають велику роль у розгортанні мобільних мереж п'ятого покоління, відомого як 5G. 5G використовує цифрове формування променя для підвищення пропускної здатності системи. За допомогою цифрових антенних решіток реалізується цифрове формування променя. Такі решітки за кордоном називаються Smart-антенами (інтелектуальними антенами). Інтелектуальні антени – це найбільш перспективніша технологія, що покращує якість прийнятого сигналу за рахунок збільшення ємності системи, зменшує багатопроменевість та інтерференцію між сусідніми каналами. Це досягається за рахунок зосередження випромінювання тільки у необхідному напрямку. Інтелектуальні антени використовують набір випромінюючих елементів побудованих у формі решітки. Основною частиною антенної решітки є випромінюючий пристрій. У якості таких пристроїв можна використовувати симетричні та несиметричні вібратори, хвиеводні щілини, мікросмужкові антени, але серед цих конструкцій незаперечну перевагу має скінченна антенна решітка, яка побудована з відкритих кінців хвиеводів. При цьому важливо, щоб антенна решітка була узгоджена з вільним простором. Для вирішення такої задачі використовуються різноманітні узгоджуючі пристрої: резонаторна область зв'язку, діелектричні вкладиші або діелектричне покриття. Проте у відомій літературній роботі [1] відсутня повна інформація стосовно використання резонаторної області зв'язку для узгодження антенної решітки з вільним простором. Тому виникла ідея дослідити такий спосіб узгодження.

Проведено розрахунок характеристик скінченної антенної решітки, яка містить узгоджуючий пристрій у вигляді резонаторної області зв'язку (рис. 1).

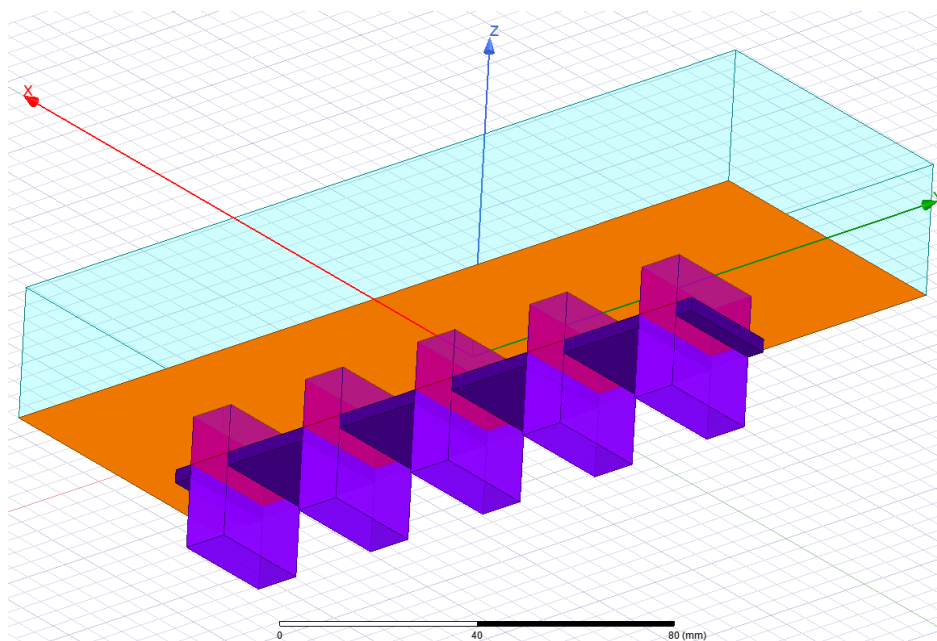


Рисунок 1 – Конструкція антенної решітки з резонаторною областю зв'язку

Отримано оптимальні геометричні розміри резонаторної області зв'язку. Побудовано залежність модуля коефіцієнта відбиття від фази збудження для скінченної антенної решітки з оптимізованою резонаторною областю зв'язку (рис. 2, крива 1). Для того щоб зрозуміти наскільки краще використовувати резонаторну область зв'язку, було побудовано залежність модуля коефіцієнта відбиття від фази збудження для антенної решітки без резонаторної області зв'язку, але з такими ж геометричними розмірами (рис. 2, крива 2).

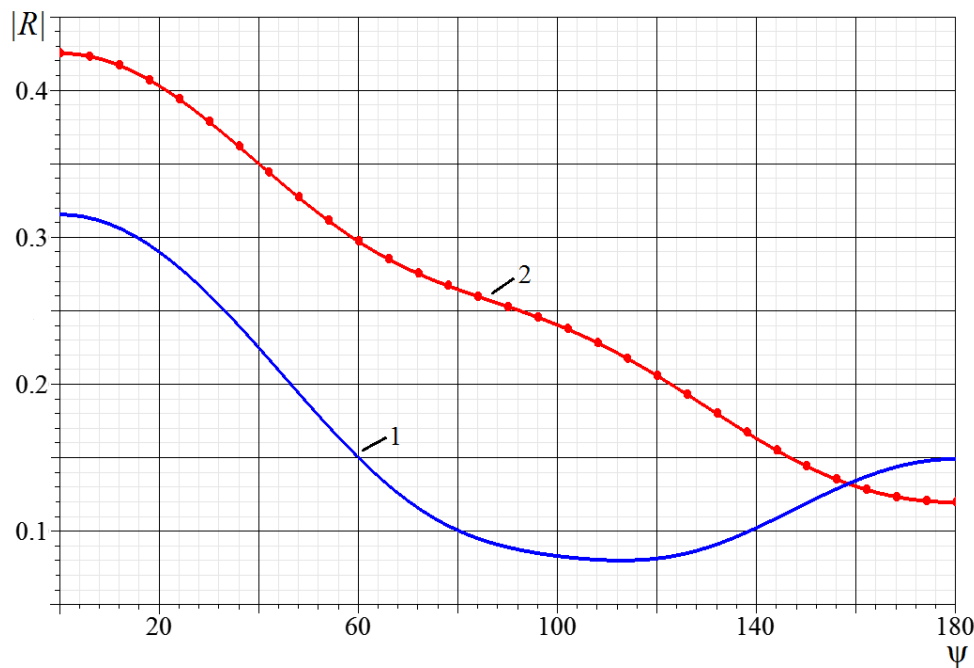


Рисунок 2 – Залежність модуля коефіцієнта відбиття від фази збудження у центральному хвильоводі: 1. – антенна решітка з резонаторною областю з оптимальними розмірами; 2. – антенна решітка без резонаторної області

- [1] Amitay, N. Theory and analysis of phased array antennas / N. Amitay, V. Galindo, C. Wu. New York: Wiley-Interscience, 1972. – 443 p.

MATCHING IN FINITE ANTENNA ARRAYS WITH THE HELP OF A COMMUNICATION RESONATOR REGION

M. Potapov, V. Magro, D. Saltykov

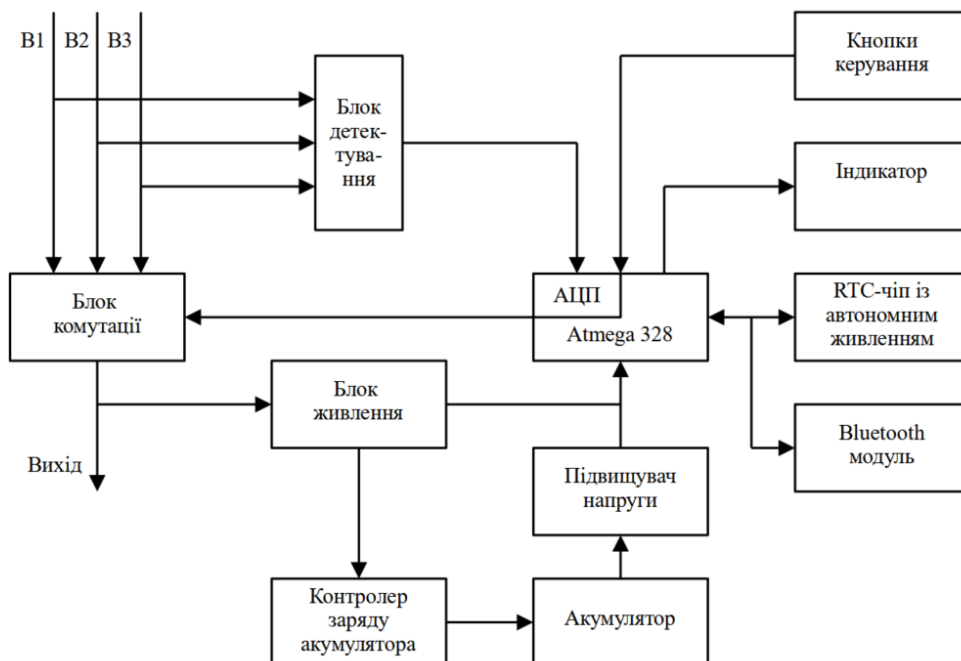
*Oles Honchar Dnipro National University
maks104p@gmail.com*

The problem of diffraction of an electromagnetic wave on a finite waveguide phased antenna array is considered. The calculation of a finite linear antenna array, which contains a matching device in the form of a resonator coupling region, has been performed.

The effect of side cuts on the modulus of the reflection coefficient of the outermost and central waveguides has been studied.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
s.chupura@chnu.edu.ua

Для ефективного вирішення задачі АВР із використанням дистанційного керування може використовуватись пристрій на основі мікроконтролера (МК) ATmega 328 [2] та Bluetooth-модуля HC-06 [3] для забезпечення зв'язку з керуючим пристроєм по Bluetooth. Кількість програмно-керованих ніжок обраного МК дозволяє забезпечити АВР на 3 входах з можливістю керування як за допомогою кнопок керування на самому пристрої, так і за допомогою Bluetooth-інтерфейсу.



Структурна схема розробленого підсилювача представлена на рис.1. Пристрій складається із МК із вбудованим АЦП, блоку детектування, блоку комутації на основі реле, драйвера реле, індикатора та блоку керування із п'яти кнопок, RTC-чіпа для автономного обліку часу. Для забезпечення живлення компонентів пристрою при

короткочасній відсутності зовнішнього живлення використовується акумулятор з підвищувальним перетворювачем напруги.

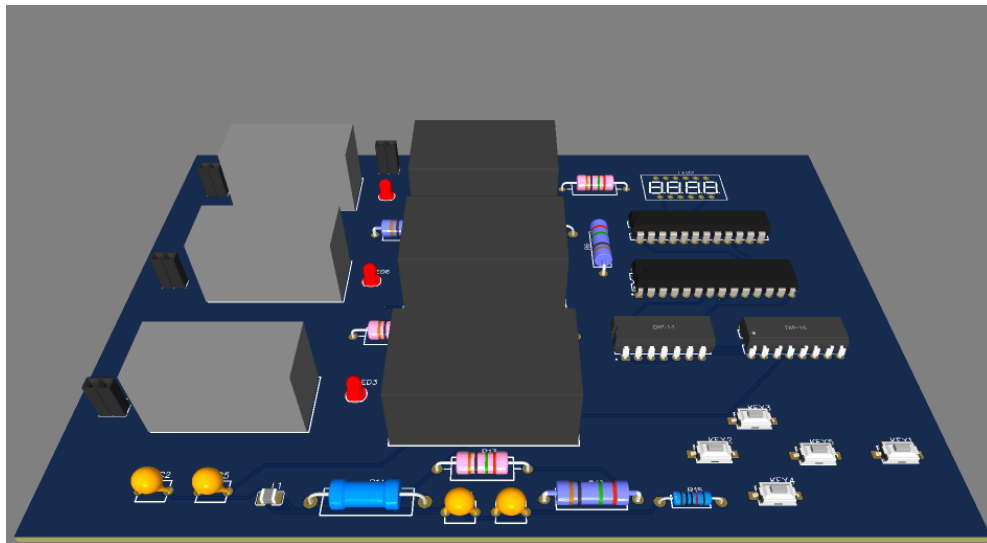


Рис. 2. Макет друкованої плати, розроблений в EasdyEDA

Електрична принципова схема а також друкована плата пристрою розроблена за допомогою вільного програмного забезпечення EasyEDA, програма для мікроконтролера — за допомогою алгоритмічної мови C в Atmel Studio 6.

- [1] Автоматичне включення резерву PF-441. Технічний паспорт / Режим доступу: https://es.ua/index.php?route=product/product/download&product_id=179&download_id=356
- [2] ATmega 328 / Режим доступу: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- [3] HC-06 / Режим доступу: <https://www.olimex.com/Products/Components/RF/BLUE/TOOTH-SERIAL-HC-06/resources/hc06.pdf>

DEVICE FOR SWITCHING THE MAIN AND BACKUP SOURCES OF ELECTRICITY CONNECTION BASED ON THE ATMEGA 328 MICROCONTROLLER WITH A BLUETOOTH COMMUNICATION INTERFACE (VOLTAGE 230 V, CURRENT UP TO 16 A)

S. Chupyra, O. Grushka, A. Rybchak

*Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
s.chupyra@chnu.edu.ua*

The device for switching the main and backup sources of electricity connection based on the ATmega328 microcontroller with a Bluetooth communication interface was designed. The program of microcontroller provides communication with any modern portable device with Bluetooth. The device can be operated both via internal buttons and via a communication channel.

ВПЛИВ МЕТАМАТЕРІАЛІВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРАКТАЛЬНОЇ АНТЕНИ У ВИДІ СЕРВЕТКИ СЕРПІНСЬКОГО

О. Дробахін, Д. Хандак

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
di01an07na2000@gmail.com

Одним з найактуальніших завдань подальшого розвитку сучасних мобільних пристроїв стало зменшення габаритів їхніх антен аж до можливості інтеграції в одному корпусі із системами на кристалі (SoC).

Тому в останнє десятиліття пошук нетрадиційних підходів до реалізації мікрохвильової техніки суттєво активізувався. До розгляду включаються нові матеріали та середовища з незвичайними електродинамічними властивостями. Це так звані метаматеріали, включаючи киральні та перколяційні середовища, оптомагнетики, фотонні та електронні кристали.

Метаматеріали можуть застосовуватися в якості підкладок для друкованих мініатюризованих антен, сприяючи зниженню розмірів випромінювачів, збільшення їх смуги пропускання та ефективності випромінювання.

Для дослідження різниці між фрактальною антеною на підкладці з металу та метаматеріалу, було обрано фрактальну антену нульової ітерації на основі трикутної антени з металу (Cu) розташованої на діелектричній підкладці товщиною $h=1,6$ мм і відносною діелектричною проникністю $\epsilon=4,4$ [1].

В першому випадку з нижньої сторони діелектричної підкладки розміщено шар металу (ground plane, Cu). В другому випадку з нижньої сторони діелектричної підкладки розміщено метаматеріал з негативною діелектричною та магнітною проникністю (DNG) періодичної структури розміром 4 на 6 комірки [2].

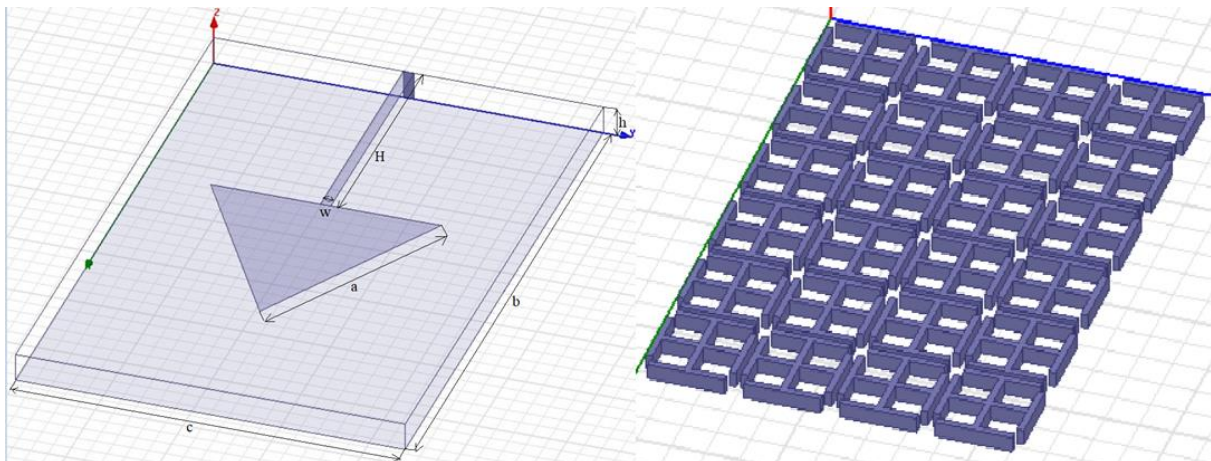


Рисунок 1: а) Математична модель фрактальної антени (вид зверху); б) Математична модель метаматеріалу.

Узгодження структури з метаматеріалом спостерігається на двох частотах, перша 5,26 ГГц при $S_{11}=-5,69$ дБ, друга 6,23 ГГц при $S_{11}=-5,36$ дБ. Узгодження для структури без метаматеріалу спостерігається на частоті 6,99 ГГц при -29,84 дБ.

Спостерігається певне порушення симетрії діаграми спрямованості, що викликано дискретною структурою метаматеріалу і не повною симетрією цієї структури відносно розташування випромінювального елементу. При зміні частоти на 1 ГГц спостерігається помітна зміна структури діаграми спрямованості.

Коефіцієнт корисної дії антени на основі суцільного металу складає приблизно 0,95, використання метаматеріалу наведеної структури тягне певне зниження коефіцієнту приблизно на 0,01 дБ, що не є суттєвим. Діаграма спрямованості досить близька до рівномірного випромінювання у всіх напрямках, причому її форма мало відрізняється для суцільного металу та метаматеріалу на частоті 6,26 ГГц. Зменшення частоти з 6,99 до 6,26 ГГц еквівалентно можливості зменшення розмірів антени в 1,1 рази. Аналіз характеристик антени в залежності від використання виду підкладки (суцільний метал чи метаматеріал), показує що краще узгодження антени із фідером живлення спостерігається при використанні суцільного металу.

- [1] Magro V.I., Khandak D.O. Investigation of fractal antennas based on Sierpinski napkin. Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення. Секція «Технічні науки». Зб. матеріалів доп. учасників Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. Тернопіль: МНІК «Конференція онлайн», 2022. вип.70.
- [2] Vallappil A. K.. Metamaterial-Inspired Electrically Compact Triangular Antennas Loaded with CSRR and 3×3 Cross-Slots for 5G Indoor Distributed Antenna Systems [Text] / A. K. Vallappil, B. A. Khawaja, M. K. A. Rahim, M. N. Iqbal, H. T. Chattha // Micromachines. – 2022. – Vol. 13. – P. 1-9.

THE INFLUENCE OF METAMATERIALS ON THE CHARACTERISTICS OF THE FRACTAL ANTENNA IN THE FORM OF SERPINSKY NAPKIN

O. Drobakhin, D. Khandak

*Oles Honchar Dnipro National University
di01an07na2000@gmail.com*

Metamaterials can be used as substrates for printed miniaturized antennas, helping to reduce the size of radiators, increase their bandwidth and radiation efficiency.

A fractal antenna based on a triangular antenna made of metal (Cu) located on a dielectric substrate with a thickness of $h=1.6$ mm and a relative dielectric constant of $\epsilon=4.4$ was chosen as a mathematical model. A substrate made of metamaterials of specific structure (Fig. 1) is placed on the lower side of the dielectric substrate.

The efficiency factor of the antenna based on solid metal is approximately 0.95, the use of the metamaterial of the given structure leads to a certain reduction of the coefficient by approximately 0.01 dB, which is not significant. The directivity pattern is quite close to uniform radiation in all directions, and its shape differs little for solid metal and metamaterial at 6.26 GHz. Reducing the frequency from 6.99 to 6.26 GHz is equivalent to the possibility of reducing the size of the antenna by 1.1 times. The analysis of the characteristics of the antenna depending on the type of substrate used (solid metal or metamaterial) shows that better matching of the antenna with the power feeder is observed when solid metal is used.

БАГАТОСЕКЦІЙНИЙ СЕНСОР ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ**Д. Пеліх, О. Ляшков, І. Тирса***Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
alexndnu@ukr.net*

Незважаючи на певний спад виробництва в Україні, забруднення атмосферного повітря великих міст і промислових населених пунктів залишається стабільно високим. Основними забруднювачами атмосферного повітря є підприємства добувної і переробної промисловості, енергетичні компанії, а також транспорт [1]. Існує велика кількість методик визначення концентрації цих шкідливих речовин, це: електрохімічні сенсори, оптичні сенсори, безпосередньо визначення за допомогою хімічного аналізу. Але самим дешевим засобом є використання напівпровідникових сенсорів [2].

Зазвичай чутливий елемент напівпровідникових сенсорів виконується з полікристалічних оксидів металів, який нагрівають до значної температури. Чутливість оксидів металів до газового оточення суттєво залежить від їх температури. При цьому змінюється не тільки амплітуда відгуку сенсору, а також і динаміка сигналу. Все це дозволяє відрізнити гази один від одного, тобто добитися селективного відгуку сенсора. Метою цієї роботи є проектування датчика у якого чутливий елемент буде прогріватися до різних температур.

Сенсор складається з 4 основних елементів: підкладки, газочутливого шару, нагрівача та електродів. Газочутливий шар складається з SnO_2 , легованого благородними металами в якості каталізатора поверхневих газових реакцій. Матеріал підкладки повинен мати гарну теплопровідність, термостійкість до 500°C градусів, та електроізоляційні властивості. Для виконання цих умов підходять такі підкладки: брокеріт, карбід кремнію, алмаз, полікор.

Кожна секція багатосекційного датчика повинна знаходитись при визначеній температурі. В якості нагрівача можна застосувати дріт зі сплавів металів високого опору, що розташовується з одного кінця датчика. Таким чином можливо забезпечити градієнт температур вздовж газочутливого шару сенсору.

[1] Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [Електронний ресурс]. (2019). Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/T192697>.

[2] Готра З.Ю. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. Львів: Ліга-Прес. (2003). Т. 2. 367 с.

MULTISECTION SENSOR OF GAS ENVIRONMENTS**D. Pelih, A. Lyashkov, I. Tyrsa***Oles Honchar Dnipro National University
alexndnu@ukr.net*

The sensitivity of metal oxides to the gaseous environment depends significantly on their temperature. At the same time, not only the response amplitude of the sensor changes, but also the dynamics of the signal. All this makes it possible to distinguish gases one from another, thus to achieve a selective response of the sensor.

The paper presents a project of a semiconductor sensor with a temperature gradient along the gas-sensitive layer.

ЗАСТОСУВАННЯ БІКОНІЧНИХ РЕЗОНАТОРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РІДИН З ВЕЛИКИМИ ВТРАТАМИ

В. Самойленко, Д. Салтиков

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Wladislaw2000.s@gmail.com

Визначення параметрів речовини є одною з найважливіших задач сучасної вимірювальної техніки. Одним з найточніших методів для вимірювання параметрів матеріалів у мікрохвильовому діапазоні є резонаторні методи [1]. В таких методах параметри досліджуваних матеріалів визначають за змінами характеристик резонатора, які були спричинені розташуванням досліджуваних зразків в резонаторі.

Метою даної роботи було дослідження можливостей застосування біконічних відкритих резонаторів для визначення параметрів рідин з великими діелектричними втратами. Біконічний резонатор, являє собою об'єм, обмежений двома конічними поверхнями [2]. На рис. 1 показаний попероздвжній переріз вимірювального давача на базі біконічного резонатора для вимірювання параметрів рідких діелектриків. Досліджувана рідина вводиться в резонатор через тонкостінну діелектричну трубку, яка розташована вздовж осі резонатора.

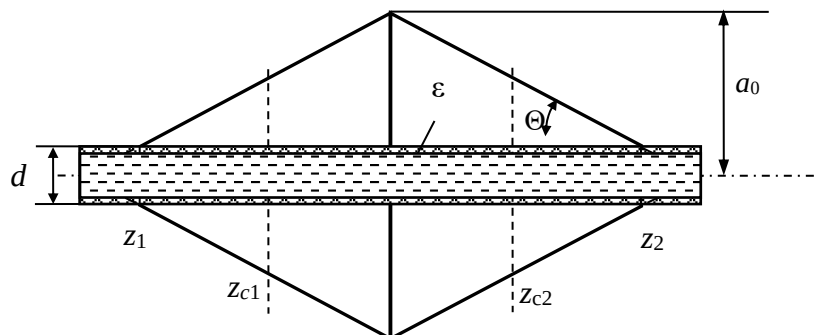
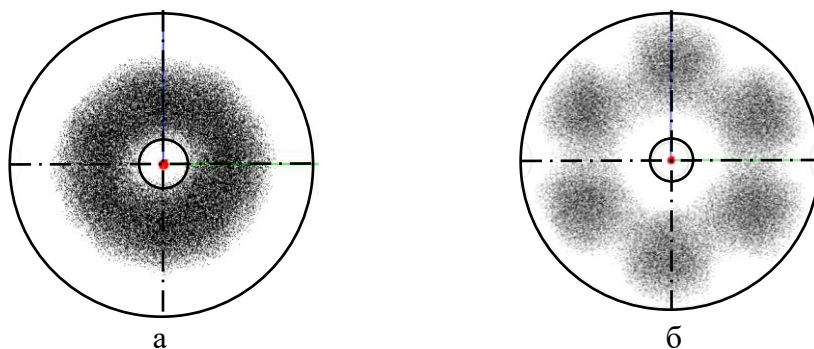


Рисунок 1 – Конструкція вимірювального давача на базі біконічного резонатора

Зазвичай біконічний резонатор застосовують в режимі азимутально-симетричних коливань типу H_{011} , для яких, завдяки відсутності поздвжніх струмів у стінках, резонатор має максимально високу власну добротність ($Q_0 \sim 10^5$), що забезпечує високу точність вимірювань і мінімізує негативний вплив елементів зв'язку з трактом на характеристики резонатора [2]. Однак, у разі коли досліджувана речовина має високу діелектричну проникність і великі діелектричні втрати можлива ситуація коли застосування коливання H_{011} стає неможливим.

В даній роботі замість коливання H_{011} було застосовано коливання EH_{311} , поле якого сконцентровано поблизу стінок резонатора (рис.2), тому розташування зразку з великими втратами вздовж осі резонатора призводить до значно менших збурень поля і змін характеристик резонатора.

Рисунок 2 – Структура електромагнітного поля коливань: а – H_{011} ; б – EH_{311}

Було проведено експериментальне дослідження можливостей застосування розглянутої резонансної системи для визначення параметрів рідких діелектриків з великими проникністю і втратами. Експериментальна установка базувалася на мідному біконічному резонаторі з радіусом у середньому перерізі $a_0 = 25$ мм, кутом $\Theta = 30^\circ$. Резонансна частота такого резонатора для коливання EH_{311} складала 8.188 ГГц, добротність – 8200. Для введення досліджуваної рідини застосовувались поліетиленові трубки діаметрами 3,8 і 7,0 мм, товщина стінок трубок не перевищувала 0,1 мм. Були досліджені: дистильована вода, прісна водопровідна вода, морська вода. Оскільки діелектрична проникність в усіх випадках була однаковою, то резонансна частота для різних зразків залишалася практично незмінною, для трубки діаметром 7 мм складала 8,161 ГГц. Що стосується добротності, то зі збільшенням концентрації солей, зростає електропровідність рідини, що призводить до збільшення втрат і зменшення добротності резонатора для трубки діаметром 7 мм з ~ 3000 для дистильованої води до ~ 350 для морської води.

- [1] Egorov V. N. Resonance methods for microwave studies of dielectrics (Review). *Instruments and Experimental Techniques*. 2007. Vol. 50 (2). P. 143-175.
- [2] Andreev M. V., Drobakhin O. O., Privalov Ye. N., Saltykov D. Yu. Measurement of Dielectric Material Properties Using Coupled Biconical Resonators. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2014. Vol. 73(11). P. 1017-1032.

MEASUREMENT OF THE PARAMETERS OF LIQUIDS WITH LARGE LOSSES USING BICONAL RESONATORS

V. Samoilenko, D. Saltykov

*Oles Honchar Dnipro National University
Wladislaw2000.s@gmail.com*

An experimental study of the possibility of using a biconical resonance system to determine the parameters of liquid dielectrics with high permeability and losses was conducted. The EH_{311} oscillations were used in this work. They measured: distilled water, fresh water, sea water. Since the dielectric constant was the same in all cases, the resonance frequency for different samples remained practically unchanged. Since the electrical conductivity of the liquid increases with an increase in salt concentration, which leads to an increase in flow and a decrease in the Q factor of the resonator for a tube with a diameter of 7 mm from ~ 3000 for distilled water to ~ 350 for sea water.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІАФРАГМИ ТА ШАРУ ДІЕЛЕКТРИКА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ХВИЛЕВОДНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК

Є. Трахтман

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
genya.trakhtman@gmail.com

Метало-діелектричні структури можуть використовуватись в різних мікрохвильових пристроях. Такі структури, які розташовані у «каналі Флоке», можуть суттєво змінювати характеристики випромінювання за рахунок дифракції поверхневої хвилі на даній структурі. Зокрема, значно змінювати величину модуля коефіцієнта відбиття падаючої хвилі в хвильоводах. На рисунку 1 зображена фазована антенна решітка з прямокутних хвильоводів.

У [1] виконано математичне розв'язання структур, складених з шару діелектрика, який розташований на хвильоводі, а поверх цього шару – розширення хвильовода у формі рупора. Досліджено частинний випадок задачі – граничний перехід від рупора до діафрагми на шарі діелектрика.

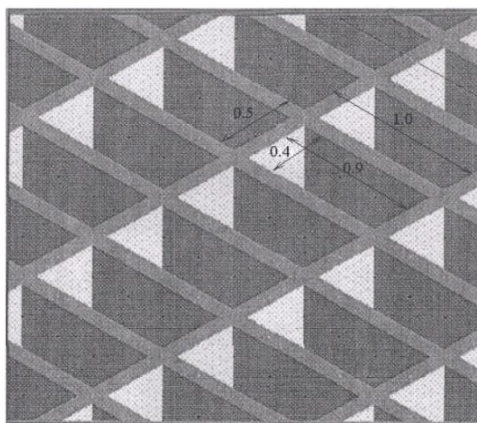


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд хвильоводної антенної решітки

Досліджено вплив геометричних розмірів метало-діелектричних структур на коефіцієнт відбиття хвиль у хвильоводах. Проведено дослідження для двох випадків – значення діелектричної проникності $\varepsilon=1$ (повітря) та $\varepsilon=1.6$; 2; 3.0625. Коректність розробленого алгоритму розрахунку перевірена порівнянням результатів з [2]. Виявлено, що для значення діелектричної проникності $\varepsilon=1$ оптимальним віддаленням діафрагми від поверхні антенної решітки можна вважати розміри $d_{iz}=\lambda/8$; $\lambda/16$ (рис. 2). Для значення діелектричної проникності $\varepsilon=2$ оптимальним віддаленням діафрагми від поверхні антенної решітки можна вважати розміри $d_{iz}=\lambda/8$. Розглянута метало-діелектрична структура дозволяє мінімізувати значення модуля коефіцієнта відбиття у деяких секторах сканування.

Дану задачу можна розв'язати також методом скінченних елементів. Це чисельний метод рішення диференціальних рівнянь з частинними похідними, а також інтегральних рівнянь, що виникають при рішенні задач прикладної фізики. Для рішення поставленого завдання цим методом складена модель. Вигляд цієї фазованої антенної решітки та її діаграма спрямованості наведені на рисунку 3.

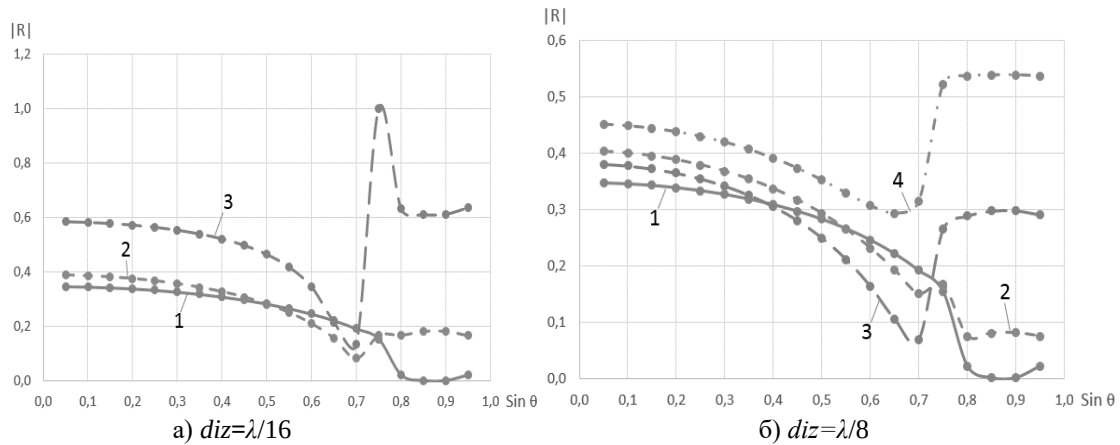


Рисунок 2 – Залежність модуля коефіцієнта відбиття від кута сканування в Н-площині ($\epsilon=1$, $diz=\lambda/16$ (а); $\lambda/8$ (б)) для значень ширини діафрагми: 1 – 0.5714λ ; 2 – 0.4λ ; 3 – 0.3λ ; 4 – 0.2λ

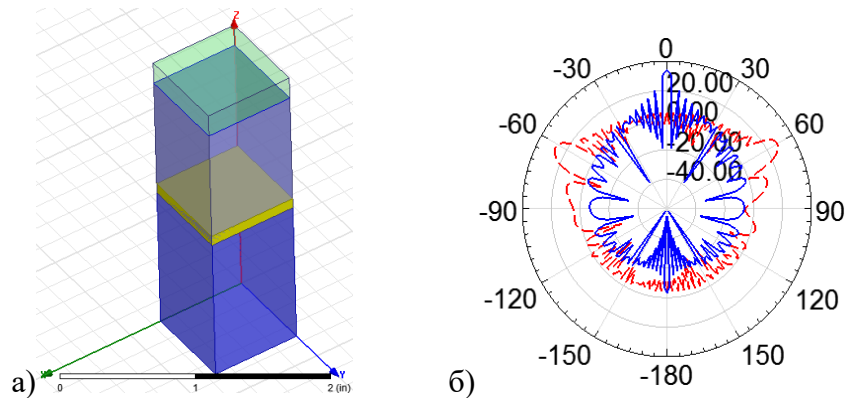


Рисунок 3 – Модель комірки антенної решітки із 25×25 елементів (а), розміри якої 0.73×0.73 дюйм, товщина шару діелектрика 0.16 дюйм ($\lambda\epsilon/8$), $\epsilon=3.0625$ та розрахована діаграма спрямованості (б) для кутів сканування 0° та 60°

- [1] Morozov V.M. Infinite linear waveguide antenna array with metal-dielectric structures in the “Floquet channel” / V.M. Morozov, V.I. Magro, E. Yu. Trakhtman // Journal of Physics and Electronics. – 2020. – Vol. 28 (1). – P.91–96.
- [2] Amitay N. Theory and analysis of phased array antennas / N. Amitay, V. Galindo, C. Wu. – New York: Wiley-Interscience, 1972. – 462 p.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE DIAPHRAGM AND THE DIELECTRIC LAYER ON THE CHARACTERISTICS OF WAVEGUIDE ANTENNA ARRAYS

Ye. Trakhtman

Oles Honchar Dnipro National University
genya.trakhtman@gmail.com

The problem of diffraction of an electromagnetic wave on an waveguide phased antenna array, which is covered with a dielectric layer, is considered. In this case, there is a metal diaphragm on the dielectric layer. H-plane scanning research were performed.

A numerical study of the dependence of the modulus of the reflection coefficient of the incident wave on the scanning angle has been carried out.

A model for investigating the problem using the finite element method has been developed.

ФІЛЬТР СКЛАДАННЯ ДЛЯ АНТЕННИХ ТРАКТІВ СИСТЕМ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

С. Бухаров, Б. Брежнев

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
sergeyvbuharov@gmail.com*

Розглядається фільтр розділювач-суматор для антенних трактів. Такі фільтри використовують при роботі двох трансиверів на одну антену або для розділення–складання смуг приймання та передачі [1]. Додаткова фільтрація зменшує взаємний вплив окремих модулів, дозволяє здійснювати окрему обробку каналів з різними номерами. Фільтр виготовляється на базі пов'язаних смужок на двохсторонньому склотекстоліті типу ФР-4. Приклад фільтру показано на рис. 1

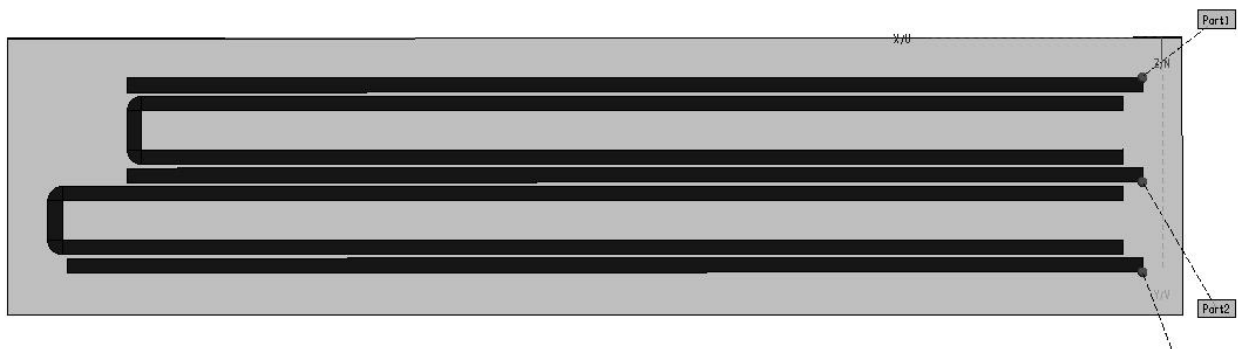


Рис.1 Диплексер-суматор для роботи на одну антену.

Загальний порт введення-виведення Port2. До Port1 підключається канал з більш високою частотою, до Port3 – канал з нижчею частотою. Робочі смуги визначаються довжиною смужкових резонаторів. Такі фільтри можуть бути розраховані для смуг 140-170 МГц, 433-468 МГц, 480-520 МГц, 870-935 МГц. Резонансна частота резонатора залежить від параметрів діелектрика та розмірів смужки. Смуга пропускання одного резонатору становить 3-5 % від резонансної частоти.

[1] Diplexers [Електронний ресурс]. Режим доступу:
<https://www.microwaves101.com/encyclopedias/diplexers>

DIPLEXER-SPLITTER FOR ANTENNA PATHS OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS

S. Bukharov, B. Bregheev

*Oles Honchar Dnipro National University
sergeyvbuharov@gmail.com*

A diplexer filter for antenna paths is considered. Such filters are used in the operation of two transceivers on one antenna or to separate and combine the reception and transmission bands. Additional filtering reduces the mutual influence of individual modules, allows to separate processing of channels with different numbers. The filter is made on the basis of coupled lines on double-sided fiberglass type FR-4.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОСТОРОВОГО РОЗТАШУВАННЯ ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

В. Корчинський

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

korchins50k@i.ua

Строгий аналіз поширення електромагнітного проміння – носія сигналів мобільного зв'язку практично неможливий внаслідок наявності великої кількості непередбачуваних факторів, які впливають на енергетичні характеристики передавання відповідних сигналів та для яких відсутній формальний опис. Тому на практиці використовуються емпіричні та напівемпіричні моделі енергетичного покриття безпроводових систем зв'язку, кожна з яких має обмеження застосування щодо висот розташування приймальних та передавальних антен, відстані між ними, частотного діапазону тощо [1]. У даній роботі пропонується метод оптимізації визначення взаємного просторового розташування приймально-передавальних пристроїв мобільного систем зв'язку за критерієм мінімізації ослаблення сигналів та трасах їхнього поширення.

В усіх відомих емпіричних моделях енергетичного покриття мобільних систем зв'язку залежність енергетичного ослаблення сигналу на трасі його поширення між мобільною та базовою станціями описується функціональними залежностями виду $L = F(h, H, d, f)$, де h, H - відповідно висоти розташування антен мобільної та базової станцій, d – відстань між фазовими центрами приймальної та передавальної антен, f - частота. При цьому кожна модель має обмеження застосування у вигляді обмежень $h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$, $H_{\min} \leq H \leq H_{\max}$, $d_{\min} \leq d \leq d_{\max}$, $f_{\min} \leq f \leq f_{\max}$.

Сформулюємо оптимізаційну задачу визначення параметрів h, H за критерієм мінімізації ослаблення сигналу L на трасі його поширення за наявності обмежень на висоти h, H та відстані d у відповідних частотних діапазонах.

Розв'язки даної оптимізаційної задачі отримані стосовно найбільш поширених емпіричних моделей Okumura-Hata (О-Н) та COST-231 для різних умов траси поширення сигналу за обмежень $1 \text{ м} \leq h \leq 10 \text{ м}$, $30 \text{ м} \leq H \leq 200 \text{ м}$, $1 \text{ км} \leq d \leq 10 \text{ км}$, $500 \text{ МГц} \leq f \leq 2000 \text{ МГц}$. Використовувався симплексний метод нелінійного програмування [2].

У таблицях 1, 2 наведені оптимальні значення h та H при довжині траси поширення сигналу $d = 1 \text{ км}$ відповідно на частотах 900 МГц та 2 ГГц в умовах квазівідкритого простору.

Таблиця 1

Модель	h , м	H , м
О-Н	1.587	195.325
COST-231	1.592	196.078

Таблиця 2

Модель	h , м	H , м
О-Н	1.603	193.836
COST-231	1.609	195.278

Аналогічні дані для поширення сигналу в умовах великого міста наведені у таблицях 3, 4.

Таблиця 3

Оптимальні значення на частоті 900
МГц

Модель	h , м	H , м
О-Н	1.617	198.325
COST-231	1.622	199.078

Таблиця 4

Оптимальні значення на частоті 2 ГГц

Модель	h , м	H , м
О-Н	1.604	198.536
COST-231	1.612	199.187

На рисунку 1 наведені залежності ослаблення сигналу від довжини траси його поширення в умовах квазівідкритого простору для моделі COST-231 на частотах 900 МГц (суцільна крива) та 2 ГГц (пунктирна крива). Рисунок 2 ілюструє відповідні залежності для поширення сигналу в умовах великого міста. Залежності побудовані за оптимальних значень параметрів h та H .

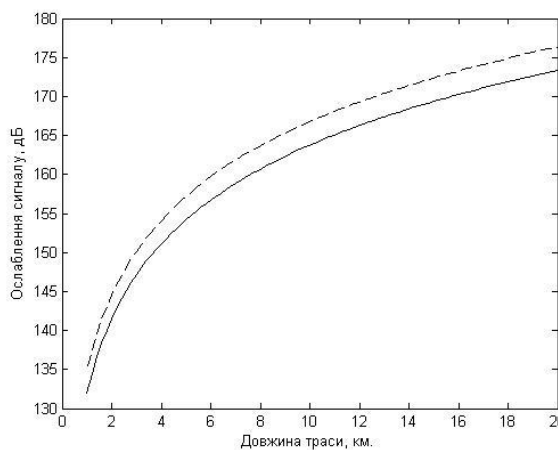


Рис. 1

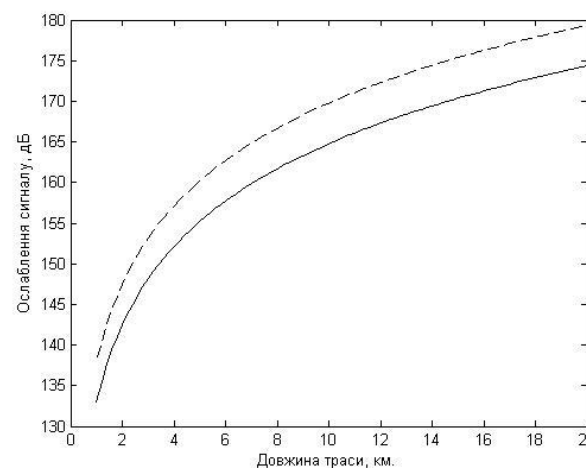


Рис. 2

Наведені результати свідчать про збільшення ослаблення сигналу при збільшенні його частоти незалежно від умов його поширення.

- [1] Sarkar T.K., Zhong J., Kyunging K., Medouri A. Propagation Models for Mobile Communication. IEEE Antennas and Propagation Magazine. Vol. 48. No. 3. (2019). P. 52-82.
- [2] Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Fkannery B.P. Numerical Recipes. The Art of Scientific Computing. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press. (2007). P. 487-562.

OPTIMIZATION OF SPATIAL LOCATION OF TRANSMITTER-RECEIVERS IN MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

V. Korchynskyj

*Oles Honchar Dnipro National University
korchins50k@i.ua*

A method is proposed for determining the positional parameters of the transmitter-receivers location of wireless communication systems, optimal for the criterion of minimizing energy losses on the signal propagation route, within the framework of a number of empirical models of energy coverage in such systems.

ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ХОДИ ДВОНОГОГО РОБОТА З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ ПРИВОДАМИ

М. Демидюк

*Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАНУ
m_demydyuk@ukr.net*

Досліджуємо задачу оптимального керування рухом двоногого крокуючого робота. Керування ходом робота здійснюється з допомогою восьми електромеханічних приводів, які генерують відповідні зусилля в основних шарнірах ніг (відповідно тазостегновим, колінним, гомілковостопним та плеснофаланговим суглобам ніг людини). Кожен привід складається з електродвигуна постійного струму, редуктора й мікроконтролера.

Обмежимося дослідженням динаміки робота в сагітальній площині, вважаючи, що він крокує по нерухомій горизонтальній поверхні (вздовж прямої лінії) і його сегменти здійснюють плоскопаралельний рух. Для моделювання ходи двоногого робота використовуємо плоску систему дев'яти твердих тіл (з одинадцятьма ступенями вільності – вектор узагальнених координат ξ), які представляють корпус та дві однакові чотириланкові нижні кінцівки (стегно, гомілка та дволанкова стопа) [1, 3]. Тіла послідовно з'єднані між собою циліндричними шарнірами, осі яких ортогональні сагітальній площині. Рух системи відбувається під дією активних моментів сил у шарнірах (вектор $\mathbf{M}$), сили тяжіння та реакцій опорної поверхні. Тертя в системі не враховуємо.

Переміщення робота моделюємо на проміжку подвійного кроку $[0, T]$ у класі симетричної ходи (рух однієї ноги повторює рух іншої із запізненням у часі $T/2$). Водночас на ходу накладаємо умови антропоморфного переміщення ніг (перекат через п'ятку, опора на всю стопу, плеснофаланговий перекач, перекач через носок, перенесення стопи) з відповідними ритмічними, кінематичними і динамічними обмеженнями (вільне опирання стоп на поверхню крокування, рух “колінами” вперед тощо). Також фіксуємо положення стоп на початку $t=0$ та в кінці руху $t=T$ і задаємо умови періодичності руху системи на проміжку $[0, T]$ (за кутовими характеристиками ланок та їх швидкостями) та обмеження на головний вектор опорних реакцій і точку його прикладення, $\mathbf{R}_i^0(t) \leq \mathbf{R}_i(t) \leq \mathbf{R}_i^1(t)$, $x_i^0 \leq x_i(t) \leq x_i^1$, $t \in [0, T]$, $i=1,2$, де $\mathbf{R}_i^0, \mathbf{R}_i^1$ – задані (на підставі експериментальних даних біомеханіки ходи людини) функції, x_i^0, x_i^1 – задані параметри.

У припущенні, що маса стоп зосереджена в гомілковостопних шарнірах, рух робота описується сукупністю таких співвідношень: а) система семи нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку (зв'язує між собою $\xi(t)$, $\mathbf{M}(t)$, $\mathbf{R}_1(t)$, $\mathbf{R}_2(t)$); б) чотири алгебраїчні умови (по дві на кожен стопу) кінетостатичної рівноваги безінерційних стоп; в) вісім алгебраїчних умов балансу моментів сил $\mathbf{M}(t)$ та моментів електромагнітних сил $\mathbf{f}(t)$ на валах приводів [2]; г) вісім співвідношень пропорційності між $\mathbf{f}(t)$ і електричним струмом $\mathbf{z}(t)$ в обмотках двигунів; д) вісім лінійних диференціальних рівнянь першого порядку, які описують електромагнітні процеси у двигунах (зв'язують електричну напругу $\mathbf{u}(t)$ зі струмом $\mathbf{z}(t)$).

У межах побудованої математичної моделі формулюємо задачу оптимального керування: побудувати такий вектор керувань $\mathbf{u}^*(t)$, $t \in [0, T]$, який в силу рівнянь руху робота й накладених обмежень мінімізує енерговитрати приводів E . Тут енерговитрати

розраховуємо за формулою $E = \int_0^T \sum_{k=1}^n |u_k(t)z_k(t)| dt$, де $n=8$ – кількість електродвигунів, u_k ,

z_k – напруга і струм в обмотці k -ого електродвигуна. Надалі вважаємо, що система керування ходом робота може забезпечити формування потрібних електричних напруг.

Ефективною в дослідженні сформульованої задачі є методика параметричної оптимізації [1–3]. Відповідно до кількості ступенів вільності системи на ритмічних фазах руху вводимо множину незалежно варійованих функцій, які апроксимуємо кубічними згладжувальними сплайнами з невідомими параметрами у вузлах. Накладені на рух робота обмеження задовольняємо методом штрафних функцій, заздалегідь звівши їх до інтегрального вигляду. Далі, використовуючи підхід обернених задач динаміки, із рівнянь руху знаходимо параметричне сімейство керувань, що зводить цільовий функціонал до функції багатьох змінних. У кінцевому підсумку після описаних перетворень вихідна задача оптимального керування зводиться до задачі нелінійного програмування, для розв'язання якої застосовуємо стандартні числові процедури мінімізації.

- [1] Демидюк М. В., Литвин Б. А. Оптимизация параметров и режимов управления движением двуногого шагающего робота. Проблемы управления и информатики. 2016. № 6. С. 32-44.
- [2] Демидюк М.В., Литвин Б.А. Математичне моделювання та відновлення ходи людини з електромеханічним екзоскелетом. Прикладні проблеми механіки і математики. 2019. Вип. 17. С. 147-159
- [3] Демидюк М.В., Литвин Б.А. Оптимізація параметрів стоп і законів руху двуногого крокуючого робота. Математичні методи та фізико-механічні поля. 2020. Т. 63, №1. С. 181-200.

PARAMETRIC OPTIMIZATION OF THE GAIT OF THE BIPEDAL ROBOT WITH ELECTROMECHANICAL DRIVES

M. Demydyuk

*Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
National Academy of Sciences of Ukraine
m_demydyuk@ukr.net*

We will solve the problem of optimization of the motion laws of a bipedal robot walking over a immovable horizontal surface. The robot is controlled by electromechanical devices: the electric current, which is supplied to the electric motor input, provides generating of the necessary torques in the system's joints. In the modeling of the gait of a robot, we use a plane system of nine solid bodies (torso and two four-link lower extremities). The gait is considered on the segment of a double stride period, where the one- and two-support phases of motion of feet and the main rhythmic, kinematic, and dynamic conditions of anthropomorphous movement are taken into account. We impose the nonstationary limitations on the support reactions of feet and choose a quadratic (on the electric current) objective functional as a criterion of quality of the motion. The algorithm for a numerical solution of the problem has developed via parameterization of system's generalized coordinates by cubic smoothing splines (with unknown parameters at the nodes of a discretization of the double step), utilization of an inverse dynamics approach, as well as methods of external penalty functions and numerical methods of nonlinear programming. The efficiency of the proposed methodology and created algorithm are illustrated by computer simulation of bipedal robot walking.

ДВОДІАПАЗОННА АНТЕННА РЕШІТКА ДЛЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ СТАНДАРТІВ 802.11

С. Бухаров, Д. Січевий

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
sergeyvbuharov@gmail.com*

Розглядається антенна решітка для систем зв'язку з використанням технології МІМО 2х2. Використання технології МІМО дозволяє підвищити пропускну здатність каналу. Технологія Beamforming дозволяє спрямовувати головну пелюстку діаграми направленості на конкретного клієнта. Існує велика кількість рішень широкосмугових та багато діапазонних антен [1], однак більшість з них має незручну діаграму спрямованості. Пропонована антена складається з чотирьох дводіапазонних випромінювачів – два з вертикальної поляризацією та два з горизонтальною. Загальний вигляд решітки показано на рис.1

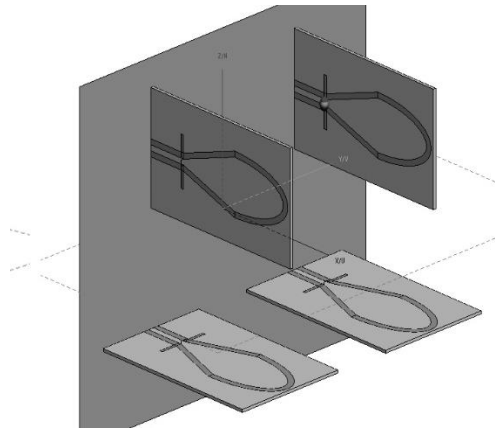


Рис.1 Антенна решітка на базі двочастотного випромінювача.

Петльовий вібратор забезпечує роботу в діапазоні 2.5 ГГц в смузі частот 100 МГц, лінійний вібратор – в діапазоні 5 ГГц зі смугою 200 МГц.

[1] Microstrip and printed antennas : new trends, techniques, and applications /edited by Debatosh Guha, Yahia M.M. Antar. Wiley. (2011). 481 p.

DUAL-BAND ANTENNA ARRAY FOR COMMUNICATION SYSTEMS BASED ON 802.11 STANDARDS

S. Bukharov, D. Sicheviy

*Oles Honchar Dnipro National University
sergeyvbuharov@gmail.com*

An antenna array for communication systems using 2x2 MIMO technology is considered. Beamforming technology allows you to direct the main lobe of the beam pattern to a specific client. Beamforming technology allows you to direct the main lobe of the beam pattern to a specific client. Antenna array consists of four dual-band emitters - two with vertical polarization and two with horizontal polarization.

БЕЗПРОВОДОВА СЕНСОРНА МЕРЕЖА ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ СЕРЕДОВИЩА В ПРИМІЩЕННІ

Д. Чернетченко, М. Попудняк

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
popudniak@ffeks.dnu.edu.ua*

Прогрес у розвитку інформаційних технологій та індустрії автоматизації житла завдяки створенню багатьох розумних пристроїв, наприклад таких як Інтернет речей (IoT), революційно змінив середовище проживання людини. Завдяки інтеграції різноманітних пристроїв в інтелектуальну систему забезпечується підвищення якості життя, а саме безпеки, комфорту та економії ресурсів. Інтелектуальна система розумного будинку може забезпечувати не тільки безперервний моніторинг багатьох параметрів середовища проживання, але й централізоване керування електронними пристроями [1]. На сьогоднішній день створення розумного середовища для підтримки людей які втратили житло під час бойових дій і вимушені жити в модульних містечках має величезний потенціал.

Застосування бездротових технологій в сучасних системах розумного дому значно прискорює та полегшує розгортаємість системи, дозволяє їх досить легко масштабувати та змінювати. Більш того, сучасні бездротові протоколи стали дуже швидкими та споживають мало енергії. Це дозволяє значно збільшити автономний строк служби сенсорної мережі. Саме тому рішення про використання МК у зв'язці із безпроводовими мережами Wi-Fi або Bluetooth є доволі перспективним [2].

У даній роботі вирішується задача розробки бюджетного безпроводового, багатофункціонального пристрою для реєстрації параметрів середовища в приміщенні.

Основою для пристрою було обрано мікроконтролер Arduino Uno поєднаного на одній платі з Wi-Fi модулем ESP8266, який дозволяє передавати пакети даних на сервер за допомогою Wi-Fi. У якості датчиків використовуються датчик вуглекислого газу mq135, датчик температури та вологості DHT22, датчик атмосферного тиску bmp180, датчик освітленості TCM6000 та датчик температури LM35. Кожен з цих датчиків має непогані характеристики та низьку ціну. Для моніторингу значень на самому пристрої в режимі реального часу було використано дисплей Nokia 5110 (84 x 48).

Після підключення до пристрою живлення постійної напруги 5В контролер Arduino Uno виконує основну програму. Пристрій живиться від стандартної акумуляторної батарейки 9В, 650 та ємністю мА/год. Мікроконтролер оновлює дані про стан середовища в приміщенні від системи датчиків з частотою $f=10$ Гц за допомогою стандартних інтерфейсів. Завдяки оптимізації енергоспоживання вдалось досягнути строку автономної роботи до 3 місяців при кімнатних температурах 15-25 °С. Отримані дані обробляються і періодично оновлюються на дисплеї. На пристрої реалізовано простий веб-інтерфейс для доступу до поточних даних за допомогою мережі Wi-Fi з будь-якого пристрою з доступом до мережі інтернет.

- [1] Robles R.J., Kim T.-H. Applications, systems and methods in smart home technology: A review. International Journal of Advanced Science and Technology. Vol. 15. (2010). P. 37–47.
- [2] Макаренко А. Ю., Парфенова А. О., Могильний С. Б. Бездротові технології передачі даних Wi-Fi, Bluetooth та ZigBee. Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2010. – №. 41. – С. 171-181.

WIRELESS SENSOR NETWORK FOR MONITORING INDOOR ENVIRONMENTAL PARAMETERS

D. Chernetchenko, M. Popudniak

*Oles Honchar Dnipro National University
popudniak@ffeks.dnu.edu.ua*

The article is related to the issue of creating a smart solution and integrating various devices into the intelligent system of indoor environments. This integration is able to ensure the safety and comfort of residents, as well as to reduce the use of resources. Much attention is given to implementing wireless technology in modern smart home systems. The authors set the task of developing an affordable wireless sensor system for registering indoor environmental parameters. Its concept was presented using the Arduino Uno microcontroller with ESP8266 module, which provides monitoring the indoor parameters with the possibility of data transmission via a Wi-Fi network. All sensors used in the system have good characteristics and low price, which makes the device budget-friendly and multifunctional.

ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ЗОНДУВАННЯ РЕЧОВИНИ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ ЯКОСТІ

Б. Шестаков, В. Овсяніков, В. Герасимов

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
unlim12345@gmail.com*

Речовини з діелектричними властивостями, широко використовується в багатьох галузях промисловості гірничодобувній, металургійній, машинобудівній, будівельній, народногосподарській, та інших. З цієї причини неруйнівне визначення параметрів якості таких речовин є вельми актуальною проблемою. На цей час для вирішення цієї проблеми відомі методи контролю якості речовин інфрачервоні, нейронні, теплові, радіаційні, електричні, радіотехнічні та інші. У роботі [2] на основі рівнянь електродинаміки і теорії багатошарових діелектричних структур одержано вирази для коефіцієнтів відбиття і послаблення ЕМ хвилі при поширенні її в речовині (рис. 1).

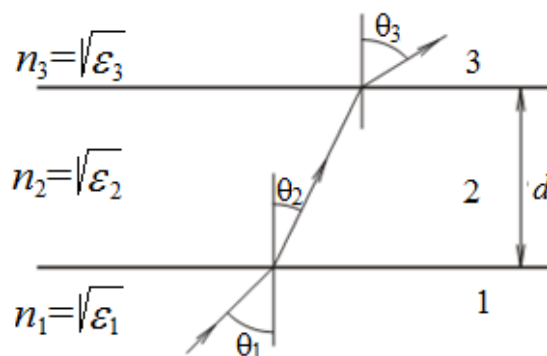


Рис. 1. Тришарова діелектрична структура у напів нескінченному просторі: 1 – повітря; 2 – досліджувана речовина; 3 – повітря.

Беручи до уваги, вирази із роботи [2] для комплексних коефіцієнтів послаблення (t) і відбиття (r) ЕМ хвилі при її падінні на шар речовини товщиною d (рис. 1), формули для t мають вигляд (1, 2)

$$t = \frac{t_{12}t_{23}e^{i\beta}}{1 + r_{12}r_{23}e^{i\beta}}, \quad (1)$$

$$\text{де } \beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_2 d \cos \theta_2. \quad (2)$$

З урахуванням формул (1, 2) і виразу для коефіцієнта відбиття (r) із роботи [2] загальний вираз для визначення комплексного коефіцієнта послаблення ЕМ енергії в тришаровій структурі (рис. 1) записується у вигляді

$$T = \frac{p_2}{p_1} |t|^2 = \frac{n_2 \cos \theta_2 t_{12}^2 t_{23}^2}{n_1 \cos \theta_1 (1 + r_{12}^2 r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23} \cos 2\beta)}. \quad (3)$$

де $p_K = \sqrt{\epsilon_K} \cos \theta_K$ - коефіцієнти, для трьох шарів речовин $K=1, 2, 3$; ϵ_K - діелектрична проникність шара речовини K .

Виконані дослідження спрощеної моделі (рис. 1) дозволили відповісти на низьку питань, пов'язаних зі створенням структурної і математичної моделей для визначення якості речовин, оцінити динамічний діапазон послаблення ЕМ хвиль між антенами-датчиками в заданому діапазоні частот для різних речовин, що важливо для вибору типів і конструкції антен-датчиків, відстані між ними та параметрів необхідного вимірювального мікрохвильового приладу [3]. Також з результатів дослідження моделі (рис. 1) випливає, що певні зміни уявної частини діелектричної проникності ϵ'' речовини, які залежать від втрат у ній ЕМ енергії, характеризують якість досліджуваної речовини. Така кореляція між якістю речовини, її діелектричною проникністю і послабленням ЕМ хвилі в ній підтверджує можливість дистанційного контролю якісних показників речовин.

Наближаючи дослідження речовини до реальних умов визначення послаблення і потім якості пропонуємо такий вигляд структурної моделі (рис. 2). Тут за наявності необхідних зазорів $H1$ і $H2$ між антенами-датчиками 1 та 2 і досліджуваною речовиною 3, наприклад при оперативній роботі на конвеєрі картина ЕМ поля поблизу пристрою (рис. 2) має вельми складну конфігурацію [3] з причин, взаємовпливу між антенами-датчиками 1, 2 і речовиною 3 та не підлягає точному визначенню комплексного значення з використанням спрощеної моделі (рис. 1).

Але з використанням дослідження речовин виконувати експериментально-розрахунковим методом з використанням пристрою (рис. 2) з ЕОМ 4.

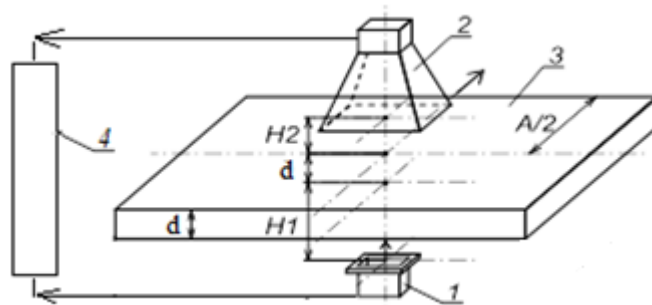


Рис.2. Розташування мікрохвильових рупорних антен-датчиків біля досліджуваної речовини: 1 і 2 - рупорні антени-датчики, для випромінювання і приймання, відповідно ЕМ сигналу; 3 - досліджувана речовина; 4 - вимірювальний НВЧ пристрій та ЕОМ з програмним забезпеченням для визначення якості речовини.

Автори висловлюють подяку доценту ДНУ імені Олеся Гончара С.В. Бухарову за плідну минулу співпрацю за темою статті.

- [1] Брандт А. А. Исследование диэлектриков на СВЧ. М.: Физматизд, 1964. –404с.
- [2] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. Перев. с англ. Под ред. Мотулевича Г. П. – Изд. «Наука». – ГРФМЛ.-М.: 1973 г.
- [3] Патент на винахід. Кузнецов Г.В., Випанасенко С.І., Овсяніков В.В.,Вовк С.М., Гусєв О.Ю., Овсяников Владимир В., Фесак Г.І., Мартиненко С.В. Спосіб автоматизованого контролю якісних характеристик речовин у мікрохвильовому діапазоні та пристрій для його реалізації. UA 90540 Україна, МПК (2009) G01N 22/00, опубл. 26.10.2009, Бюл. №9.

ELECTROMAGNETIC PROBING OF A SUBSTANCE WITH THE PURPOSE OF DETERMINING ITS QUALITY

B. Shestakov, V. Ovsyanikov, V. Gerasimov

*Oles Honchar Dnipro National University
unlim12345@gmail.com*

Substances with dielectric properties are widely used in many branches of the mining, metallurgical, machine-building, construction, national economy, and other industries. For this reason, non-destructive determination of the quality parameters of such substances is a very urgent problem. Currently, infrared, neural, thermal, radiation, electrical, radiotechnical and other methods of controlling the quality of substances are known to solve this problem.

ФІЛЬТРАЦІЯ ЗАВАД ЦИФРОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ЇХ ПОДАВАННЯ У ДИСКРЕТНИХ ОРТОГОНАЛЬНИХ БАЗИСАХ

А. Груєнко, В. Корчинський

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
korchins50k@i.ua*

Передавання інформаційних сигналів по каналах зв'язку супроводжується накладенням на них шумів, спричинених нестабільністю фізичних характеристик каналу. Традиційно за модель канального шуму приймається адитивний білий гаусівський шум. Пригнічення таких шумів базується на фільтрації сигналів, поданих у спектральній області [1]. Застосування такого способу фільтрації шуму утруднене у випадках, коли він має апріорно невідомий статистичний розподіл.

У даній роботі пропонується альтернативний метод фільтрації шумів на основі подання цифрових сигналів у ортогональних дискретних базисах. У таких базисах дискретизований цифровий сигнал з адитивним шумом має вигляд розкладу

$$U(n) = \sum_{k=0}^{N-1} c(k) \cdot \varphi(n, k), \quad (1)$$

де N – кількість часових відліків сигналу, $\varphi(n, k)$ – базисні функції. Коефіцієнти $c(k)$, пов'язані з відліками сигналу співвідношенням $c(k) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} U(n) \cdot \varphi(n, k)$, зменшуються

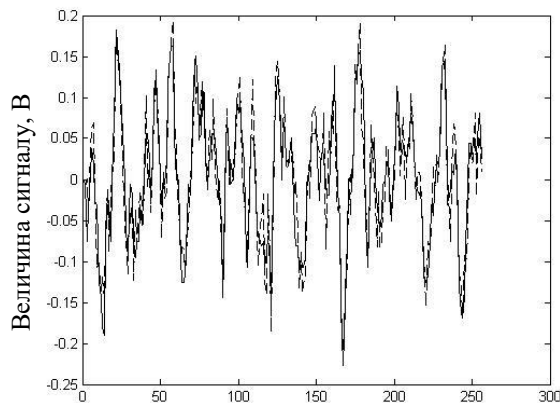
зі збільшенням їх номерів [2]. З цього випливає, що для адитивних високочастотних шумів обмеження кількості коефіцієнтів $c(k)$ шляхом їх обнуління, починаючи з певного номеру L , веде до зменшення шуму. Реконструкція фільтрованого сигналу здійснюється за співвідношенням

$$U_r(n) = \sum_{k=0}^{N-1} c_r(k) \cdot \varphi(n, k), \quad (2)$$

де $C(k) = c(k)$ при $k = \overline{0, L}$, $C(k) = 0$ при $L < k \leq N-1$.

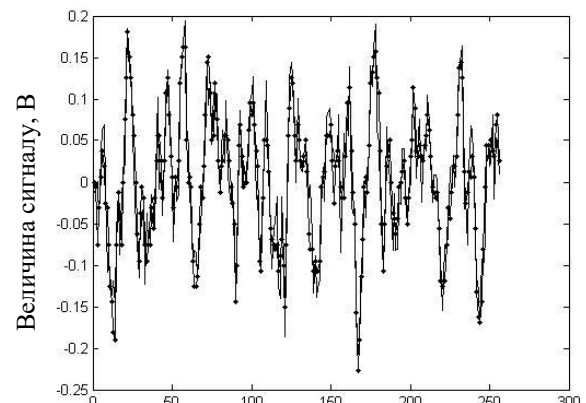
Визначення порогу обнуління L сформульовано як оптимізаційну задачу збереження у відновленому сигналі $U_r(n)$ заданої частки енергії вихідного інформативного та індексу структурної схожості за його означенням у роботі [3].

На рисунку 1 подано часову динаміку вихідного інформаційного сигналу (суцільна крива) та сигналу з адитивним шумом (пунктирна крива). Використовувався дискретний ортогональний базис Уолша; поріг обнуління коефіцієнтів відповідного перетворення визначався за умов збереження у відфільтрованому сигналі 90 % енергії вихідного сигналу та індексу структурної схожості між цими сигналами 0.99. Рисунок 2 ілюструє реконструйований сигнал (суцільна крива) у порівнянні з вихідним сигналом (штрих-пунктирна крива).



Номер відліку сигналу

Рисунок 1



Номер відліку сигналу

Рисунок 2

Відношенні «сигнал/шум» до фільтрації складало 3 дБ, після фільтрації 15 дБ. Порівняльний аналіз різних ортогональних базисів (Уолша, Хаара, Хартлі) показав, що найбільш ефективним за зазначеними критеріями є базис Уолша, який використовується для множинного доступу у мобільних системах зв'язку з кодовим поділом каналів.

[1] Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. М.-СПб.: ПИТЕР (2002). 608 с.

[2] Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. М.: Наука (1989). 496 с.

- [3] Wang Z., Bovik A.K, Sheikh H.R., Simoncelli E.R. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. IEEE Transactions on Image Processing. 2004, Vol. 13. (2002). P. 600-612.

INTERFERENCE FILTERING OF DIGITAL TELECOMMUNICATION SIGNALS BASED ON THEIR PRESENTATION IN DISCRETE ORTHOGONAL BASES

A. Hruienko, V.Korchynskyj
Oles Honchar Dnipro National University
korchins50k@i.ua

A method for filtering additive noises arising during the transmission of digital signals through telecommunication channels with additive noise is proposed. The method is based on the representation of signals in discrete orthogonal bases with the subsequent limitation of the number of coefficients of the corresponding decompositions according to energy criteria.

АНАЛІЗ ДАНИХ ОТРИМАНИХ ВІД НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ГАЗОЧУТЛИВИХ СЕНСОРІВ

В. Міщенко, Д. Савченко, І. Гомілко
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
gomilko@ukr.net

Після створення та налаштування вимірювального стенду для автоматичного вимірювання концентрації газового середовища за допомогою газочутливих сенсорів, було підібрано низку газочутливих сенсорів промислового виробництва, а саме: MICS-6814, MICS-5524, MICS-4514, MICS-2714, MQ-137, MQ-131, MQ-7, 2SH-12, МЕЗМ-ОЗ, ЗН-03. Ці сенсори необхідно було дослідити та порівняти отримані дані з характеристиками поданими в технічній документації до них.

Всі досліді проводились в середовищі з контрольованою концентрацією дослідного газу, з записом часу та температури. Суть експериментів полягає в тому, щоб дослідити та оцінити чутливість та швидкість реакції сенсорів на зміну концентрації газу. Це було необхідно для подальшого відбору сенсорів та подальшого їх використання для оцінки концентрації газів в повітрі.

На рисунку 1 зображена електрична схема одного з каналів вимірювальної частини стенду. Схема була розроблена таким чином щоб можна було під'єднати різні сенсори та протягом однієї експериментальної сесії зробити вимірювання при різних схемах під'єднання сенсору шляхом програмного перемикавання каналів. Адже від цього залежить чутливість сенсору на дослідний газ.

Аналіз отриманих даних показав, що з усіх обраних сенсорів для майбутніх дослідів найбільш цікавими є сенсори: MICS-4514 як сенсор CO та NO₂, MICS-5524 як сенсор CO, 2SH-12 як сенсор SO₂.

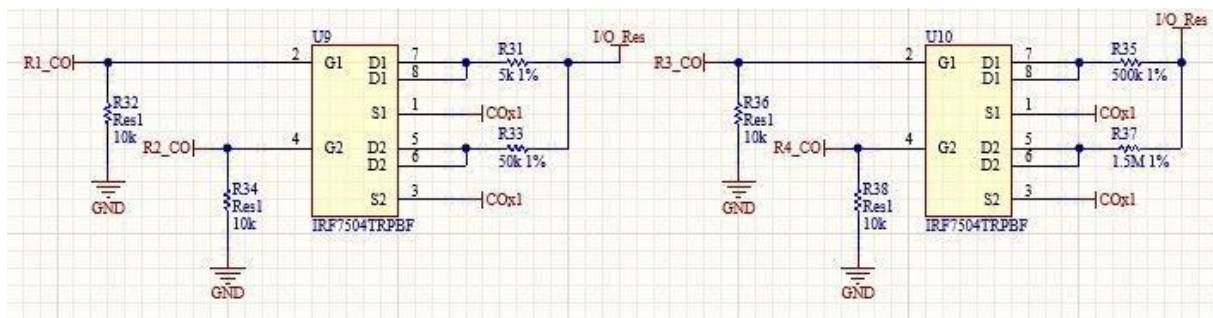


Рис. 1. Електрична схема одного з каналів вимірювальної частини стенду.

Особливу увагу привернув сенсор MICS-6814 який використовується одночасно для трьох газів CO, NO₂ і NH₃, однак вимірювання CO і NH₃ показали аномальну залежність відгуку від концентрації в порівнянні з технічною документацією до цього сенсору. Тобто отримані дані не відповідають зазначеними в документації.

ANALYSIS OF DATA OBTAINED FROM SEMICONDUCTOR GAS SENSITIVE SENSORS

V. Mishenko, D. Savchenko, I. Gomilko

*Oles Honchar Dnipro National University
gomilko@ukr.net*

A test stand was developed, configured and tested. The data were recorded in automatic mode, with temperature and time records. Analysis of experimental data showed that the most suitable sensors for gas environment analysis are: MICS-4514 as CO and NO₂ sensor, MICS-5524 as CO sensor, 2SH-12 as SO₂ sensor. The MICS-6814 sensor is interesting for measuring CO, NO₂ and NH₃, but measurements of CO and NH₃ gasses showed an anomalous dependence on concentration compared to the declared data in the technical documentation. That is, the indicators do not correspond to the declared ones.

ВПЛИВ БАГАТОКАНАЛЬНОГО СЕНСОРНОГО КОНТРОЛЮ ПРИМІЩЕННЯ НА ЙОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

В. Козуненко

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
provisorc@gmail.com*

На сьогодні мікроконтролерні пристрої та технології все більше починають використовуватись не лише на виробництві, але і в побуті. Причиною стала підвищення економії коштів, що витрачаються не лише через зменшення людської роботи на виробництві, а і зменшення використання електроенергії. Саме друга причина і стала рушійною впровадженні новітніх технологій у побуті. Запровадити це можна через використання багатоканального сенсорного контролю. Багатоканальний сенсорний

контроль в соціумі та мас медіа більш відомий як система “Розумний дім”. Подібна система дозволяє зібрати необхідну кількість даних з сенсорів розташованих по всьому приміщенню та обробляти її задля оптимізації споживання електроенергії та різних видів опалення. Для інтеграції такої системи існує безліч варіантів, як готових наборів та програмного забезпечення так і самостійно зібрані пристрої з власними системами збору даних та автоматизації. Але залишається відкритим питання щодо ефективності впливу таких систем на енергоефективність при різних її конфігураціях.

У роботі розроблено автоматизовану систему контролю та збору інформації яка може вплинути на енергоефективність приміщення напряму чи хибно. В система створена на базі Raspberry Pi 4 як центральний керувальний пристрій та ESP32 або ESP8266 для збору даних та керування сенсорів та пристроїв на периферії. Така комплектація дозволила побудувати гнучку архітектуру, в якій можна використовувати як бездротовий зв'язок так і контактний. Гнучка архітектура дозволяє розташувати сенсори в будь-яких, навіть важкодоступних, місцях та за межами приміщення.[1]

Надалі в роботі визначається які фактори можуть впливати на енергоефективність в приміщенні та як можливо відтворювати збір даних. Впливники було розподілено за сценаріями контролю як:

1. Контроль освітлення:
 - a. трекинг ступеню освітленості
 - b. трекинг присутності
 - c. трекинг руху
 - d. визначення поточного часу доби
2. Контроль опалення:
 - a. трекинг температури повітря в приміщенні
 - b. трекинг температури повітря на вулиці
 - c. трекинг температури опалювальних пристроїв
 - d. трекинг осадів на вулиці
 - e. трекинг вологості в приміщенні
3. Контроль електроприладів:
 - a. трекинг заряду працюючих пристроїв
 - b. датчики та сценарії пов'язані з інтеграціями самих пристроїв [2]

Використовуючи сценарії впливу та контролю були зібрані комплектації датчиків. Перевага надавалась сенсорам від фірми Adafruit та SparkFun через їх високу точність та просту інтеграцію до системи, що було визначено за результатами дослідження. Також були опробовані сенсори від ZigBee та Xiaomi.

Після імплементації системи та збору даних було визначено оптимальну кількість датчиків, їх найвдаліше розташування, комплектації та частоту вимірів. Завдяки створеному датасету тепер можливо створення скриптів та автоматизацій для електроспоживчої інфраструктури та приладів, які мають ще сильніше підвищити енергоефективність, ніж мануальний контроль.

Система збору, обробки та автоматизації була створена на основі Home Assistant на базі Linux, який був встановлений на центральний керувальний пристрій, в нашому разі, Raspberry Pi 4.

- [1] Ziemann V. A hands-on course in sensors using the arduino and raspberry pi. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2018] | Series: Series in sensors : CRC Press, 2018. URL: <https://doi.org/10.1201/9781351188319> (date of access: 14.10.2022).
- [2] 5 steps to turn your house into a smart, energy-saving home – mother earth news. Mother Earth News – The Original Guide To Living Wisely. URL:

<https://www.motherearthnews.com/sustainable-living/green-homes/5-steps-to-turn-your-house-into-a-smart-energy-saving-home-zbcz1601/> (date of access: 14.10.2022).

INFLUENCE OF MULTI-CHANNEL SENSOR ROOM CONTROL ON ITS ENERGY EFFICIENCY

V. Kozunenko

*Oles Honchar Dnipro National University
provisorc@gmail.com*

The system of multi-channel sensor control based on Raspberry Pi 4 and Esp32 on periphery as micro-controller that collect and proceed data from plugged sensors. In current work we are trying to research how much, which kind and where we have to install sensors in a room to make energy consumption the most efficient and then make automatisatation based on collected data.

ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ЗДОБУВАЧІВ ІЗ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 105 – ПРИКЛАДНА ФІЗИКА ТА НАНОМАТЕРІАЛИ В ПРИДНІПРОВСЬКОМУ РЕГІОНІ

О. Дробахін¹, О. Коваленко¹, С. Плаксін², Б. Блюсс³

¹Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

²Інститут транспортних систем та технологій НАН України

³Придніпровський науковий центр НАН України та МОН України
drobakhin@dnun.dp.ua

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (ДНУ) є єдиним ЗВО області, який здійснює підготовку фахівців із спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали в регіоні, він забезпечує освітній процес за трьома рівнями вищої освіти, включаючи підготовку докторів філософії. Загальна відмінна від інших ЗВО (КНУ, ХНУ, ЗНУ, ХПІ, КПІ) риса полягає, що освітні програми сформовані на базі попередніх спеціальностей та спеціалізацій: Радіофізика і електроніка, Комп'ютерна радіофізика, Оптикоелектроніка. Це дозволило сформувати освітню програму для підготовки бакалаврів «Радіофізика, електроніка та оптоінформатика». Унікальність підготовки за спеціальністю полягає в її комплексному характері, де поєднані технологічні та вимірювальні процеси, використовуються методи дослідження, які притаманні оптичному та радіодіапазону, що відкриває можливості ефективного дослідження у терагерцовому діапазоні, який лежить на межі між першими двома діапазонами. Вона задовольняє потребам розвитку супутникової галузі, яка потребує приладів з новітніми властивостями, зокрема, в оптичному діапазоні, підвищення ефективності сонячної енергетики за рахунок використання фотонних структур, використання засобів оптоінформатики. З 2021 р. за третім рівнем вищої освіти забезпечується надання професійної кваліфікації «Викладач закладу вищої освіти». Викладання фізики у ЗВО інженерно-технічного спрямування вимагає залучення для педагогічного процесу саме фахівців з прикладної фізики, які розуміються в телекомунікаційних технологіях, електроніці. Таким чином, здійснюється підготовка наукових та науково-педагогічних кадрів вищої кваліфікації, які мають необхідні компетентності для самостійної роботи в сфері науки і освіти, здатні розв'язувати комплексні проблеми в галузі прикладної фізики та наноматеріалів з дослідження фізичних об'єктів і систем, фізичних процесів і явищ, технологічних процесів і розробки фізичних основ створення нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів, технологій, проводити викладацьку роботу у закладах вищої освіти.

Освітньо-наукова програма має академічну та прикладну орієнтацію, які спрямовані на створення технологій виготовлення нових матеріалів для електроніки, наноматеріалів, нанокомпозитів та фотонних кристалів, розроблення нових фізичних принципів створення приладів, елементів і систем радіо- та оптичного діапазонів. Забезпечується наукова орієнтація: дослідження в галузі сучасного матеріалознавства, фізики наноматеріалів і фотонних кристалів, прикладної радіофізики. Ця програма базується на існуванні у попередній період підготовки через аспірантуру за науковими спеціальностями 01.04.03 – Радіофізика, 01.04.07 – Фізика твердого тіла. При цьому на факультеті існує підготовка з низки дотичних спеціальностей: фізика та астрономія, телекомунікації та радіотехніка, комп'ютерні науки, комп'ютерна інженерія, мікро- та наносистемна техніка, що відкриває можливості неформальної мультидисциплінарної

освіти через роботу наукових товариств, участі у відповідних семінарах та конференціях, організації творчих колективів.

Аналіз тенденцій розвитку спеціальності та ринку праці підтверджує зростання попиту на випускників ОНП «Прикладна фізика та наноматеріали», що обумовлено необхідністю розвитку технологій подвійного призначення. Мають бути розширені пропозиції щодо досліджень зі створення приладів для космічної техніки для впровадження енергоефективних технологій і оптоінформаційних підходів. Доцільно приділити більше уваги комп'ютерним технологіям обробки даних експерименту з урахуванням фізики процесів.

Для організацій регіону є важливим підготовка фахівців, які добре володіють вимірюваннями фазових зсувів, інтерференційними методами вимірювань у мікрохвильовому діапазоні. Значні перспективи має використання антенних решіток для передавання електромагнітної енергії в розроблювальних системах, зокрема – орбітального базування, побудова наземного фрагменту енерготранспортної системи, тобто – розробка ректени, що потребує комплексних знань в галузі антенної техніки та твердотільної електроніки. Підвищення енергоефективності таких ректен вбачається на шляхах використання в якості перетворювачів напівпровідникових діодів на базі нітриду галію (GaN), який має втричі ширшу заборонену зону, ніж у традиційно використовуваних кремнієвих діодів. Важливою сферою використання напівпровідникових мікрохвильових технологій є різновиди безпілотного транспорту, навігаційні системи якого будуються на основі лідарів. Значні перспективи має бездротове енергопостачання за допомогою мікрохвильового випромінювання, наприклад, на основі тих же нітрид-галієвих гетероструктур. Саме зміст освітніх програм за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали дозволяє здійснювати підготовку фахівців, які поєднують знання радіофізики, комп'ютерних методів обробки даних, фізичних основ створення твердотільних приладів, включаючи сенсори, оптоінформаційних технологій, що є важливим для забезпечення регіону позицій високотехнологічного центру країни.

FEATURES OF THE TRAINING OF STUDENTS OF THE SPECIALTY 105 – APPLIED PHYSICS AND NANOMATERIALS IN THE DNIPRO REGION

O. Drobakhin¹, O. Kovalenko¹, S. Plaksin², B. Blyuss³

¹Oles Honchar Dnipro National University

²Institute of Transport Systems and Technologies of the NAS of Ukraine

*³Dnipro Scientific Center of the NAS of Ukraine and the MES of Ukraine
drobakhin@dmu.dp.ua*

The uniqueness of training in the specialty lies in its complex nature, where technological and measurement processes are combined, research methods of the optical and radio range are used, this fact opens up the possibility of effective research in the terahertz range, which lies on the border between the first two ranges. It satisfies the demands of the development of the satellite industry, which requires devices with the modern properties, in particular, in the optical range; increasing the efficiency of solar energy through the use of photonic structures, and the use of optoinformatics; measurements of phase shifts, interference methods of measurements in the microwave range.

ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КРЕМНІЄВИХ НАНОНИТОК

П. Генцарь, А. Міняйло, Д. Пекур, О. Власенко

*Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України
rastneg@isp.kiev.ua, demid.pekur@gmail.com*

Перспективним матеріалом для сучасної мікро - і наноелектроніки є монокристалічні кремнієві нанонитки та пористий кремній. Пористий кремній має достатньо ефективну фотолюмінесценцію у видимій області спектра при кімнатній температурі. На низькоомних кремнієвих підкладках практично завжди створюються мезопористі шари пористого кремнію у яких відсутня люмінесценція у видимій області спектра [1]. Плівки пористого кремнію та кремнієвих нанониток знайшли застосування в сонячній енергетиці, як широкосмугове антивідбиваюче покриття в сонячних елементах, також використовуються для виготовлення світлодіодів та хімічних датчиків.

Метою даної роботи є дослідження оптичних спектрів відбивання та пропускання в спектральному діапазоні 200 ÷ 1700 нм монокристалічних кремнієвих нанониток різної висоти для отримання даних про енергетичну зонну структуру.

На поверхні монокристалічної кремнієвої пластини (100) - орієнтованого кремнію p^+ - типу (товщиною 510 ± 20 мкм та питомим опором $0,01$ Ом·см) вирощені монокристалічні кремнієві нанонитки (NWs). Час хімічного травлення визначав довжину (висоту) монокристалічних кремнієвих нанониток. Виготовлені зразки з шарами монокристалічних кремнієвих ниток мали пористість 60%. Довжина монокристалічних кремнієвих ниток l_{NW} була 5,5 мкм; 20 мкм; 50 мкм.

Оптичні дослідження (відбивання та пропускання) були проведені на двопробієвому спектрофотометрі Shimadzu UV-3600 в діапазоні 200 – 1700 нм. Роздільна здатність приладу була не більше 0,01 нм. Дослідження проводилися при кімнатній температурі.

Енергія квантово-механічної частинки (електрона чи дірки) описується за допомогою формули:

$$E(\mathbf{k}) = E_0(\mathbf{k}) + \Delta E(\mathbf{k}) = E_0(\mathbf{k}) + \frac{\hbar^2(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)}{2m^*} = E_0(\mathbf{k}) + \frac{\hbar^2(k_x^2 + k_y^2)}{2m^*} + \frac{\hbar^2\pi^2}{2m^*L^2} \quad (1)$$

де $\mathbf{k}$ – хвильовий вектор, $E_0(\mathbf{k})$ – енергія фундаментального оптичного переходу досліджуваного матеріалу; $\Delta E(\mathbf{k})$ – квантоворозмірна добавка до енергії дірки (енергія розмірного квантування). Слід врахувати, що ефективна маса дірки від’ємна, а енергія основного стану в порівнянні із станом кристала без обмеження збільшується або зменшується на величину: $\Delta E = \frac{\hbar^2\pi^2}{2m^*L^2}$, де m^* ефективна маса вільної частинки, рух якої

обмежений нескінченно високими непроникаючими бар’єрами, які знаходяться на віддалі L . Оксидне покриття поверхні кремнію є аморфна плівка товщина якої коливається в границях 0,5 – 7 нм. Товщина перехідного шару SiO_x між монокристалом кремнію та двоокисом кремнію складає 0,5-0,7 нм.

Оскільки коефіцієнт відбивання R , як функція від довжини електромагнітної хвилі λ $R = f(\lambda)$ пов’язаний із коефіцієнтом пропускання $T = f(\lambda)$ та поглинанням $D = f(\lambda)$ співвідношенням $R(\lambda) + T(\lambda) + D(\lambda) = 1$, то в даній роботі досліджувалися також спектри поглинання $D(\lambda) = 1 - [R(\lambda) + T(\lambda)]$.

Слід відмітити, що характеристикою оптичного явища відбивання електромагнітної хвилі є енергетичний коефіцієнт відбивання R . Коефіцієнт відбивання

R при нормальному падінні, або відбиванні R напівнескінченного ізоотропного середовища (напівпровідника, твердого тіла) визначається наступним співвідношенням:

$$R = \frac{(n - n_0)^2 + \chi^2}{(n + n_0)^2 + \chi^2} \quad (2)$$

де n_0 , n - показник заломлення зовнішнього середовища та напівпровідника відповідно, χ коефіцієнт екстинкції напівпровідника. Оптична глибина проникнення електромагнітної хвилі в зразок d_{opt} дорівнює α^{-1} (де α показник поглинання досліджуваного матеріалу). Для напівпровідників в типових випадках α вище фундаментального оптичного переходу E_0 має порядок $10^4 \div 10^6 \text{ см}^{-1}$, тому при таких великих коефіцієнтах поглинання електромагнітна хвиля буде зондувати тільки дуже тонкий шар біля поверхні зразка (біля 1 мкм або менше). Виходячи з принципу невизначеності Гейзенберга для енергій E і часу t ($\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$) релаксаційні ефекти в поглинанні світла кристалом описують параметром уширення $\Delta E = \hbar/\tau$ (уширення електронного переходу E_0 пов'язане з часом життя вільних носіїв заряду через взаємодію їх з коливаннями ґратки, домішками, дефектами в тому числі і поверхневого характеру), де τ – час енергетичної релаксації фотогенерованих носіїв заряду.

На спектрах оптичного відбивання кремнієвих нанониток в діапазоні довжин хвиль $200 \div 1700 \text{ нм}$ спостерігаються два енергетичні піки при енергіях 0,862 еВ і 1,046 еВ, а на спектрах оптичного пропускання енергетичні піки проявилися при енергіях 0,854 еВ та 1,048 еВ. Спектри оптичного поглинання $D(\lambda)$ повністю корелюють зі спектрами відбивання та пропускання. Із спектрів відбивання та пропускання для кремнієвих нанониток із даними довжинами визначено енергетичне уширення оптичних спектрів матеріалів, що дорівнює 0,184 еВ та час енергетичної релаксації фотогенерованих носіїв заряду τ , який дорівнює $3,577 \cdot 10^{-15} \text{ с}$.

Експериментальні дані та розрахунки вказують на зменшення ширини забороненої зони монокристалічних кремнієвих ниток, в порівнянні із монокристалом р-Si (100), що може бути пояснено квантоворозмірним ефектом, який виникає в досліджуваних об'єктах. Енергетичні спектри досліджених структур залежать від їх питомої поверхні.

[1] Генцарь П.О., Вуйчик М.В., Ісаєв М.В., Ліщук П.О. Оптичні властивості пористого кремнію р-Si (100). Фізика і хімія твердого тіла. Т. 20, № 3 (2019) С. 264-268.

OPTICAL PROPERTIES OF SILICON NANOWIRES

P. Gentsar, A. Mynaylo, D. Pekur, O. Vlasenko

V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics,

National Academy of Sciences of Ukraine

rastneg@isp.kiev.ua, demid.pekur@gmail.com

The work presents the results of the study of the optical spectra of reflection and transmission of a single crystal of silicon p-Si (100) with silicon nanowires grown on both sides in the spectral range of $0.2 \div 1.7 \text{ }\mu\text{m}$. The nanowires layers had thicknesses of $5.5 \text{ }\mu\text{m}$, $20 \text{ }\mu\text{m}$, $50 \text{ }\mu\text{m}$ and porosity of 60%. The change of energy band structure in single crystalline silicon nanowires is shown.

ЗАСТОСУВАННЯ ДВОШАРОВИХ ВАРИСТОРНО-ПОЗИСТОРНИХ СТРУКТУР ДЛЯ ОБМЕЖЕННЯ НАПРУГИ

О. Тонкошкур, О. Іванченко

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
IvanchenkoAV@ukr.net*

Останнім часом встановлена можливість застосовувати структури на основі послідовно з'єднаних шарів варисторної кераміки і позисторного композиту, що знаходяться в тепловому контакті, в якості обмежувачів постійної напруги або напруги, що повільно змінюється [1, 2].

Варисторний шар такої комбінованої структури підключений паралельно до об'єкта захисту, а позисторний – послідовно. У якості позисторного шару використовується полімерний композит з нановуглецевим наповнювачем технології «PolySwitch», базовою функціональною властивістю якого є стрибкоподібне збільшення електричного опору при температурі фазового переходу.

Різде збільшення (на кілька порядків) електричного опору шару позисторного нанокомпозиту при передачі теплової енергії від нагрітого перенапругою варисторного шару є основною функціональною властивістю комбінованої структури, що розглядається.

У цій роботі наведено результати моделювання часових залежностей характеристик обмежувача напруги, що досліджується, при його спрацьовуванні та аналіз впливу на них режимів експлуатації та параметрів його структури.

При прикладанні до такої структури напруги вище допустимого значення, вона спочатку прикладається до варисторного шару, бо шар позистора при температурах нижче температури спрацьовування має низький опір (близький до металевого). Варисторний шар починає нагріватися через збільшення струму, що протікає, і його температура збільшується. Шар позистора також нагрівається через тепловий контакт з шаром варистора, а також за рахунок електричного струму (саморозгрівання), що протікає через нього. Його опір різко збільшується при наближенні до температури фазового переходу. Струм, що протікає через структуру і, відповідно, шар варисторної кераміки, дещо зменшується, а температура структури знижується. Внаслідок такого перехідного процесу напруга на варисторному шарі та температура структури стабілізуються. Тобто відбувається перерозподіл вхідної перенапруги між шарами, що забезпечує обмеження вихідної напруги на варисторному шарі і, відповідно, на включеному паралельно йому навантаженні.

Показано, що після прикладання до структури вхідної постійної перенапруги з часом вихідна напруга на варисторному шарі зменшується та досягає деякої фіксованої величини, пов'язаної з класифікаційною напругою цього варистора. Синхронно температури варисторного та позисторного шарів зростають також до деякого стабільного значення. Кінетика релаксації струму структури та зміни потужності після прикладання вхідної постійної напруги є різко спадаючими функціями експоненціальної форми.

Амплітуда перехідного струму зі збільшенням прикладеної напруги зростає, а його тривалість і енергія перехідного процесу зменшуються. Це узгоджується з уявленнями про те, що при збільшенні електричної потужності, яка підводиться та

спрямована на розігрів шарів дослідженої структури, забезпечується її більш швидке нагрівання.

Для варисторних керамік із сильною залежністю низьковольтного опору від температури (тобто для великих енергій активації його температурної залежності) має місце зменшення вихідної напруги до значень порядку одиниць вольт.

При низьких рівнях інтенсивності теплообміну з навколишнім середовищем (значеннях коефіцієнта теплообміну менших $0.0001 \text{ Вт} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$) температура структури може збільшуватися, а вихідна напруга зменшуватися не виходячи на стаціонарне значення. З іншого боку, за наявності зазначеного теплообміну з високим рівнем інтенсивності (при значеннях коефіцієнта теплообміну більших $0.01 \text{ Вт} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$) електронагрів, достатній для ініціалізації спрацьовування процесу обмеження напруги, не буде досяжним.

Зі збільшенням внутрішнього опору джерела перенапруги у електричному колі перехідні струми зменшуються, а тривалість перехідних процесів збільшується. Збільшується і загальна енергія перехідного процесу для варисторного шару, оскільки подовження зазначеного перехідного процесу збільшує енергію розсіювання. Зі зростанням часу розігріву збільшуються і сумарні теплові втрати за рахунок теплопередачі в навколишнє середовище.

Результати моделювання часових залежностей основних функціональних параметрів структури із послідовно з'єднаних шарів варисторної кераміки та позисторного композиту, які знаходяться в тепловому контакті, становлять інтерес для розробки на її основі перспективного обмежувача постійних напруг або напруг, які повільно змінюються.

- [1] Golubovic B., Becker P. N., Moore R. P. Circuit protection device having thermally coupled MOV overvoltage element and PPTC overcurrent element. U.S. Patent 7660096 B2 (2010).
- [2] Tonkoshkur A.S., Ivanchenko A.V. Electrical properties of structures based on varistor ceramics and polymer nanocomposites with carbon filler. Journal of Advanced Dielectrics. Vol. 09. No. 03. (2019). P. 1950023.1–1950023.6.

APPLICATION OF TWO-LAYER VARISTOR-POISTOR STRUCTURES FOR VOLTAGE LIMITATION

A. Tonkoshkur, A. Ivanchenko
Oles Honchar Dnipro National University
IvanchenkoAV@ukr.net

An analysis of the results of modeling the time dependences of the main functional parameters of a structure of series-connected and thermally contacted layers of varistor ceramics and posistor composite is given.

It is shown that after applying an input constant overvoltage to the structure, there is a simultaneous decrease in the output voltage across the varistor and an increase in the temperature of the entire structure until it reaches stationary values, and the structure current relaxation and power changes are sharply decreasing functions.

The structure under study is of interest for the development on its basis of a perspective limiter for constant and slowly varying voltages.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЯВУ ЕФЕКТУ ХОЛЛА І ТЕНЗООПОРУ ТРАНСМУТАЦІЙНО ЛЕГОВАНИХ КРИСТАЛІВ Si ЗА РІЗНИХ РЕЖИМІВ ТЕРМООБРОБКИ

Г. Гайдар

Інститут ядерних досліджень НАН України

gaydar@kinr.kiev.ua

Незважаючи на те, що температурна обробка є невід'ємною частиною сучасного виробництва кремнієвих приладів, незалежно від способу вирощування та легування вихідного матеріалу, на сьогоднішній день вона є найменш вивченим і науково обґрунтованим елементом технологічного процесу.

Як випливає з роботи [1], серед низки швидкостей охолодження 1, 15 і 1000 °C/хв від температури відпалу 1200 °C швидкість 15 °C/хв є особливою, оскільки лише за цієї швидкості охолодження в об'ємі відпалених ТЛ кристалів Si утворюються глибокі донорні рівні.

Мета даної роботи полягала у з'ясуванні, чи буде й після відпалу зразків ТЛ Si в інтервалі температур $T_{\text{відп}}^{\min} = 800 \leq T_{\text{відп}} \leq T_{\text{відп}}^{\max} = 1200$ °C ця сама швидкість 15 °C/хв призводити до появи глибоких донорних рівнів, а також обумовлювати іншу специфіку поведінки термічно оброблених кристалів.

Експерименти проводили на ТЛ кристалах *n*-Si та (для порівняння) на звичайних (ЗВ) кристалах *n*-Si, легованих домішкою фосфору через розплав у процесі їх вирощування методом Чохральського. Після виведення орієнтації (довга вісь в напрямку [001]) всі зразки проходили відпал у тотожних умовах при температурах від 900 до 1200 °C протягом 2 год. Від кожної $T_{\text{відп}}$ зразки охолоджували до 300 К із застосуванням двох швидкостей ($\nu_1 = 1$ °C/хв і $\nu_2 = 15$ °C/хв). До проведення зазначених термовідпалів ТЛ і ЗВ кристали *n*-Si <P> проходили технологічний відпал (800 °C; 2 год) (надалі ці кристали називатимемо «вихідними»).

На всіх вихідних (ТЛ і ЗВ) зразках, а надалі і відпалених за вказаною програмою, методом ефекту Холла отримано температурні залежності концентрації носіїв заряду (в інтервалі $77 \leq T \leq 500$ К). Вимірювання питомої електропровідності дали можливість визначити рухливість носіїв заряду. Тензоопір вимірювали за температури рідкого азоту. Для направленої деформації кристала використовували пружне механічне напруження стиснення $0 \leq X \leq 1,1$ ГПа ($\vec{X} \parallel \vec{j} \parallel [001]$, $\vec{j}$ – струм).

З експериментальних залежностей $n^* = f(10^3/T)$ отримано, що у вихідних ТЛ кристалах Si (на відміну від ЗВ) є глибокі донорні рівні, іонізація яких відбувається лише поблизу переходу до власної провідності. Ці рівні проявляються також і в експериментах із тензоопору, визначаючи відхилення функції $\rho_X/\rho_0 = f(X)$ від насичення в тій області значень X , де (за відсутності глибоких рівнів) ця функція насичується.

Відсутність насичення залежності тензоопору в ТЛ кристалах Si (вихідних і підданих термообробці за різних температур відпалу), що охолоджуються від $T_{\text{відп}}$ зі швидкістю ν_1 , пов'язана з деяким зменшенням енергії іонізації не повністю іонізованих (при 77 К) донорних центрів зі збільшенням механічного напруження, яке забезпечує підвищення загальної концентрації носіїв заряду в зоні провідності.

У ТЛ кристалах Si швидкість охолодження ν_2 (на відміну від ν_1) при температурах відпалу менше 1100 °C приводить до видалення глибоких рівнів. У ЗВ кристалах Si, за аналогічних температур відпалу, швидкість охолодження ν_2 призводить лише до

незначної зміни концентрації носіїв у зоні провідності та деякої зміни умов їхнього розсіяння. Однак у разі відпалу при температурі $T_{\text{відп}}^{\text{max}}$ 3В кристалів Si, подібно до випадку ТЛ кристалів Si, швидкість охолодження ν_2 призводить до появи в об'ємі кристалів глибоких донорних рівнів. Виявлено, що швидкість охолодження ν_1 не призводить до появи глибоких рівнів в об'ємі кристалів.

Залежності концентрацій носіїв заряду від температур відпалу $n^* = f(T_{\text{відп}})$, як для ТЛ, так і для 3В кристалів Si, характеризуються наявністю максимуму, що проявляється в області $T_{\text{відп}} \approx 1050\text{--}1100\text{ }^\circ\text{C}$ за обох швидкостей охолодження. Таке зростання концентрацій слід, імовірно, розглядати як прояв високотемпературних термодонорів, на існування яких вказувалося в [2]. Виявлено, що такі термодонори підвищують концентрацію носіїв заряду в 1,3–1,7 раза порівняно з вихідною.

Як показав експеримент, у всіх кристалах, за винятком охолоджуваних зі швидкістю ν_2 від $T_{\text{відп}}^{\text{max}}$, рухливості носіїв заряду залежно від температур відпалу $\mu = f(T_{\text{відп}})$ залишаються практично незмінними або виявляють слабку тенденцію до зниження. Цей факт свідчить про те, що за максимально високих значень $T_{\text{відп}}^{\text{max}}$ поряд із термодонорами можуть виникати й акцепторні центри, які забезпечують видалення електронів із зони провідності при одночасному зниженні рухливості носіїв, які залишаються в зоні провідності.

[1] Gaidar G.P., Baranskii P.I. Thermoelectric properties of transmutation doped silicon crystals. *Physica B*. Vol. 441. (2014). P. 80–88.

[2] Capper P., Jones A.W., Wallhouse E.J., Wilkes J.G. The effects of heat treatment on dislocation-free oxygen-containing silicon crystals. *J. Appl. Phys.* Vol. 48, No. 4. (1977). P. 1646–1655.

FEATURES OF THE MANIFESTATION OF THE HALL EFFECT AND TENSORESISTANCE OF TRANSMUTATION-DOPED Si CRYSTALS UNDER DIFFERENT HEAT TREATMENT REGIMES

G. Gaidar

*Institute for Nuclear Research of the NAS of Ukraine
gaidar@kinr.kiev.ua*

The features of the manifestation of the Hall effect and tensorresistance in *n*-Si crystals transmutation-doped and doped with phosphorus impurity through the melt were investigated under various heat treatment regimes. It was established that annealing of silicon crystals at temperatures of 1050–1100 °C, regardless of the doping method, leads to an increase in the concentration of charge carriers compared to the initial one due to the appearance of the high-temperature thermal donors (in a result of the indicated annealing).

It was found that the rate ν_2 upon cooling from annealing temperatures not exceeding 1100 °C, leads to the removal of deep donor levels characteristic of transmutation-doped silicon crystals, while the same cooling rate from an annealing temperature of 1200 °C leads to the generation of deep centers in all studied crystals, regardless of the method of doping. It was shown that in the latter case the dependences of the tensorresistance pass through a maximum, which confirms the done conclusion about the generation of deep centers.

ВОЛЬТАМПЕРНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДВІЙНОГО БАР'ЄРУ ШОТТКИ У ВИПАДКУ НАДБАР'ЄРНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ ЕМІСІЇ

О. Івон

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
a11_vel93@i.ua

Висока нелінійність вольтамперної характеристики (ВАХ) варисторної кераміки зв'язана з міжзеренними енергетичними подвійними бар'єрами Шоттки. На даний час для пояснення нелінійності ВАХ такої кераміки використовуються три механізми відхилення від закону Ома: надбар'єрна електронна емісія [1], тунельна електронна емісія [2] і лавинний пробій (ударна іонізація) [3].

Метою даної роботи є аналіз ВАХ подвійного бар'єру Шоттки на підставі механізму надбар'єрної електронної емісії.

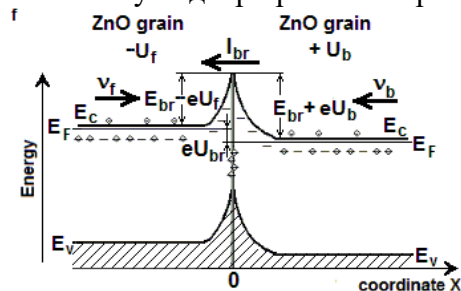


Рис. 1. Енергетична діаграма подвійного бар'єру Шоттки, до якого прикладена напруга U

На рис. 1 наведена енергетична діаграма подвійного бар'єру Шоттки в області контакту зерен, до якого прикладена напруга $U = U_b - U_f$. Тут U_f – потенціал зерна в приповерхневій частині якого локалізована частина подвійного бар'єру Шоттки зміщена у прямому напрямку, U_b – потенціал зерна в якому друга частина бар'єру, зміщена у зворотному напрямку. Струм через бар'єр I_{br} визначається різницею дифузійних струмів створених потоками електронів v_f і v_b , що надходять з об'єму зерен кераміки. З урахуванням висот зворотно зміщеного $E_{br} + eU_b$ і прямо зміщеного $E_{br} - eU_f$ бар'єрів Шоттки можна показати, що густина струму J , який протікає через бар'єр визначається як

$$J = J_s \exp\left(\frac{eU_f}{k_B T}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{eU}{k_B T}\right)\right), \quad (1)$$

де e – заряд електрону; k_B – стала Больцмана; T – абсолютна температура; J_s густина електричного струму, що визначається співвідношенням

$$J_s = \frac{1}{4} en \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} \exp\left(-\frac{E_{br}}{k_B T}\right), \quad (2)$$

де n – концентрація електронів в зерні; m – ефективна маса електрона; E_{br} – висота подвійного бар'єру в області контакту зерен.

З урахуванням того, що на діаграмі (рис. 1) потенціал поверхні контактуючих зерен дорівнює нулю, на підставі принципу детальної рівноваги, можна знайти зв'язок між напругами U_b і U_f . Згідно цього принципу напруга, прикладена до подвійного бар'єру Шоттки, не змінює суму дифузійних потоків електронів що перетинають бар'єр в обох напрямках. Напруга U просто перерозподіляє потоки електронів, що перетинають прямо і зворотно зміщені частини бар'єру. Тому з урахуванням статистики Больцмана, згідно принципу детальної рівноваги, можна отримати наступне рівняння:

$$2 = \exp\left(\frac{eU_f}{k_B T}\right) + \exp\left(-\frac{eU_b}{k_B T}\right) \quad (3)$$

Приймаючи до уваги (3) і $U = U_f + U_b$ на підставі співвідношення (1) можна отримати наступне рівняння для ВАХ подвійного бар'єру Шоттки:

$$J = 2J_s \frac{1 - \exp\left(-\frac{eU}{k_B T}\right)}{1 + \exp\left(-\frac{eU}{k_B T}\right)} \quad (4)$$

На рис. 2, згідно (4), наведено графік ВАХ подвійного бар'єру Шоттки у випадку коли механізм нелінійності обумовлений надбар'єрною електронною емісією.

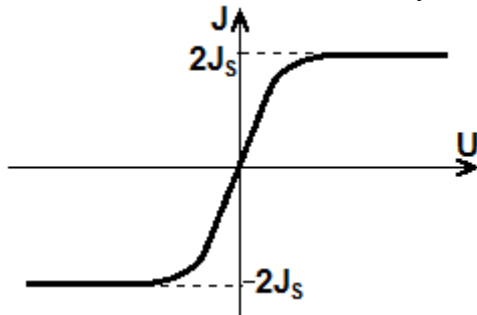


Рис. 2. Вольтамперна характеристика подвійного бар'єру Шоттки у випадку надбар'єрної електронної емісії

Як можна бачити, механізм надбар'єрної електронної емісії не дозволяє пояснити високу нелінійність ВАХ варисторної кераміки зниженням у електричному полі висоти межзеренного бар'єру. Максимальне зниження висоти подвійного бар'єру Шоттки eU_{fmax} , можна оцінити на підставі (4) при $U \rightarrow \infty$. В цьому випадку через бар'єр протікає струм $J = 2J_s$. Зворотно зміщена частина подвійного бар'єру Шоттки перехоплює практично всю напругу, прикладену до бар'єру, тобто $U_b \approx U \rightarrow \infty$, а струм $J = 2J_s$ забезпечує тільки прямо зміщена частина бар'єру. У цьому випадку з (3) впливає

наступне співвідношення для максимального зниження висоти подвійного бар'єру Шоттки:

$$eU_{fmax} = \ln 2(k_B T) \approx 0,7k_B T. \quad (5)$$

Це зниження при кімнатній температурі складає біля 0,018 еВ.

Таким чином, зниження висоти межзеренного енергетичного бар'єру в електричному полі, тобто механізм нелінійності, зв'язаний з надбар'єрною емісією електронів не може бути причиною високої нелінійності ВАХ варисторних керамічних матеріалів. Найбільш ймовірні причини – тунельна емісія електронів і ударна іонізація.

- [1] Glot A.B. A model of non-Ohmic conduction in ZnO varistors/ J. Materials Science: Materials of Electronics. Vol. 17. (2006) P. 755-765.
- [2] Eda R. Conduction mechanism of non-Ohmic zinc oxide ceramics. J. Applied Physics. Vol. 49. (1978). P. 2964-2972.
- [3] Pike G.E. and others. Electroluminescence in ZnO varistors: Evidence for hole contributions to the breakdown mechanism. J. Applied Physics. Vol.57. (1985). P. 5512-5518.

VOLT-AMPERE CHARACTERISTIC OF THE DOUBLE SCHOTTKY BARRIER IN THE CASE OF THE ABOVE-BARRIER ELECTRONIC EMISSION

A. Ivon

*Oles Honchar Dnipro National University
aii_vel93@i.ua*

An expression for the volt-ampere characteristic of the double Schottky barrier in the case when barrier current is determined by the above-barrier electronic emission is obtained. It is shown that high nonlinearity of the varistor ceramics volt-ampere characteristic cannot be explained by decrease of the intergranular barriers height in electric field. The most probable mechanisms of nonlinearity are tunnel emission of electrons and impact ionization.

МЕХАНІЗМИ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ТОНКИХ ПРИПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ НАПІВПРОВІДНИКІВ

П. Генцарь, А. Міняйло, Д. Пекур, О. Власенко

*Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкар'ова НАН України
rastneg@isp.kiev.ua, demid.pekur@gmail.com*

Отримані до теперішнього часу результати досліджень можливостей лазерної обробки тонких приповерхневих шарів металів, напівпровідників та діелектриків свідчать про перспективність застосування лазерної обробки і вказують на необхідність дальніших досліджень для виявлення і вивчення закономірностей і особливостей дії лазерного випромінювання з різними характеристиками на функціональні матеріали електронної техніки. Вивчення механізмів лазерного опромінення є важливим для дальнішого прогресу лазерної техніки. Існують механізми термічної і нетермічної природи (ударний, фотохімічний та плазмовий механізми лазерної обробки). Термічний механізм лазерної обробки в більшості випадків є основним механізмом дії лазерного випромінювання[1]. Виконано багато розрахунків профілю температури в зоні дії променя лазера (оптично-квантового генератора (ОКГ)) і його часових залежностей для різних напівпровідникових матеріалів з різними фізичними параметрами при різних режимах роботи ОКГ. Труднощі, які виникають при теоретичних розрахунках, а саме врахування зміни констант теплопровідності досліджуваного матеріалу в часі, нетермічних механізмів рекомбінації нерівноважних носіїв заряду і т.д. говорять про те, що доцільно проводити дальніші дослідження дії лазера на тонкі приповерхневі шари матеріалів.

До механізмів нетермічної природи відносять наступні:

1. Іонізаційний механізм - іонізація та зміна зарядового стану дефектів напівпровідникової підкладки під дією імпульсу ОКГ приводить до відпалу радіаційних дефектів та їх комплексів.

2. Механізм безвипромінювальної рекомбінації – вплив Оже-процесів, в тому числі поверхневої Оже-рекомбінації.

3. Механізм випромінювальної рекомбінації – перебудова ділянок напівпровідникових структур, які не підлягають безпосередньо дії випромінювання лазера, але розміщених на віддаль, які знаходяться в зоні розповсюдження рекомбінаційного випромінювання.

4. Механізм ударної хвилі – виникає в структурі під дією потужних світлових імпульсів, при цьому знакозмінні поля механічних напружень приводять до виникнення вакансій, які володіють високою рухливістю, що сприяє дифузії домішкових (міжвузлових) атомів в сторону деформацій (ефект переміщення міжвузлових і домішкових атомів отримав назву гетерування); методи лазерного гетерування дозволяють уникати додаткових дефектів кристала і створювати необхідну конфігурацію деформаційного поля (локальні ділянки).

Проведено оптичні дослідження спектрів відбивання монокристалів n-Si(100) із питомим опором $\rho = 5 \text{ Ом}\cdot\text{см}$; n-GaAs із питомим опором $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$; CdTe(111) із питомим опором $\rho = (2\div 5)\cdot 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{см}$; твердих розчинів $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x=0,1$) із питомим опором $\rho = (0,5\div 3)\cdot 10^{10} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ в діапазоні $(0,2 - 1,7)\cdot 10^{-6} \text{ м}$ до та після лазерного опромінення в інтервалі енергій $66 - 108 \text{ мДж/см}^2$ для n-Si(100) та n-GaAs(100), в

інтервалі енергій 66 – 164 мДж/см² для CdTe(111), в інтервалі енергій 46,6 мДж/см²-163,5 мДж/см² для твердих розчинів Cd_{1-x}Zn_xTe (x=0,1). Експериментально показано збільшення відбиваючої здатності монокристалів n-Si(100), n-GaAs(100), p-CdTe(111) та твердих розчинів Cd_{1-x}Zn_xTe (x=0,1) при даній лазерній обробці. Цей інтегральний ефект пояснюється відмінностями оптичних характеристик приповерхневого шару та об'єму матеріалу (комплексний показник заломлення приповерхневого шару $\tilde{n}_s = n_s + i\chi_s$ відрізняється від комплексного показника заломлення об'єму матеріалу $\tilde{n}_v = n_v + i\chi_v$).

Отримані спектри відбивання зразків свідчать, що при опроміненні відбувається лазерно-стимульована взаємодія домішок і дефектів, що приводить до утворення нейтральних комплексів та зменшення інтенсивності процесів домішкового розсіювання.

Експериментальні дослідження показали, що основним механізмом впливу імпульсного лазерного опромінення на оптичні властивості тонких приповерхневих шарів досліджених кристалів є структурне гетерування, тобто поглинання, обумовлене наявністю ділянок напівпровідників, що мають дефектну структуру і володіють здатністю активно поглинати точкові дефекти і зв'язувати домішки. В кремнії роль гетера виконують поверхневі шари SiO_x, SiO₂, Si₃N₄, SiO_{2-x}P, SiC та інші, в арсеніді галію – Ga₂O₃, As₂O₅ та інші, в монокристалах p-CdTe(111) та твердих розчинах Cd_{1-x}Zn_xTe (x=0,1) роль гетера виконують окисли кадмію, телуру, цинку та їх комплекси.

- [1] Генцарь П.О., Власенко О.І., Левицький С.М., Гнатюк В.А. Лазерно-стимульоване збільшення відбиваючої здатності напівпровідників. Фізика і хімія твердого тіла. Т. 15, № 4. (2014). С. 856-861.

MECHANISMS OF LASER PROCESSING OF THIN NEAR-SURFACE LAYERS OF SEMICONDUCTORS

P.O. Gentsar, A.M. Mynaylo, D.V. Pekur, O.I. Vlasenko

*V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics,
National Academy of Sciences of Ukraine
rastneg@isp.kiev.ua, demid.pekur@gmail.com*

In this work, optical studies of the reflection spectra of single crystals n-Si(100) with resistivity $\rho = 5 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$; n-GaAs with resistivity $\rho = 10 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$; CdTe(111) with resistivity $\rho = (2\div 5)\cdot 10^9 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$ were carried out; solid solutions of Cd_{1-x}Zn_xTe (x=0,1) with resistivity $\rho = (0,5\div 3)\cdot 10^{10} \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$ in the range $(0,2 - 1,7) \cdot 10^{-6} \text{ m}$ before and after laser irradiation in the energy range 66 - 108 mJ/cm² for n-Si(100) and n-GaAs(100), in the energy range of 66 – 164 mJ/cm² for CdTe(111), in the energy range of 46,6 mJ/cm²-163,5 mJ/cm² for solid solutions of Cd_{1-x}Zn_xTe (x = 0,1). The increase in the reflectivity of single crystals n-Si(100), n-GaAs(100), p-CdTe(111) and solid solutions of Cd_{1-x}Zn_xTe (x=0,1) under this laser treatment was experimentally shown. This integrated effect is explained by the differences in the optical characteristics of the surface layer and the material volume (the complex refractive index of the surface layer differs from the complex refractive index of the material volume).

СТРУКТУРНІ ТА СУБСТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛІВОК ZnO ЛЕГОВАНОГО ІНДІЄМ

М. Єрмаков, Р. Пшеничний, Ю. Шкиря, А. Опанасюк

*Сумський державний університет
m.yermakov@ekt.sumdu.edu.ua*

Оксид цинку (ZnO) вже довгий час привертає до себе увагу науковців через можливості його приладового використання. Ця зацікавленість обумовлена його унікальними фізичними властивостями. ZnO є прозорим напівпровідником *n*-типу провідності з гексагональною структурою, ширина забороненої зони якого становить 3,37 еВ, крім цього матеріал має велике значення енергії зв'язку екситонів (60 меВ) при кімнатній температурі. Також ZnO не містить в своєму складі токсичних речовин, що робить його екологічно безпечним. До переваг цього оксиду відносять також поширеність компонентів в земній корі та хімічну стійкість в атмосфері. В останні роки ZnO розглядають як дешевий аналог оксиду індію-олова (ITO), для цього проводять його легування такими металами як Fe, Mn, Ni, Al, Cu та In. Індій обумовлює високі значення електричних характеристик оксиду, тому навіть при малому вмісті цієї домішки в плівках значно покращуються їх електронно-оптичні показники.

Незважаючи на те, що одержання оксидів металів у вакуумі дозволяє наносити плівки з контрольованими характеристиками, цей метод є дорогим, потребує складного технологічного обладнання та не може бути застосованими для виробництва приладів гнучкої електроніки, сенсорики, геліоенергетики в умовах економії енергетичних ресурсів. Це зумовило необхідність розробки більш перспективних хімічних методів одержання наночастинок і плівок, що не потребують створення вакууму, є більш дешевими та можуть бути використані для нанесення шарів на гнучкі підкладки навіть в умовах обмеженої площі. Одним з таких методів є метод спреї-розпилення суспензії наночастинок необхідного матеріалу (наночорнил).

Для синтезу чорнил ZnO:In було використано метод поліольного синтезу в якому водні розчини солей ацетату цинку (0,01 моль) змішувалися з водними розчинами індію хлориду з мольною часткою солі індію 1, 2, 3 та 5 %. Далі до отриманої суміші додавали 10 мл етиленгліколю і витримували при температурі 160 °C протягом 60 хв. Отримані наночорнила наносилися за допомогою спреї методу на скляні підкладки з використанням аерографа з діаметром сопла 0,3 мм. Температура підкладки складала 60 °C, а відстань від стола до аерографа - 15 см. Для одержання високої якості плівок розпилення проводилося циклічно. Для отримання плівок ZnO:In було проведено 100 циклів, при цьому тривалість одного циклу дорівнювала 4 секунди (де 2 секунди пауза, та 2 секунди час розпилення). Структурні дослідження отриманих зразків були проведені на рентгенівському дифрактометрі ДРОН 4-07 у Ni-фільтрованому K_{α} випромінюванні мідного анода. Знімання проводилось в діапазоні кутів 2θ від 20 до 80°, де 2θ – брегівський кут. Фазовий аналіз здійснювався шляхом порівняння міжплощинних відстаней, а також відносної інтенсивності дифракційних ліній зразків з довідковими даними (картка JCPDS № 36-1451 (ZnO)).

На рис.1 наведені результати структурних досліджень плівок ZnO легуваних In рентгендифрактометричним методом. Згідно до отриманих результатів вторинних фаз у плівках з вмістом індію до 2% виявлено не було. Однак, вторинна фаза In₂O₃ починає з'являтися при збільшенні вмісту індію вище 3%.

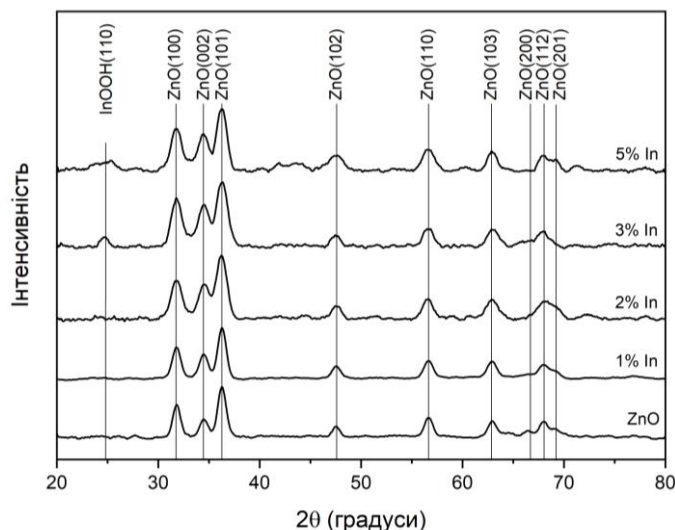


Рис. 1. Рентгенограми плівок ZnO легованих In з різним вмістом легуючої речовини

Дифрактометричні дані були використані нами для розрахунку сталих ґратки оксиду. Встановлено, що при збільшенні вмісту легуючої речовини відбувається збільшення значення сталої ґратки a від 0,3289 нм до 0,3304 нм. В свою чергу значення сталої ґратки c зменшується від 0,5072 нм до 0,5059 нм. На основі цих результатів було розраховано значення об'єму комірки сполуки ZnO:In, який збільшувався при збільшенні вмісту індію в прекурсорі від 0,0486 нм³ до 0,0489 нм³.

Результати розрахунку субструктурних характеристик плівок свідчать про зменшення розмірів областей когерентного розсіювання в напрямі [100] зі збільшення рівня індію в плівках від 9,5 нм до 7,0 нм. В свою чергу значення рівня мікродеформацій в зразках збільшується від $3,8 \cdot 10^{-3}$ до $5,2 \cdot 10^{-3}$ при збільшенні вмісту індію в одержаному матеріалі.

Отримані плівки ZnO:In можуть бути застосовані як перспективний матеріал для створення пристроїв оптоелектроніки, сенсорної техніки, елементів гнучкої електроніки, струмопровідних контактів сонячних елементів третього покоління тощо.

STRUCTURAL AND SUBSTRUCTURAL CHARACTERISTICS OF ZnO FILMS DOPED INDIUM

M. Yermakov, R. Pshenychnyi, Yu. Shkyria, A. Opanasyuk

*Sumy State University
m.yermakov@ekt.sumdu.edu.ua*

This article demonstrates the results of a study of the structural and substructural characteristics of indium-doped ZnO films. The method of polyol synthesis was used to create nano-inks. ZnO nano-inks with indium content of 1.0, 2.0, 3.0, and 5.0% were created. Application of the obtained nano-inks was carried out using the spray method. When analyzing the results of an X-ray diffractometer, the absence of secondary phases was found in samples with an indium content of 2% inclusive. With a further increase in the indium content, the secondary InOOH phase appears. Also, based on diffractometric data, lattice constants, sizes of coherent scattering regions, and the level of micro deformations were calculated.

КОНЦЕНТРАЦІЯ ВУЗЛОВИХ ІОНІВ Mn^{2+} В НАНОКРИСТАЛАХ $ZnO:Mn$

О. Коваленко, В. Воровський, М. Буланий

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
kovalenko.dnu@gmail.com

Розбавлені магнітні напівпровідники знаходяться у центрі уваги у зв'язку з можливістю їх використання у приладах спінтроники. Одним із перспективних таких матеріалів є оксид цинку легований марганцем ($ZnO:Mn$). Атом Mn має 5 неспарених електронів на 3d орбіті, що обумовлює його високу ефективність при магнітній взаємодії. Крім цього, іонний радіус Mn^{2+} не надто відрізняється від Zn^{2+} , що дозволяє досягти велику розчинність при легуванні ZnO. Тому із збільшенням концентрації іонів Mn^{2+} у вузлах кристалічної ґратки (КГ) ZnO пов'язували досягнення високих магнітних характеристик нанокристалів (НК) $ZnO:Mn$. Але дослідження показали, що існує критичне значення концентрації Mn (2 ат.%), при якій НК $ZnO:Mn$, не залежно від методу синтезу, мають максимальне значення намагніченості. При цьому було встановлено, що іони Mn^{2+} , які знаходяться у вузлах КГ ZnO не приймають участі у формуванні феромагнітних властивостей (ФВ). У відповідності до теоретичної моделі зв'язаних магнітних поляронів магнітними є іони Mn^{2+} , які розташовані між вузлами КГ – між вузлові іони Mn^{2+} . Саме від концентрації таких іонів залежать ФВ зразків НК $ZnO:Mn$. Частина між вузлових іонів Mn^{2+} є магнітно зв'язаними та приймають участь у формуванні ФВ, а інша частина є вільними, вони обумовлюють парамагнітні властивості зразків. Для інтерпретації експериментальних результатів важливо знати як кількісний склад іонів Mn^{2+} розташованих у КГ ZnO, так і його зміну під час термічної обробки зразків. Також інформація про кількість вузлових іонів Mn^{2+} говорить про ефективність процесу легування домішкою Mn під час синтезу НК $ZnO:Mn$. Одним із методів визначення концентрації вузлових іонів Mn^{2+} в ZnO є метод ЕПР.

У роботі приведені результати оцінки методом ЕПР концентрації вузлових іонів Mn^{2+} у НК $ZnO:Mn$ із концентрації Mn 2 ат.%, синтезованих методом ультразвукового піролізу аерозолі [1]. Досліджувались синтезовані зразки, а також зразки після відпалу на повітрі при $T = 550^\circ C$ та $T = 850^\circ C$ на протязі 20 хв. та зразок після відпалу при $T = 850^\circ C$ на протязі 1 год. У якості еталону використовувався зразок $CuSO_4$ масою 1 мг. Спектри ЕПР усіх зразків реєструвались при одному коефіцієнті підсилення ($K = 1,6 \times 10^4$)

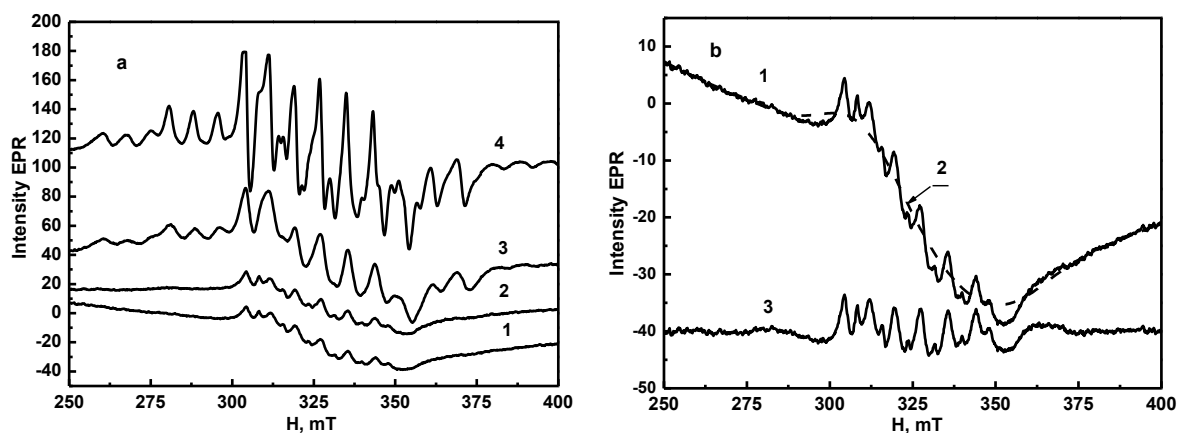


Рис.1 Спектри ЕПР зразків НК $ZnO:Mn$ -2ат.%. (а): 1 – синтезований; 2 – після відпалу $T = 550^\circ C$; 3 – після відпалу $T = 850^\circ C$ (20хв.); 4 – після відпалу $T = 850^\circ C$ (1 год.). Спектр ЕПР синтезованого зразку (б): 1- експериментальна лінія; 2 – усереднена лінія; 3 – відокремлення лінії (2) від лінії (1).

та були нормовані по масі у відношенні до 1мг речовини (рис.1). Розрахунок концентрації вузлових іонів Mn^{2+} , у випадку коли зразки були нормовані по масі, а їх спектри реєструвались при ідентичних режимах, проводився згідно формули:

$$N_0 = N_e S_{zp}/S_e; \quad (1)$$

де, N_e – концентрація іонів Mn^{2+} у еталонному зразку $CuSO_4$ масою 1 мг ($N_e = 2,4 \cdot 10^{18} \text{ 1/мг}$); S_{zp} та S_e – площі інтегральних ліній спектру ЕПР зразка та еталону у відносних одиницях на 1 мг речовини.

Розрахунок показав, що інтегральна площа лінії спектру ЕПР еталонного зразку $CuSO_4$ масою 1 мг $S_e = 458384$ відн. од. Розрахунок площі інтегральних ліній зразків ускладнюється тим, що їх спектри ЕПР є асиметричними (рис.1). В області значень магнітного поля $H = 325 \text{ мТ}$ спектри ЕПР складаються із надтонкої структури (НТС), яка пов'язана з іонами Mn^{2+} розташованими в узлах КГ ZnO , та широкої лінії поглинання, яка обумовлена наявністю різних дефектів з некомпенсованими спінами електронів, а також близько розташованих іонів Mn^{2+} , які як диполі взаємодіють між собою. Тому для виділення ліній НТС із спектрів проводилась операція відокремлення від експериментальної лінії (1) лінії усереднення (2) та отримання при цьому залишкової лінії (3) - рис.1 б. Результати розрахунків наведено в табл.1.

Таблиця 1. Концентрація вузлових іонів Mn^{2+} в нанокристалах $ZnO:Mn\text{-}2\text{ат.}\%$.

№ п/п	Тип зразку	S_{zp} , відн.од./мг	N_0 , 1/г	N_0/N_{Mn} , %
1	Синтезований	42,3	$2,2 \times 10^{17}$	0,15
2	Відпал 550°C , 20 хв.	68,1	$3,6 \times 10^{17}$	0,24
3	Відпал 850°C , 20хв.	676,5	$3,5 \times 10^{18}$	2,3
4	Відпал 850°C , 1 год.	1607,5	$8,4 \times 10^{18}$	5,6

Отримані результати свідчать про досить низький рівень легування домішкою Mn під час синтезу НК $ZnO:Mn$ методом ультразвукового піролізу аерозолу. У порівнянні із загальною концентрацією іонів Mn^{2+} ($N_{Mn} = 1,49 \times 10^{20} \text{ 1/г}$) концентрація вузлових іонів Mn^{2+} у синтезованому зразку складає 0.15%. Під час відпалу ця концентрація збільшується, але навіть після відпалу при $T = 850^\circ\text{C}$ на протязі 1 год. вона не перевищує 5,6%..

[1] Kovalenko O.V., Vorovsky V.Yu., O.V.Khmelenko O.V. The effect of heat treatment on the magnetic properties of $ZnO:Mn$ nanocrystals obtained by ultrasonic aerosol pyrolysis. J. Functional Materials, 27, 4, (2020), P. 687-694.

CONCENTRATION OF NODAL Mn^{2+} IONS IN $ZnO:Mn$ NANOCRYSTALS

A. Kovalenko, V. Vorovsky, M. Bulanyi

Oles Honchar Dnipro National University

kovalenko.dnu@gmail.com

The paper presents the results of calculating the concentration of Mn^{2+} nodal ions in $ZnO:Mn\text{-}2\text{at.}\%$ nanocrystals synthesized by ultrasonic aerosol pyrolysis. The results obtained indicate a rather low level of doping with the Mn impurity during the synthesis of the samples. In the synthesized samples, it is 0.15% of the total amount of Mn^{2+} ions and increases to 5.6% after the samples are annealed in air at $T = 850^\circ\text{C}$ for 1 hour.

ЗАСТОСУВАННЯ САМОВІДНОВЛЮВАНИХ ЗАПОБІЖНИКІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ФОТОЕЛЕМЕНТІВ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

О. Іванченко, П. Лисицин

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

IvanchenkoAV@ukr.net

Сонячні батареї є одним з найбільш перспективних відновлюваних джерел електроенергії, а отже, зростають вимоги до їх надійності. Вони складаються з десятків і сотень тисяч окремих напівпровідникових фотоелектричних елементів, з'єднаних паралельно-послідовно з метою забезпечення необхідних номіналів струму та напруги.

Створення та використання надійних комутаційних приладів для запобігання електричним перенапругам, струмовим перевантаженням, появи локальних перегрівів, блокуванню дефектних та пошкоджених фотоелектричних елементів, які в найбільш істотній мірі призводять до їх деградації, а іноді і до нештатних (пожежонебезпечних) ситуацій, розглядається як перспективний шлях підвищення надійності та ефективності експлуатації сонячних електростанцій.

Фізичними причинами таких ситуацій можуть бути пошкодження корозією у процесі експлуатації складових їх елементів, “приховані” виробничі дефекти, несправні блокуючі і обвідні діоди або результати деградації ізоляції під дією навколишнього середовища або утворення шунтів через зворотне зміщення фотоелектричних елементів, що викликано затіненням модулів або окремих елементів сонячної батареї в процесі її експлуатації.

Слід зазначити, що в даний час розробки методів і засобів запобігання електричним перевантаженням, що призводять до відмов і появи локальних перегрівів (“гарячих плям”) в фотоелектричних елементах сонячних батарей, приділяється значна увага. Зокрема, відомі такі рішення цієї задачі як використання фотоелектричних елементів з низькими напругами зворотного пробою; включення в фотоелектричні системи додаткових елементів – обвідних діодів і активних обвідних перемикачів; методи і технічні засоби, засновані на виявленні “гарячої точки” на основі вимірів електричних параметрів сонячних панелей в поєднанні з активним захистом за способом розімкнутого контуру. Тим не менш, вони не є універсальними та мають недоліки.

Одним з перспективних напрямків вирішення даної задачі є застосування для ізоляції неактивних (затінених або несправних) фотоелектричних елементів, менш дорогих засобів функціональної електроніки, зокрема, нових самовідновлюваних запобіжників типу “PolySwitch”, які набули широкого поширення [1, 2]. Ці елементи електричного і теплового захисту знайшли вже застосування в акумуляторах і гальванічних джерелах живлення. Відмінною властивістю таких запобіжників є різке зростання опору при нагріванні їх до температур, близьких до температури фазового переходу в поліетилені, яку називають температурою спрацьовування.

Досліджено електричні властивості двошарової структури, що представляє собою фотоелектричний монокристалічний кремнієвий елемент з додатковим шаром позисторного полімерного нанокompозиту з вуглецевим наповнювачем, які знаходяться в тепловому контакті, з метою оцінки можливості обмеження електричної напруги, що прикладається до затіненого або пошкодженого фотоелектричного елемента.

Показана можливість реалізації способу захисту від локальних перегрівів таких пристроїв, які засновані на спрацьовуванні при підвищенні температури розподіленого самовідновлюваного запобіжника, що безпосередньо контактує з поверхнею фотоелектричного елемента. Введення самовідновлюваних запобіжників в електричну

схему моделі сонячної батареї не впливає на її функціональні електричні характеристики у разі справності всіх її напівпровідникових фотоелектричних компонентів. За наявності перегріву, тобто коли одне з кіл фотоелектричний елемент – самовідновлюваний запобіжник має температуру близьку до точки переходу вказаного запобіжника в низькопровідний (ізолюючий) стан коло відключається. Цей стан може досягатися також за рахунок збільшення температури зазначеного блоку внаслідок підігріву його електричним струмом. Однак цей захист не є ефективним для обмеження постійної напруги та захисту від тривалої електричної перенапруги в електричних колах, що містять напівпровідникові фотоелектричні елементи.

У цих випадках доцільним є використання додаткового варисторного шару у зазначеній конструкції. Отримані характеристики свідчать про те, що такий функціональний пристрій має нові технічно важливі властивості. Встановлено, що вихідна напруга структури обмежується, починаючи з досягнення температури цієї структури значення близького до температури фазового переходу. Розігрів відбувається за рахунок варисторного шару, оскільки він починає нагріватися через збільшення струму, що протікає через нього, при прикладанні напруги вище допустимого значення. Після цього вихідна напруга практично не змінюється зі збільшенням вхідної напруги. Цей результат свідчить про придатність запропонованої структури для використання в якості обмежувача перенапруги. Цього не можуть забезпечити звичайні варистори та розрядники, які застосовуються, як правило, тільки для захисту електричних кіл від імпульсної перенапруги.

Результати проведених досліджень дозволяють зробити висновок, що аналізовані елементи захисту на основі полімерних композитів з нановуглецевими наповнювачами функціонують як багаторазові запобіжники, які не потребують заміни і забезпечують роботу сонячних батарей у робочому діапазоні температур, захищають їх від струмового і теплового перенавантаження, а також у разі комбінованого застосування з варисторним шаром можуть бути використані і для захисту від тривалої електричної перенапруги.

- [1] Ivanchenko A.V., Tonkoshkur A.S., Mazurik S.V. Application of “PolySwitch” fuses for the limitation of current overloads in photovoltaic systems of solar arrays. *Journal of Physics and Electronics*. Vol. 26. No. 1. (2018). P. 77–82.
- [2] Tonkoshkur A.S., Ivanchenko A.V. Electrical properties of structures based on varistor ceramics and polymer nanocomposites with carbon filler. *Journal of Advanced Dielectrics*. Vol. 09. No. 03. (2019). P. 1950023.1–1950023.6.

APPLICATION OF RESETTABLE FUSES FOR THE PROTECTION OF SEMICONDUCTOR PHOTOCELLS OF SOLAR ARRAYS

A. Ivanchenko, P. Lysytsyn

*Oles Honchar Dnipro National University
IvanchenkoAV@ukr.net*

The possibility of implementing a method of protection against local overheating, which is based on the operation of a distributed resettable fuse in direct contact with the surface of the semiconductor photocell, when the temperature rises, has been analyzed.

The use of additional varistor layer in this design is promising for limiting DC voltage or protecting electrical circuits from long-term electrical overvoltage. The characteristics obtained indicate that such a functional device has new technically important properties.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДІОДІВ ШОТТКІ ГРАФЕН/*p*-CdTe

**М. Ілащук, І. Орлецький, І. Козярьський, Е. Майструк,
Я. Мицканюк, В. Дроздик**

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
i.kozziarskyi@chnu.edu.ua*

Графен – двохвимірний матеріал, унікальні фізико-хімічні властивості якого зумовлені кристалічною структурою і π -елекtrонами атомів вуглецю, є об'єктом наукових досліджень та практичного використання в багатьох галузях напівпровідникової електроніки. Особливу увагу приділяють використанню графену у бар'єрних структурах різного типу. Графен застосовується як прозорі фронтальні та тилові контакти у фотофольтаїчних приладах, у польових транзисторах з графеновим каналом, у фотоелектронних датчиках.

В даній роботі досліджено вплив тривалості нанесення плівок графену на електричні властивості діодів Шотткі графен/*p*-CdTe.

Підкладинки для виготовлення структур були отримані сколюванням з кристалічних злитків нелегованого *p*-CdTe, вирощеного вертикальним методом Бріджмена за невисокого тиску парів кадмію в ампулі. При $T = 300$ К їх питомі електропровідність становила $\sigma = 3 \cdot 10^{-3}$ Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$, концентрація та рухливість дірок $p = 3.5 \cdot 10^{14}$ см $^{-3}$ і $\mu_H = 56.0$ см 2 ·В $^{-1}$ ·с $^{-1}$, відповідно.

Випрямляючі діоди Шотткі графен/*p*-CdTe отримані методом механічного відшарування графіту до декількашарового графену у водному розчині полівінілпіролідону PVP (C $_6$ H $_9$ NO) $_n$. Кристали графіту диспергували у PVP з концентрацією 3 мг/мл з утворенням 500 мл дисперсії графіту (15 мг/мл). Процес відлущування графіту до графену відбувався внаслідок дії механічного блендера, швидкість обертів якого становила 8500-9000 об/хв. Подальше розділення рідкої та твердої фракцій суміші проводили з використанням центрифуги. Отриманий осад розбавляли етиловим спиртом і наносили на очищені підкладки *p*-CdTe при $T_S = 523$ К за допомогою пневматичного пульверизатора. Для різних структур графен/*p*-CdTe процес розпорошування суміші тривав $t_1 = 5$ хв, $t_2 = 10$ хв і $t_3 = 15$ хв.

Утворення шарів графену підтверджено дослідженням спектрів комбінаційного розсіювання в діапазоні частот 1000-3250 см $^{-1}$, які відповідають коливанням вуглецевих sp^2 -зв'язків. Інтенсивний пік 2D-смуги та її асиметричність свідчать про наявність графену на підкладах *p*-CdTe та його багатошаровість.

ВАХ досліджуваних структур графен/*p*-CdTe при прямих та зворотних напругах в інтервалі температур $T = 301 - 340$ К, незалежно від тривалості нанесення шарів графену на підкладинки телуриду кадмію, демонструють випрямляючі властивості. Характер залежностей $I = f(V)$, їх зміна в температурному діапазоні досліджень, а також основні параметри енергетичного бар'єра для діодів з різним значенням t суттєво відрізнялися. Визначена за аналізом бар'єрної ємності діодів Шотткі графен/*p*-CdTe величина контактної різниці потенціалів ϕ_k при температурі $T = 301$ К становила 0.8, 1.05 та 1.15 В для структур із тривалістю нанесення шарів графену $t_1 = 5$ хв, $t_2 = 10$ хв і $t_3 = 15$ хв, відповідно. Аналіз прямих гілок ВАХ діодів Шотткі графен/*p*-CdTe, які відрізняються тривалістю нанесення шарів графену, показав істотні відмінності значень послідовного опору R_S та характеру його температурної залежності. Значення величини $R_S \approx 1.4 \cdot 10^2$ Ом та енергетичного рівня $E_V + 0.05$ еВ, знайденого за температурною залежністю $\ln(R_S) = f(10^3/T)$ структури із тривалістю пульверизації $t_1 = 5$ хв, добре

співпадає з параметрами базового матеріалу CdTe. При збільшенні часу напилення плівки графена послідовний опір структур і, відповідно, глибина залягання енергетичного рівня у забороненій зоні напівпровідника, що визначає рівноважну провідність базового матеріалу, збільшується. Для структур, отриманих протягом часу $t_2 = 10$ хв та $t_3 = 15$ хв величина послідовного опору становила $R_S = 1.5 \cdot 10^3$ Ом і $R_S = 3.1 \cdot 10^3$ Ом, а енергія активації виявлених енергетичних рівнів – $E_V + 0.15$ еВ та $E_V + 0.28$ еВ, відповідно.

Встановлена динаміка зміни величини послідовного опору структур графен/*p*-CdTe та проявлення енергетичних рівнів в залежності від часу напилення шарів графену, добре корелює зі змінами електричних властивостей нелегованого CdTe діркової провідності, які проявляються при нагріванні кристалів в області низьких температур $T = 320 - 450$ К та мають релаксаційний характер.

Таким чином, відмінності ВАХ досліджуваних бар'єрів Шотткі графен/*p*-CdTe з різною тривалістю нанесення шарів графену, визначаються характером зміни електричних властивостей підкладинок при нагріванні в процесі виготовлення структур.

При невеликих прямих зміщеннях $3kT/q < V < 0.3$ В ВАХ структур, для яких $t_1 = 5$ хв, визначаються рекомбінацією носіїв заряду через глибокі рівні в зарядженій області *p*-CdTe. Для структур, отриманих протягом $t_2 = 10$ хв та $t_3 = 15$ хв, визначальними є процеси захоплення інжектованих із зони провідності графену електронів глибокими пастками, що підтверджується степеневу залежністю $I \sim V^m$ із $m = 1$. Встановлена відмінність механізмів струмопереносу пояснюється зміною положення рівня Фермі в зарядженій області *p*-CdTe, яка зумовлена вищим потенціальним бар'єром у структурах з $t_2 = 10$ хв та $t_3 = 15$ хв. При збільшенні напруги прямі струми у досліджуваних бар'єрах Шотткі графен/*p*-CdTe формуються електронами, які тунелюють із енергетичних станів валентної зони графену на незаповнені енергетичні стани валентної зони *p*-CdTe.

Основними процесами, які визначають величину зворотних струмів у досліджуваних поверхнево-бар'єрних структурах графен/*p*-CdTe є генерація та тунелювання носіїв заряду за участю енергетичних рівнів, що визначають рівноважну провідність базового матеріалу.

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE ELECTRICAL PROPERTIES OF GRAPHENE/*p*-CdTe SCHOTTKY DIODES

M. Ilashchuk, I. Orletskyi, I. Koziarskyi, E. Maistruk,

Y. Mytskanyuk, V. Drozdyk

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

i.koziarskyi@chnu.edu.ua

Graphene/*p*-CdTe Schottky diodes with diode properties have been obtained by the method of mechanical exfoliation of graphite to multilayer graphene in an aqueous solution of polyvinylpyrrolidone. Structures with different durations of graphene film deposition $t_1 = 5$ min, $t_2 = 10$ min, and $t_3 = 15$ min were studied. The formation of graphene layers is confirmed by the presence of an intense peak of the 2D band in the Raman scattering spectra in the frequency range of $1000-3250$ cm^{-1} . The dependence of the electrical properties of the studied graphene/*p*-CdTe surface-barrier structures on the duration of sputtering of graphene films is well explained by the thermally stimulated change in the equilibrium characteristics of the base material due to its heating during the manufacturing process.

ОПТИЧНА СПЕКТРОСКОПІЯ ВИСОКООМНИХ МОНОКРИСТАЛІВ CdTe(111) ТА ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ Cd_{1-x}Zn_xTe В ОБЛАСТІ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО ОПТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ E₀

П. Генцарь, А. Міняйло, Д. Пекур, О. Власенко

*Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкар'ова НАН України
rastneg@isp.kiev.ua, demid.pekur@gmail.com*

Останнім часом все більша увага приділяється технології вирощування високоомних кристалів CdTe та твердих розчинів на їх основі. Умови отримання матеріалу визначають склад і розподіл точкових дефектів, які суттєвим чином впливають на електронні процеси в матеріалі. Відомо, що CdTe використовується для виготовлення не охолоджуваних детекторів гамма випромінювання. Особливо перспективним у цьому відношенні виявився CdTe, легований хлором. Відомо також, що для виготовлення детекторів рентгенівського та гамма випромінювання використовуються тверді розчини Cd_{1-x}Zn_xTe (x=0,1). Однією із основних проблем при використанні напівпровідникових сполук типу A₂B₆, як базового матеріалу оптоелектроніки, є отримання однорідного по об'єму матеріалу.

Для покращення технологічних процесів отримання халькогенідних напівпровідникових матеріалів та твердих розчинів на їх основі потрібно провести ряд електричних та оптичних досліджень, для того щоб оцінити вплив відхилення від стехіометрії та легуючих домішок на параметри матеріалу. В результаті досліджень можна оцінити, а в подальшому і контролювати даними параметрами (покращення параметрів) в ході технологічного процесу.

В даній роботі, з метою отримання фізичних характеристик, як високоомних монокристалів CdTe орієнтації (111) з питомим опором $\rho = (2 \div 5) \cdot 10^9$ Ом·см легованих хлором, так і твердих розчинів Cd_{1-x}Zn_xTe (x=0,1) з питомим опором $\rho = (5 \div 30) \cdot 10^9$ Ом·см проведено дослідження спектрів відбивання і пропускання в діапазоні $(0,2 - 1,7) \cdot 10^{-6}$ м.

Виходячи із принципу невизначеностей Гейзенберга для енергії E і часу t ($\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$) релаксаційні ефекти в поглинанні світла кристалом описують параметром уширення

$\Gamma = \frac{\hbar}{\tau}$ (уширення Γ електронного переходу E₀ пов'язане з часом життя вільних носіїв

заряду через взаємодію їх з коливаннями ґратки, домішками, дефектами в тому числі і поверхневого характеру), де τ – час енергетичної релаксації фотогенерованих носіїв заряду. Дане співвідношення дозволяє оптичним методом оцінити значення τ для відповідних електронних станів. Кореляція між параметром уширення Γ і рухливостю носіїв заряду μ_{opt} наступна:

$$\Gamma = \frac{e\hbar}{m^* \mu_{opt}} \quad (1)$$

де m^* - ефективна маса вільних носіїв заряду

$$\frac{1}{m^*} = \frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_p}, \quad (2)$$

де m_e і m_p – ефективні маси електрона і дірки відповідно для даного оптичного переходу.

Нами побудовано залежності $\ln(I_0/I) = f(\lambda)$ досліджуваних матеріалів. Оскільки коефіцієнт відбивання $R = f(\lambda)$ пов'язаний із коефіцієнтом пропускання $T = f(\lambda)$ і

поглинанням $D = f(\lambda)$ співвідношенням $R+T+D=1$ (при цьому розсіювання світлової хвилі в досліджуваному зразку не враховується), то в даній роботі також побудовано спектри поглинання $D=1-(R+T)$ від довжини світлової (електромагнітної) хвилі λ . Побудовані оптичні спектри поглинання $D(\lambda) = [1-(R(\lambda)+T(\lambda))]= f(\lambda)$ вказаних матеріалів повністю корелюють із оптичними спектрами пропускання $T = f(\lambda)$ та відбивання $R = f(\lambda)$.

Нами розглянуто як прямі дозволені оптичні переходи так і прямі заборонені оптичні переходи, що характерно для напівпровідникових сполук A_2B_6 .

$$\alpha(E) = \alpha_0(E - E_0)^{1/2}, \quad (3)$$

$$\alpha(E) = \alpha'_0(E - E_0)^{3/2}, \quad (4)$$

$$\text{де } \alpha_0 = \left(2 \frac{m_e \cdot m_p}{m_e + m_p}\right)^{3/2} \frac{e^2}{4\pi^2 n \cdot c \cdot \hbar^2 \cdot m_e}, \text{ а } \alpha'_0 = \frac{2}{3} \frac{e^2 \left(\frac{m_e \cdot m_p}{m_e + m_p}\right)^{5/2}}{\pi n c \hbar m_e m_p \hbar^2 \omega^2}.$$

На основі викладених результатів по дослідженню спектрів відбивання та пропускання в діапазоні 0,2-1,7 мкм високоомних монокристалів CdTe орієнтації (111) з питомим опором $\rho = (2 \div 5) \cdot 10^9$ Ом·см легованих хлором, так і твердих розчинів $Cd_{1-x}Zn_xTe$ ($x=0,1$) з питомим опором $\rho = (5 \div 30) \cdot 10^9$ Ом·см отримано наступні результати:

- оцінено час енергетичної релаксації τ і оптичну рухливість μ_{opt} вільних носіїв заряду для високоомних монокристалів CdTe (111) та твердих розчинів $Cd_{1-x}Zn_xTe$;
- визначено, що енергія фундаментального оптичного переходу E_0 досліджуваних матеріалів при $T = 300$ К наступна: для CdTe - 1,44 еВ; а для $Cd_{1-x}Zn_xTe$ - 1,5 еВ;
- показано, що досліджувані кристали мають високу (детекторну) якість, що є визначальним для виготовлення високочутливих та високороздільних сенсорів іонізуючого випромінювання.

Практична цінність отриманих результатів полягає у визначенні електронних та фізичних параметрів технічно важливих напівпровідників CdTe і $Cd_{1-x}Zn_xTe$.

OPTICAL SPECTROSCOPY OF HIGH RESISTANCE CdTe(111) MONOCRYSTALS AND SOLID SOLUTIONS $Cd_{1-x}Zn_xTe$ IN THE AREA OF FUNDAMENTAL OPTICAL JUNCTION E_0

P. Gentsar, A. Mynaylo, D. Pekur, O. Vlasenko

V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics,

National Academy of Sciences of Ukraine

rastneg@isp.kiev.ua, demid.pekur@gmail.com

In this work, in order to obtain the physical characteristics of high-resistivity CdTe single crystals of (111) orientation with resistivity $\rho = (2 \div 5) \cdot 10^9$ Ohm·cm doped with chlorine and solid solutions of $Cd_{1-x}Zn_xTe$ ($x = 0.1$) with resistivity $\rho = (5 \div 30) \cdot 10^9$ Ohm·cm, the reflection and transmission spectra in the range $(0.2 - 1.7) \cdot 10^{-6}$ m were studied. The dependences $\ln(I_0/I) = f(\lambda)$ and $D(\lambda) = [1-(R(\lambda)+T(\lambda))]= f(\lambda)$ of the investigated materials are constructed. The energy relaxation time τ and optical mobility of free charge carriers were estimated. It is determined that the energy of the fundamental optical transition E_0 of the investigated materials at $T = 300$ K is as follows: for CdTe - 1.44 eV; and for $Cd_{1-x}Zn_xTe$ - 1.5 eV. It is shown that the investigated crystals have high (detector) quality, which is crucial for the manufacture of highly sensitive and high-resolution sensors of ionizing radiation.

ФІЗИЧНІ ПАРАМЕТРИ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ $\text{CuMoO}_4/n\text{-Si}$

І. Козярьський, Д. Козярьський, Е. Майструк,
Г. Андрущак, Е. Касс, П. Голохвастов

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
i.kozarskyi@chnu.edu.ua

Делафосит (CuMoO_4) разом з іншими мінералами своєї групи відомий широким спектром електричних властивостей. Провідність матеріалів даної групи може варіюватися від діелектричної до металевої. Наноккомпозити CuMoO_4 можуть застосовуватися для виготовлення електролюмінесцентних пристроїв, як фотокаталізатор.

Ця сполука також відноситься до прозорих провідних оксидів (ТСО) – це напівпровідники, які поєднують в одному матеріалі прозорість для видимого світла і високу електропровідність. Тонкі плівки ТСО використовуються як прозорі електроди у фотоелектричних елементах, плоских дисплеях і світлодіодах. Розвиток ТСО р-типу дасть нам можливості, які неможливо використовувати лише з матеріалами n-типу, такі як прозорий $p\text{-}n$ гетероперехід, діоди, транзистори. Оксиди делафоситу складають цікаве сімейство матеріалів, які можна використовувати для цієї мети. Вони мають напівпровідникові властивості р-типу та досить низьке оптичне поглинання видимого світла. Тому було цікаво виготовити гетероструктуру $p\text{-}\text{CuMoO}_4/n\text{-Si}$, методом радіочастотного магнетронного напылення.

Тонкі плівки CuMoO_4 (товщиною ~ 100 нм) отримані методом радіочастотного магнетронного напылення на скляних підкладках (для оптичних досліджень) і на плоскопаралельних пластинах $n\text{-Si}$ (для отримання гетероструктур). Для виготовлення мішені використовувалася стехіометрична суміш CuO і MoO_2 . Ця суміш пресувалася в спеціальний алюмінієвий стакан, форма якого підібрана так, щоб плазма не взаємодіяла з матеріалом стакану. Напылення проводили в універсальній вакуумній установці УВН-70, процес осадження проходив в атмосфері інертного газу аргону. Робоча частота магнетрона становила 13,56 МГц. Для отримання плівки без домішок використовували турбомолекулярний насос ТМН-500. Температура підкладки $T_s = 613$ К, напылення проводили 30 хв, при потужності магнетрона 180 Вт.

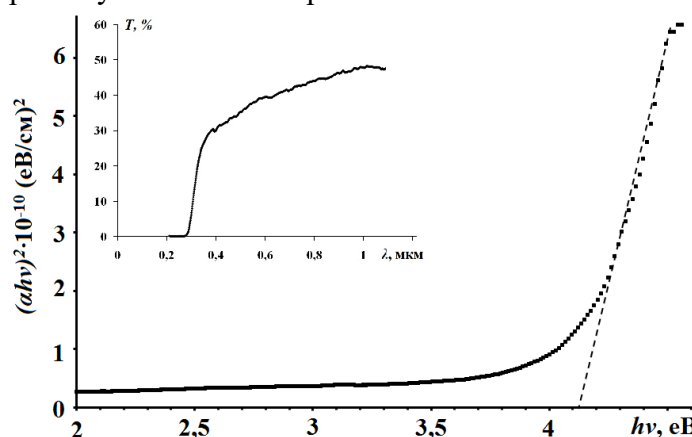


Рис. 1. Залежність $(\alpha h\nu)^2 = f(h\nu)$ тонких плівок CuMoO_4 (вкладка - $T = f(\lambda)$)

Для визначення оптичних коефіцієнтів, використовувався метод, що заснований на незалежному вимірюванні коефіцієнтів пропускання і відбивання. Залежність коефіцієнта пропускання від довжини хвилі наведено на Рис. 1 (вставка). Як видно зі рисунку для отриманих плівок $T \sim 30\text{-}40\%$ у видимій області.

На Рис. 1 наведено спектральну залежність $(\alpha h\nu)^2 = f(h\nu)$ для плівки CuMoO_4 . Присутність прямолінійної ділянки поблизу області власного краю поглинання на отриманих залежностях підтверджують факт, що процес поглинання світлових фотонів проходить за допомогою прямих оптичних переходів. Для досліджуваних плівок, шляхом екстраполяції, визначалась оптична ширина забороненої зони $E_g^{on} = 4,1$ еВ.

На основі, отриманих при різних температурах, ВАХ (Рис. 2) екстраполяцією прямолінійних ділянок прямих гілок оцінено значення висоти потенціального бар'єру і побудовано його температурну залежність (Рис. 2, вставка), із якої було визначено температурний коефіцієнт зміни висоти потенційного бар'єру та його значення при 0 К, які дорівнюють відповідно $d(q\phi_k)/dT = -1,9 \cdot 10^{-3}$ еВ/К та $q\phi_k(0 \text{ К}) = 0,75$ еВ.

Із Рис. 2 видно, що гетероструктура $p\text{-CuMoO}_4/n\text{-Si}$ володіє випрямляючими властивостями, коефіцієнт випрямлення $RR \approx 120$ для $|V| = 0,4$ В і $T = 294$ К. За нахилом температурної залежності $\ln(R_s) = f(10^3/T)$ визначено енергію активації носіїв заряду, яка становить $E_a = 0,25$ еВ.

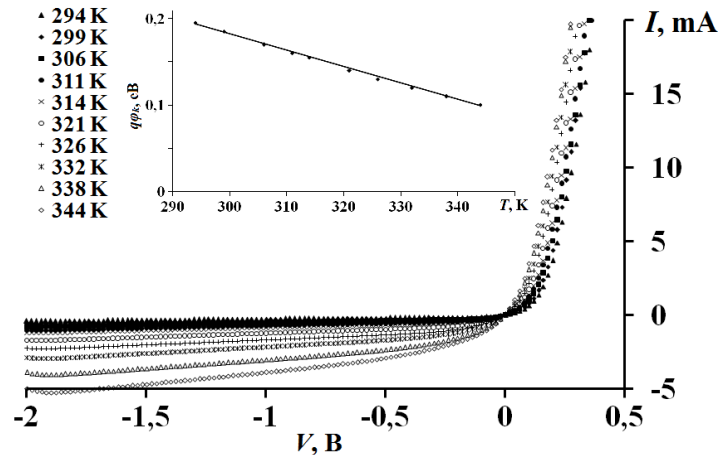


Рис. 2. ВАХ гетероструктури $p\text{-CuMoO}_4/n\text{-Si}$ при різних температурах (вкладка - $q\phi_k = f(T)$)

При прямих зміщеннях $3kT/q \text{ В} < V < 0,2 \text{ В}$ у структурі $p\text{-CuMoO}_4/n\text{-Si}$ переважає генераційно-рекомбінаційний механізм перенесення струму. Зворотний струм при зміщеннях $-2 \text{ В} < V < -3kT/q \text{ В}$ визначається процесами тунелювання, що включають поверхневі стани.

Гетероструктура $p\text{-CuMoO}_4/n\text{-Si}$ фоточутлива при зворотному зміщенні в умовах випромінювання АМ1.5.

PHYSICAL PARAMETERS OF THE $\text{CuMoO}_4/n\text{-Si}$ HETEROSTRUCTURE

I. Koziarskyi, E. Maistruk, D. Koziarskyi,
G. Andrushchak, E. Kass, P. Holokhvastov
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
i.koziarskyi@chnu.edu.ua

Thin CuMoO_4 films were applied to glass substrates and plane-parallel $n\text{-Si}$ plates by RF magnetron sputtering, and $p\text{-CuMoO}_4/n\text{-Si}$ heterostructure was made. Based on the results of the studies of the spectral dependences of the CuMoO_4 thin film, its optical parameters were determined. From studies of I - V -characteristics it was found that the obtained heterostructures have rectifying properties. The height of the potential barrier, the value of the series resistance and the dominant mechanism of current transfer were determined.

МАГНІТНИЙ МОМЕНТ ІОНІВ Mn^{2+} В НАНОКРИСТАЛАХ $ZnO:Mn$

О. Коваленко, В. Воровський

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
kovalenko.dnu@gmail.com

Важливою магнітною характеристикою розбавлених магнітних напів-провідників (РМН) є ефективний магнітний момент $\mu_{\text{е}}$ домішки перехідного металу. Він розраховується як відношення питомої намагніченості до загальної кількості іонів домішки. Так, для нанокристалів (НК) $ZnO:Mn$ із концентрацією 2 ат.%, синтезованих методом ультразвукового піролізу аерозолі (УПА)[1], які мають питому намагніченість $M_S = 0,028 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3/\text{г}$ та концентрацію іонів Mn^{2+} $N_M = 1,479 \cdot 10^{20} \text{ 1/г}$ ефективний момент іону Mn^{2+} має значення $\mu_{\text{е}} = 0,02\mu_B$. (μ_B – магнетон Бора). Такий розрахунок передбачає, що всі іони Mn^{2+} є магнітно активними та приймають участь у формуванні феромагнітних властивостей (ФВ) зразку. Однак, криві намагніченості НК $ZnO:Mn$ не мають стану насиченості, що є ознакою наявності у зразках парамагнітної складової (рис. 1).

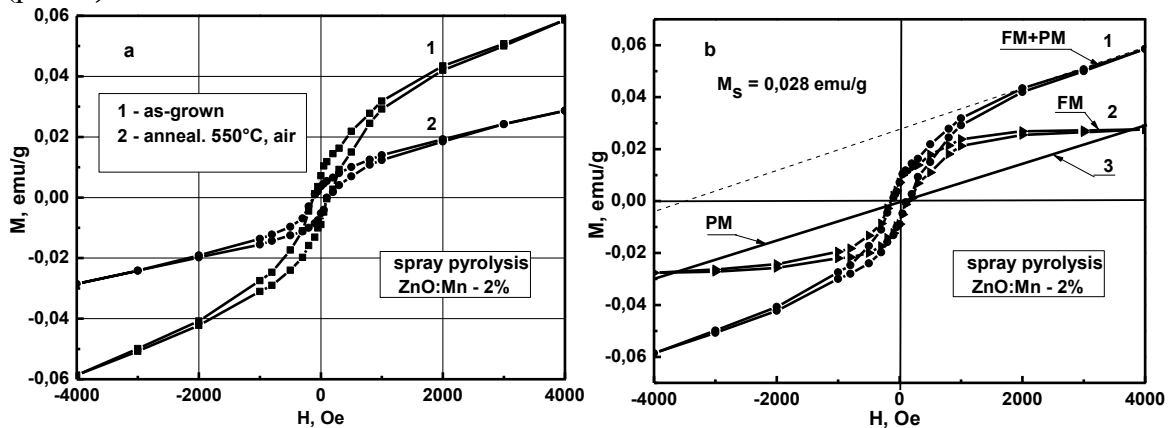


Рис.1. Криві намагніченості зразків НК $ZnO:Mn$ -2ат.% [1] (а): 1 – синтезований зразок, 2 – зразок після відпалу на повітрі при $T = 550^\circ \text{C}$. Розклад експериментальної кривої намагніченості зразка (1) на феромагнітну та парамагнітну складові (б).

Тким чином, частина іонів Mn^{2+} (N_p) формує парамагнітні властивості, а інша частина (N_f) формує ФВ. Також було встановлено, що іони Mn^{2+} , які знаходяться у вузлах кристалічної ґратки (КГ) ZnO (N_0) не приймають участі у формуванні ФВ. Тому загальна кількість іонів Mn^{2+} у КГ ZnO становить: $N_M = N_0 + N_f + N_p$, де $N_f = M_S/\mu_{\text{е}}$. Відносно цих іонів необхідно розраховувати ефективний магнітний момент $\mu_{\text{е}}$. Кількість парамагнітних іонів Mn^{2+} визначається із відомого рівняння Кюрі: $\chi_p = N_p \mu_{\text{е}}^2 / 3k_B T$, де χ_p – питома магнітна сприйнятливість парамагнітних іонів Mn^{2+} ; k_B – постійна Больцмана ($k_B = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ ерг/град}$); T – температура зразку ($T = 300\text{K}$). З виразу для N_M , загальної кількості іонів, слідує рівняння відносно ефективного магнітного моменту $\mu_{\text{е}}$ зв'язаних іонів Mn^{2+} , в якому враховано те, що частина іонів Mn^{2+} не є магнітними:

$$\mu_{\text{е}}^2 - \frac{M_S \mu^2}{(N_{Mn} - N_0)} - \frac{\chi_p 3k_B T}{(N_{Mn} - N_0)} = 0; \quad (1)$$

В приведеній роботі з використанням (1) були розраховані ефективні магнітні моменти $\mu_{\text{е}}$ іонів Mn^{2+} у зразках НК $ZnO:Mn$ із концентрацією Mn 2 ат.%, які отримані у роботі [1]. Аналіз кривих намагніченості синтезованого зразку та зразку після відпалу (рис.1а) шляхом розкладу експериментальної кривої на феромагнітну та парамагнітну складові (рис.1б) дозволив отримати необхідні для розрахунків значення магнітних

характеристик зразків (табл.1). Значення концентрації вузлових іонів Mn^{2+} N_0 для цих зразків було отримано шляхом аналізу спектрів ЕПР зразків.

Таблиця 1. Магнітні характеристики зразків ZnO:Mn-2ат.%

№ п/п	Типи зразків	Магнітні характеристики					
		M_s , Гс·см ³ /Г	χ_p , Гс·см ³ /Г·Є	N_0 , 1/Г	N_F , 1/Г	N_P , 1/Г	μ_z , μ_B
1	Синтезований	0,028	$7,35 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{17}$	$3,5 \cdot 10^{17}$	$1,473 \cdot 10^{20}$	8,5
2	Відпал 550 °С	0,010	$2,50 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{17}$	$1,6 \cdot 10^{17}$	$1,473 \cdot 10^{20}$	6,6

Проведені розрахунки показали, що магнітний момент μ_z зв'язаних іонів Mn^{2+} у синтезованих зразках НК має високе значення $\mu_z = 8,5\mu_B$, яке зменшується під час відпалу зразку до $\mu_z = 6,6\mu_B$. Для таких значень магнітного моменту μ_z із виразу $N_F = M_s/\mu_z$ було отримано концентрацію зв'язаних ферромагнітних іонів Mn^{2+} (N_F) (табл..1). Концентрацію вільних парамагнітних іонів Mn^{2+} (N_P) було отримано із співвідношення Кюрі. Отримане значення $N_P = 1,473 \cdot 10^{20}$ 1/Г практично не відрізняється від загального числа іонів Mn^{2+} ($N_{Mn} = 1,479 \cdot 10^{20}$ 1/Г). Таким чином була проведена оцінка кількісного складу іонів Mn^{2+} в КГ ZnO. Показано, що кількість вузлових N_0 та зв'язаних магнітних іонів Mn^{2+} по відношенню до N_M становить 0,15% та 0,24%, відповідно.

Як відомо, магнітний момент парамагнітного іону Mn^{2+} визначається g – фактором $g = 2,0$ та ефективним спіном $S = 5/2$ із рівняння $\mu_p = g \sqrt{S(S+1)}\mu_B$ та дорівнює $\mu_p = 5,9\mu_B$. При такому значенні магнітного моменту μ_p питома магнітна сприйнятливості χ_p парамагнітних іонів Mn^{2+} , розрахована із співвідношення Кюрі, повинна становити $\chi_p = 3,5 \cdot 10^{-7}$ Гс·см³/Г·Є, що на порядок менше ніж експериментальні значення, отримані у роботі [1] (табл..1). Це може бути наслідком того, що у зразках можуть бути присутні додаткові джерела парамагнетизму, які збільшують внесок у парамагнітну складову намагніченості зразків.

Таким чином у роботі показано, що зразки НК ZnO:Mn-2ат.%, отримані методом УПА мають високі значення магнітного моменту зв'язаних іонів Mn^{2+} , які перевищують значення магнітного моменту вільного іону Mn^{2+} . Це може бути ознакою високої ефективності магнітної взаємодії цих іонів та високої якості процесу синтезу зразків. Також цей факт може бути наслідком наявності у КГ ZnO, окрім парамагнітних іонів Mn^{2+} , додаткових джерел парамагнетизму.

[1] Kovalenko O.V., Vorovsky V.Yu., O.V.Khmelenko O.V. The effect of heat treatment on the magnetic properties of ZnO:Mn nanocrystals obtained by ultrasonic aerosol pyrolysis. J. Functional Materials, 27, 4, (2020), p. 687-694.

MAGNETIC MOMENT OF Mn^{2+} IONS IN ZnO:Mn NANOCRYSTALS

A. Kovalenko, V.Vorovsky,
Oles Honchar Dnipro National University
kovalenko.dnu@gmail.com

The paper presents the results of calculations of the magnetic moment of the Mn^{2+} ion in ZnO:Mn-2 at.% nanocrystals obtained by ultrasonic aerosol pyrolysis. It is shown that, taking into account only those Mn^{2+} ions that take part in the formation of ferromagnetic properties, their magnetic moment can have a value of $8.6\mu_B$ and decreases upon annealing in air to $6.6\mu_B$. It has been suggested that such high values of the magnetic moment of Mn^{2+} ions, which exceed the magnetic moment of a free Mn^{2+} ion ($5.9\mu_B$), can be explained by the high quality of sample synthesis, which created conditions for effective magnetic interaction of Mn ions in the crystal lattice of a ZnO nanocrystal.

ВПЛИВ ДОМІШКИ РЬО НА ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ОКСИДНО-ОЛОВ'ЯНИХ ВАРИСТОРІВ

О. Гапонов, Ф. Шуцін, М. Зялик

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
alexei_gaponov@ukr.net

Для виготовлення приладів захисту сучасної електротехніки від перенапруги використовуються оксидні керамічні варистори. В якості основного матеріалу напівпровідникової варисторної кераміки останнім часом часто застосовується оксид олова SnO_2 . Варистори на основі SnO_2 мають велику нелінійність вольт-амперних характеристик, проте розраховані, здебільшого, на досить велику робочу напругу. Щоб зменшити цю напругу до складу оксидно-олов'яної кераміки уводять легкоплавкі домішки та збільшують температуру випалу зразків. В представленій роботі для досягнення даної мети до складу кераміки $\text{SnO}_2\text{-Co}_3\text{O}_4\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-Cr}_2\text{O}_3$ був доданий оксид свинцю в концентраціях 0 - 8 мол. % і досліджені електричні характеристики зразків, виготовлених при температурах випалу 1050 - 1350°C.

Оксидна кераміка (99,4-х) SnO_2 - х PbO - 0,5 Co_3O_4 - 0,05 Nb_2O_5 - 0,05 Cr_2O_3 (мол. %), де $x = 0; 0,5; 2; 4; 8$, була виготовлена за традиційною керамічною технологією при аксіальному тиску пресування 45 МПа і температурах випалу 1050, 1150, 1250 і 1350°C (час витримки при максимальних температурах - 1 година). Одержані значення електричних параметрів оксидно-олов'яних варисторів представлені на рис. 1 і 2.

При підвищенні температури випалу зразків від 1050 до 1350°C поліпшуються умови спікання кераміки і збільшується усадка всіх досліджених варисторів (рис. 1). Додавання до складу кераміки відносно легкоплавкого оксиду свинцю ($T_{\text{плавл}} = 836^\circ\text{C}$) призводить до утворення під час випалу рідкої свинцевовмісної фази і кращому розповсюдженню оксидів по заготовкам. Тому усадка зразків з домішкою 0,5 мол. % PbO більша, ніж зразків, виготовлених без додавання оксиду свинцю (рис. 1). При збільшенні концентрації PbO в кераміці до 8 мол. % процес перерозподілу компонентів під час випалу зразків прискорюється і усадка варисторів збільшується (рис. 1). Отже, значення усадки будуть більшими в кераміці з більшим вмістом оксиду свинцю.

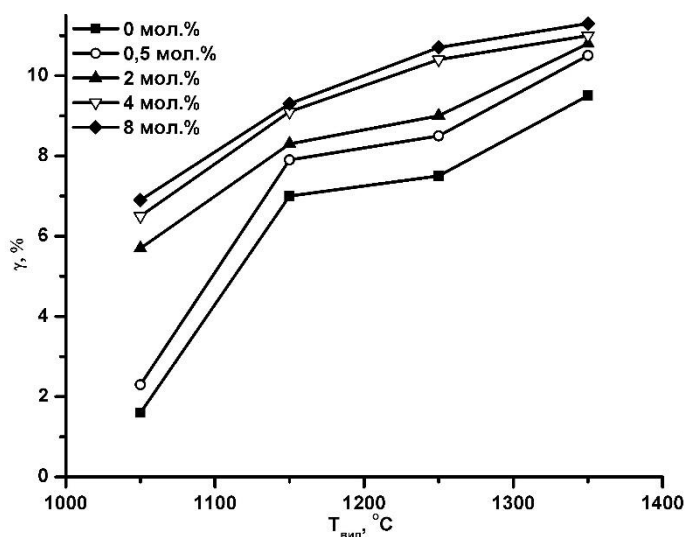


Рис. 1. Залежність усадки зразків γ від температури випалу кераміки (99,4-х) SnO_2 - х PbO - 0,5 Co_3O_4 - 0,05 Nb_2O_5 - 0,05 Cr_2O_3 (мол. %) з різною концентрацією домішки PbO

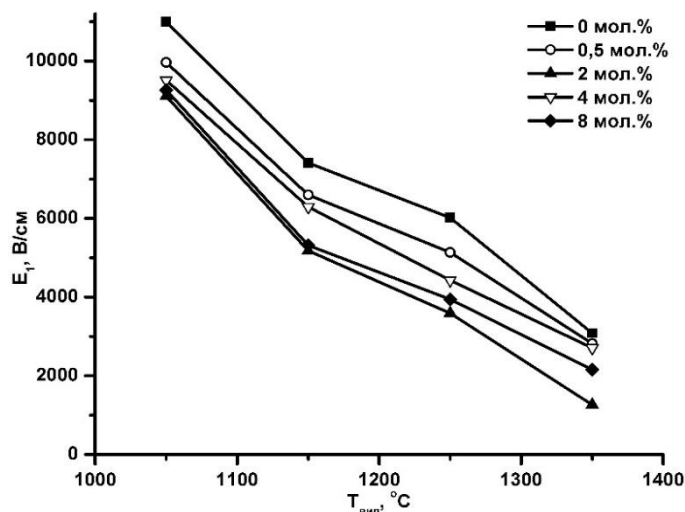


Рис. 2. Залежність класифікаційної напруженості електричного поля E_1 від температури випалу кераміки $(99,4-x) \text{ SnO}_2 - x \text{ PbO} - 0,5 \text{ Co}_3\text{O}_4 - 0,05 \text{ Nb}_2\text{O}_5 - 0,05 \text{ Cr}_2\text{O}_3$ (мол. %) з різною концентрацією домішки PbO

Витримка зразків під час спікання при більшій температурі випалу призводить до збільшення часу знаходження заготовок при підвищеній температурі. Тому в таких зразках кристаліти SnO_2 будуть більшими, а їх кількість на одиницю довжини меншою. Це відображається у зменшенні класифікаційної напруженості електричного поля E_1 варисторів при збільшенні температури їх випалу (рис. 2).

При наявності у складі кераміки оксиду свинцю спікання варисторів є рідкофазним, а тому умови росту кристалітів покращуються. Отже, в кераміці з домішкою PbO зерна будуть більшими і, відповідно, значення класифікаційної напруженості електричного поля E_1 меншими (рис. 2). Таким чином, значення E_1 будуть меншими у варисторів, виготовлених при більшій температурі випалу, і при наявності у складі їх шихти домішки PbO.

Для всіх досліджених зразків оксидно-олов'яної кераміки зареєстровані нелінійні вольт-амперні характеристики. Найбільші значення коефіцієнта нелінійності β мають варистори, які спечені при температурах випалу 1150 і 1250°C. Так при $T_{\text{вип}} = 1250^{\circ}\text{C}$ в кераміці $\text{SnO}_2\text{-Co}_3\text{O}_4\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-Cr}_2\text{O}_3$ значення $\beta = 25$, а в кераміці з домішкою 0,5 мол. % PbO значення β досягає 24.

Таким чином, збільшення температури випалу оксидно-олов'яної кераміки призводить до збільшення усадки виготовлених зразків і зменшення робочої напруги варисторів. При додаванні до складу кераміки оксиду свинцю збільшується усадка та зменшується класифікаційна напруженість електричного поля зразків. Оптимальною температурою випалу оксидно-олов'яних варисторів з домішкою PbO є 1250°C.

THE EFFECT OF PbO ADDITION ON THE ELECTRICAL PARAMETERS OF TIN OXIDE BASED VARISTORS

O. Gaponov, F. Shuqing, M. Zialyk

Oles Honchar Dnipro National University

alexei_gaponov@ukr.net

The enhancement of PbO addition to the $\text{SnO}_2\text{-PbO-Co}_3\text{O}_4\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-Cr}_2\text{O}_3$ ceramic system resulted in the higher linear shrinkage and lower breakdown electric field E_1 of varistors. Such results were also obtained at the higher burning temperatures of samples. The optimal burning temperatures of SnO_2 -based varistors with PbO addition is 1250°C.

СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛІВОК CdZnTeSe ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДЕТЕКТОРІВ ЖОРСТКОГО ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

М. Пашенко, В. Волобуєв, О. Гагіна, Д. Курбатов, А. Опанасюк

*Сумський державний університет
jeymiks@gmail.com*

Вже досить тривалий час основним матеріалом для виготовлення детекторів іонізуючого випромінювання залишаються монокристали нелегованого та легovanого хлором CdTe , але останні роки все більшої популярності набувають більш перспективні матеріали, такі як тверді розчини $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ (CZT). Це обумовлено рядом їх суттєвих переваг перед телуридом кадмію таких як: можливість більш точного регулювання ширини забороненої зони, за допомогою корегування складом розчину, високий питомий опір і підвищена стабільність матеріалу, збільшений час життя носіїв заряду та їх рухливість тощо. Проте структурна і електрична однорідність монокристалів цього напівпровідника виявилася незадовільною через значення коефіцієнта сегрегації Zn , що дорівнює $k = 1,35$. У зв'язку з цим, останнім часом, як альтернатива традиційному твердому розчину CZT, для створення детекторів жорсткого випромінювання, було запропоновано використовувати чотирьохкомпонентну сполуку $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$ (CZTS). Було встановлено, що додавання Se , у якого тенденція сегрегації протилежна Zn , до CZT дозволяє отримувати зразки з постійним значенням сталою ґратки та електрофізичними характеристиками за об'ємом злитку. Однак, вирощування досконалих об'ємних монокристалів багатокомпонентних сполук потребує досить великих витрат. Саме тому в наш час все більше в якості детекторного матеріалу починають використовувати моно- та полікристалічні плівки, товщина яких може доходити до 200 мкм і більше. Нажаль, в наш час плівки CZTS не одержувалися, а їх структурні властивості не досліджені.

Плівки CZTS були отримані методом випаровування шихти в квазізамкненому об'ємі (КЗО) на установці ВУП-5М. Маса шихти, яка містила CdTe , ZnTe та CdSe у різних пропорціях, для разового використання складала 100 мг. Після отримання кожного зразка камера КЗО ретельно очищувалась для нової порції напівпровідникового матеріалу. У якості підкладки було використано очищені скляні підкладки. Температура підкладки для усіх зразків була сталою і дорівнювала $T_s = 400^\circ\text{C}$. Температура випарника змінювалась в межах $T_e = (575-725)^\circ\text{C}$. Час осадження шарів становив $t = 20$ хвилин.

Структурні дослідження плівок халькогенідів були виконані на автоматизованому рентгенодифрактометрі ДРОН-4М. Діапазон брегівських кутів 2θ при дослідженні складав від 20° до 80° . За еталонними даними JCPDS було проведено фазовий аналіз, шляхом співставлення відстаней і відносної інтенсивності. Методом Нельсона - Рілі отримано прецизійні значення сталих ґратки досліджуваних матеріалів.

Для дослідження хімічного складу нанесених плівок використовувався енергодисперсійний спектрометр AZtecOne з детектором X-MaxN20 (виробник Oxford Instruments plc) скануючого електронного мікроскопу SEO-SEM Inspect S50-B. Сам мікроскоп застосований для дослідження морфології поверхні зразків.

Встановлено, що одержані плівки були полікристалічними та складалися із кристалітів розмір яких збільшувався при збільшенні температури підкладки (рис.1 а) і товщини зразків. Розмір зерен складав десятки мікронів, що необхідно для зниження рекомбінації утворених випромінюванням електронно-діркових пар на їх границях. Впровадження цинку та селену в кристалічну ґратку телуриду кадмію підтверджено методом EDX. Однак у ряді зразків селен був відсутній, причина чого з'ясовується.

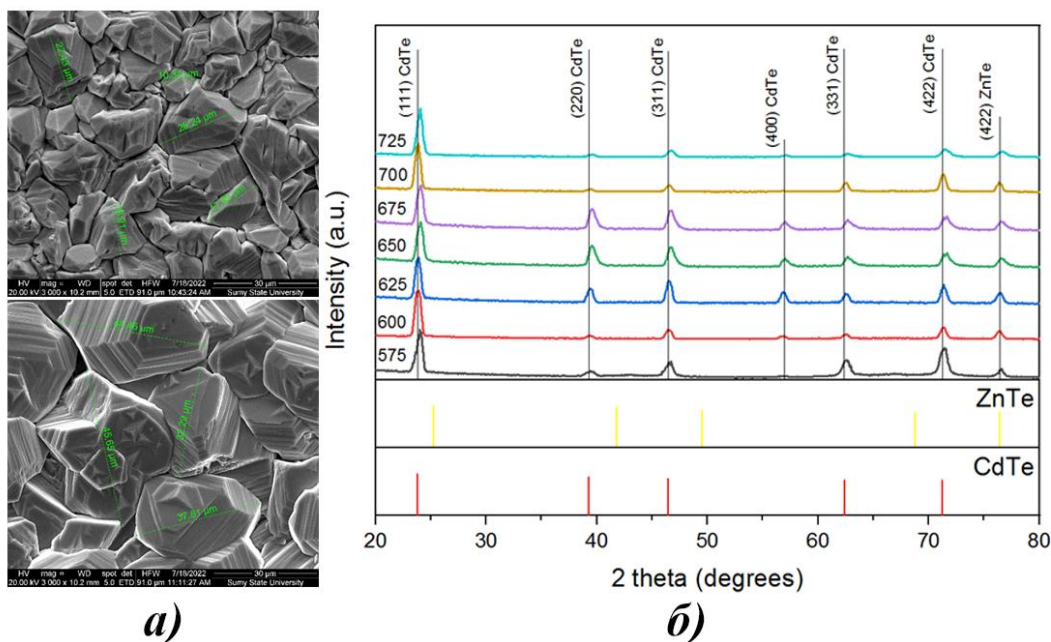


Рис 1 – Електронно-мікроскопічні знімки поверхні (а) та рентгенограми зразків отриманих при різних температурах випарника $T_e = (600-725)^\circ\text{C}$ (б)

На рис. 1 б наведено рентгенограми від серії зразків отриманих при різних температурах випарника. Аналіз дифрактограм і данні визначення періоду ґратки свідчить, що склад плівок відповідає твердому розчину утвореному на базі телуриду кадмію зі сфалеритною структурою. Найбільш симетричні піки відбиття від кристалографічних площин з найменшою півшириною одержані від зразків при температурі $T_e = (650 \pm 25)^\circ\text{C}$. Це свідчить про найбільш однорідний розподіл атомів в об'ємі матеріалу плівки. Піки дифрактограм від інших зразків мають розщеплення, що свідчить про нерівномірний розподіл цинку та селену в їх об'ємі плівок та утворення шарів твердого розчину з різним вмістом цинку та селену.

Дослідження проведені у роботі дозволили нам визначити оптимальну температуру випарника для отримання високоякісних плівок CZTS, яка складає 650°C .

STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF CdZnTeSe FILMS FOR THE CREATION OF HARD IONIZING RADIATION DETECTORS

M. Pashchenko, V.Volobuiev, O.Hahina, D.Kurbatov, A. Opanasyuk

*Sumy State University
jeymiks@gmail.com*

This article demonstrates the results of determining the optimal evaporator temperature for obtaining high-quality CdZnTeSe films. The films were obtained by batch evaporation in a quasi-closed volume (CSV) using a VUP-5M setup. According to the results of the structural study, it was found that the resulting films were polycrystalline and consisted of crystallites, the size of which increased with increasing lining temperature and sample thickness. The grain size was tens of microns, which is necessary to reduce the recombination of formations by radiation of electron-hole pairs at their boundaries. The addition of zinc and selenium to the crystal lattice of cadmium theuluride was confirmed by the EDS method. The most symmetric reflection peaks from crystallographic planes with the smallest half-width were obtained from samples at $T_e = (650 \pm 25)^\circ\text{C}$. This indicates the most uniform distribution of atoms in the bulk of the film.

ДЖЕРЕЛА ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ СУЛЬФОСЕЛЕНІДІВ ЦИНКУ

М. Сльотов¹, О. Сльотов², Г. Поцілуйко-Григоряк³, А. Скрипничук⁴

^{1,2,4} Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

³ Чернівецький індустріальний фаховий коледж

¹ m.slyotov@chnu.edu.ua, ² o.slyotov@chnu.edu.ua

Важливою проблемою сучасної електроніки є розширення функціональних можливостей використовуваних приладів. Серед них значне значення мають різного типу джерела випромінювання [1]. Для них актуальними є розширення спектрального діапазону в короткохвильову області і отримання високої ефективності випромінювання. Тому важливим завданням є збільшення номенклатури використовуваних матеріалів. Серед них значену увагу привертають широкозонні II-VI сполуки. Використовувані на їх основі гетероструктури передбачають вдосконалення методу отримання активних областей оптоелектронних сенсорів. Серед них особу роль відіграють сульфоселеніди цинку.

Гетерошари (ГШ) зазначених матеріалів отримувалися методом ізовалентного заміщення (ІВЗ) [2]. Його особливістю є використання речовин, заміщення якими атомів базової підкладки усуває неузгодженість кристалічних параметрів, що забезпечує низький вміст дефектів структури. Тому отримувалися гетероструктури (ГС) із матеріалів маловивченої нетипової гексагональної кристалічної ґратки з високою квантовою ефективністю випромінювання [3].

Проведені дослідження люмінесценції ГШ сульфоселенідів цинку, отриманих методом ІВЗ, свідчать про можливість отримання інтенсивного випромінювання у діапазоні $\Delta\lambda = 0,375 \div 0,540$ мкм, рис. 1.

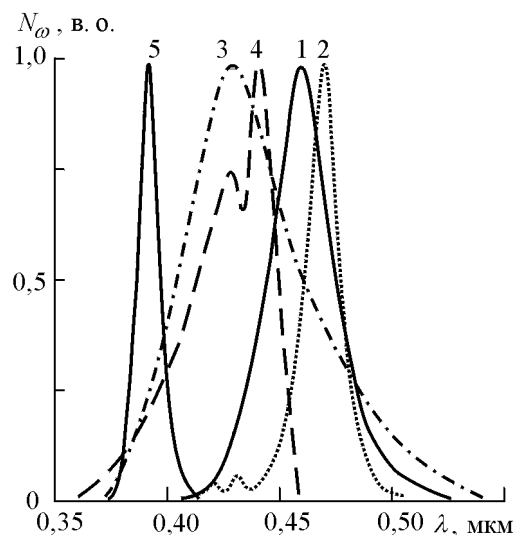


Рис. 1 Спектри ФЛ гетерошарів $\beta\text{-ZnSe}$ (1), $\alpha\text{-ZnSe}/\alpha\text{-CdSe}$ (2), $\alpha\text{-ZnS}/\alpha\text{-CdS}$ (3), $\alpha\text{-ZnSe}/\alpha\text{-CdS}$ (4) та $\alpha\text{-ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$ (5). $T = 300$ К.

Головною властивістю ГШ $\alpha\text{-ZnSe}$, $\alpha\text{-ZnS}$, $\alpha\text{-ZnS}_x\text{Se}_{1-x}$ є інтенсивне випромінювання у короткохвильовій області оптичного діапазону [3]. Отримання гетероструктур $\beta\text{-ZnSe}/\beta\text{-ZnS}$ типової кубічної модифікації підтвердило високу ефективність технологічного процесу. Випромінювання $\beta\text{-ZnSe}$ з $E_g = 2,70$ еВ охоплює інтервал довжин хвиль $\Delta\lambda = 0,413 \div 0,539$ мкм, крива 1 на рис. 1.

Для ГШ α -ZnSe/ α -CdSe гексагональної модифікації максимум і спектральна область зазнають неістотно змін. Випромінювання зумовлено зв'язаними на глибоких центрах залишкової домішки Cd екситонів. Разом з тим, перехід до ГШ на підкладках α -CdS зумовлює для α -ZnSe істотне збільшення півширини з $\Delta\lambda_{1/2} = 16$ нм до $\Delta\lambda_{1/2} = 36$ нм і зміщення максимуму в область $\lambda_m = 0,440$ мкм. Зазначимо, що першим етапом отримання α -ZnSe на α -CdS є утворення важливих для короткохвильової сенсоріки ГШ α -ZnS. Їх спектр випромінювання охоплює значну спектральну область $\Delta\lambda = 0,376 \div 0,539$ мкм при максимумі $\lambda_m = 0,428$ мкм. Півширина $\Delta\lambda_{1/2} = 51$ нм смуги отриманого випромінювання охоплює важливу блакитно-фіолетову область. Основні спектральні характеристики випромінювання отриманих ГШ наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 Основні спектральні характеристики отриманих ГШ

Гетерошар	Положення максимуму λ_m , мкм	Півширина спектра $\Delta\lambda_{1/2}$, нм	Спектральний діапазон $\Delta\lambda$, мкм	Квантова ефективність, %
β -ZnSe/ β -ZnS	0,463	30	0,413÷0,539	12÷15
α -ZnSe/ α -CdSe	0,468	16	0,400÷0,516	10÷12
α -ZnSe/ α -CdS	0,440	36	0,354÷0,458	11÷12
α -ZnS/ α -CdS	0,428	51	0,376÷0,539	8÷10
α -ZnS _x Se _{1-x}	0,389	11	0,375÷0,413	5,8

Важливим результатом по дослідженню можливостей зміни спектра випромінювання є отримання твердих розчинів заміщення α -ZnS_xSe_{1-x} при відповідних технологічних умовах. Зокрема, для $x = 0,47$ максимум спектра люмінесценції становить $\lambda_m = 0,389$ мкм, півширина – $\Delta\lambda_{1/2} = 11$ нм, а квантова ефективність випромінювання в ближньому УФ діапазоні становить $\eta \approx 5,8$ %. Обговорюються домінуючі процеси міжзонної рекомбінації та анігіляції зв'язаних на ізовалентних домішках екситонів у формуванні випромінювання.

- [1] Sadao Adachi Properties of Semiconductor Alloys: Group-IV, III-V and II-VI Semiconductors. New Jersey: Wiley. (2009). 422 P.
- [2] Фистуль В.И. Атомы легирующих примесей в полупроводниках (состояние и поведение). М.: Физматлит. (2004). 432 с.
- [3] Slyotov M., Slyotov A. The sources of radiation in the short-wave range on the basis of II-VI heterolayers // Journal IAPGOS. V.4. (2018). P. 4-7.

SOURCES OF RADIATION BASED ON ZINC SULFOSELENIDES

M. Slyotov¹, O. Slyotov², G.V. Potsiluiko-Hryhoriak³, A. Skripnichuk⁴

^{1, 2, 4} Yury Fed'kovich Chernivtsi National University

³ Chernivtsi Industrial Vocational College

¹ m.slyotov@chnu.edu.ua, ² o.slyotov@chnu.edu.ua

The processes of obtaining of emitting structures based on zinc sulfoselenides have been established. The possibility of obtaining radiation with a high quantum yield $\eta \sim 8$ -12% on materials of atypical hexagonal modification is shown. The characteristics and mechanisms of formation of short-wave luminescence are discussed.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧУТЛИВОСТІ p - i - n ФОТОДІОДІВ

М. Кукурудзяк

АТ «Центральне конструкторське бюро Ритм»
mykola.kukurudzyak@gmail.com

Особливу увагу на ринку приділяють кремнієвим фотоприймачам (ФП) для детектування випромінювання YAG-лазера з $\lambda=1,064$ мкм, зокрема одно- чи багатоеlementним p - i - n фотодіодам (ФД) [1]. Жорсткі вимоги висуваються до фоточутливості (особливо імпульсної S_{im}) при даній довжині хвилі, отримання якої є актуальним науково-технічним завданням. Отримати максимальну чутливість можна зміщенням максимуму спектральної характеристики чутливості $S(\lambda)$ ФП в сторону більших довжин хвиль. Відповідно метою даної роботи є дослідження методів зміщення максимуму спектральної характеристики в сторону більших довжин хвиль.

Дослідження проводились на чотириелементних p - i - n ФД із товщиною підкладки 430-440 мкм, виготовлених за дифузійно-планарною технологією[2] на базі p -кремнію з питомим опором $\rho=13$ -21 кОм та часом життя неосновних носіїв заряду $\tau=1,2$ -2 мс.

Досліджено вплив напруги зміщення U_{zm} p - n -переходу ФД на розміщення максимуму спектральної характеристики чутливості (Рис. 1).

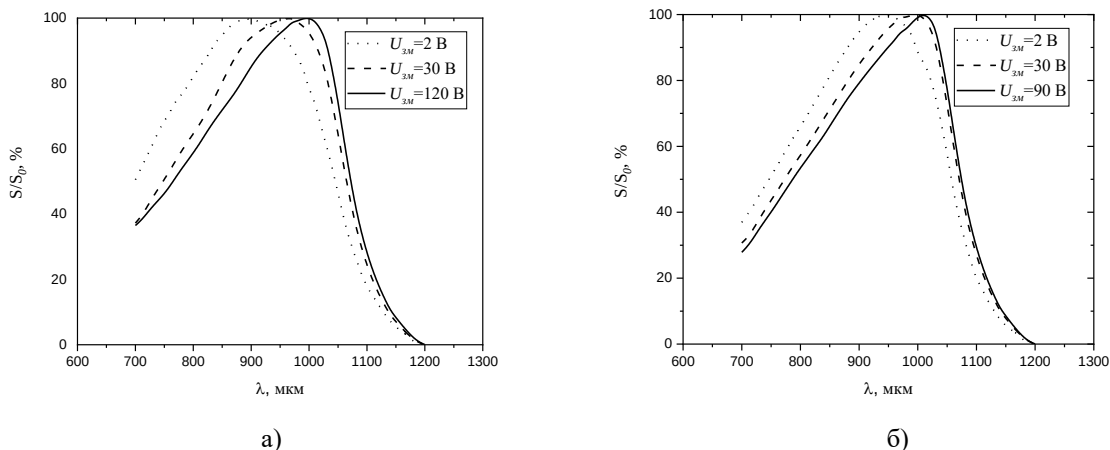
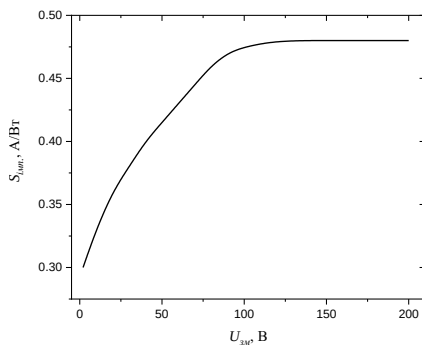
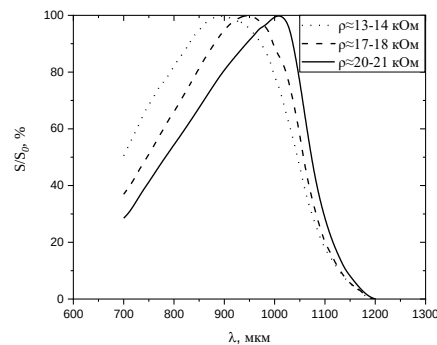


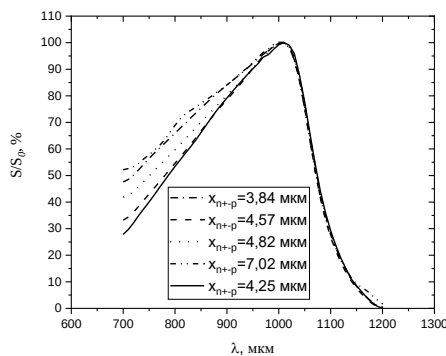
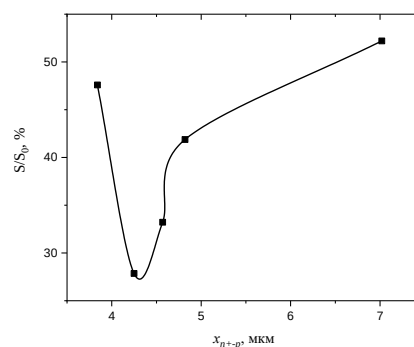
Рис.1. Відносна спектральна характеристика чутливості ФД: а) $\rho \approx 13$ -14 кОм; б) $\rho \approx 17$ -18 кОм.

З Рис. 1 можна побачити що при збільшенні напруги зворотного зміщення зміщується максимум спектральної характеристики в сторону більших довжин хвиль. Це можна пояснити розширенням області просторового заряду W_i при збільшенні U_{zm} та відповідно зростанням коефіцієнта збирання носіїв заряду. Це сприяє збільшенню абсолютного значення фоточутливості і зміщенню максимуму. Вдалося досягнути значення $\lambda_{max}=1,01$ -1,02 мкм та $S_{im} \approx 0,48$ А/Вт, що відповідає $\sim 63\%$ S_{max} .

При дослідженні $S(\lambda)$ зразків із різним початковим питомим опором, помічено що при збільшенні ρ досягнути S_{max} вдається при меншій U_{zm} . Оскільки при більшому ρ ОПЗ розширюється на всю товщину підкладки при меншій напрузі. Так для $\rho=14$ кОм $W_i \approx 430$ мкм при $U_{zm}=120$ В, а для $\rho=18$ кОм – при $U_{zm}=90$ В. При розширенні W_i до максимального значення, рівень фоточутливості також виходить в насичення (Рис. 2). Також побачено, що при збільшенні τ та ρ кремнію при однаковій U_{zm} максимум спектральної характеристики зміщується в сторону більших довжин хвиль (Рис. 3)

Рис. 2. Залежність $S_{lim}(U_{3M})$.Рис. 3. $S(\lambda)$ ФД при різному ρ кремнію ($U_{3M}=2V$).

Досліджено вигляд залежності $S(\lambda)$ при різній глибині n^+ - p -переходу (Рис. 4,5).

Рис. 4. Графік $S(\lambda)$ ФД при різному x_{n+-p} ($U_{3M}=120 V$)Рис. 5. Графік залежності відносної чутливості від при x_{n+-p} при $\lambda=700$ нм

З рис. 4 можна побачити, що глибина гетеропереходу впливає на рівень шумів фонового випромінювання при $\lambda < 1,064$ мкм. Та з Рис. 5 можна побачити, що при $x_{n+-p}=4,25$ мкм вплив фонового випромінювання мінімальний.

- [1] Паспортні дані на ФД 15М-01. Електронний ресурс. Режим доступу: http://www.ckb-rhythm.narod.ru/FD_SPIN/ufd15m-01.htm
- [2] Kukurudziak M.S. 1064 nm wavelength p-i-n photodiode with low influence of periphery on dark currents. *Journal of nano- and electronic physics*. Vol. 14 No 1, 01023(4pp) (2022). DOI: [https://doi.org/10.21272/jnep.14\(1\).01023](https://doi.org/10.21272/jnep.14(1).01023)

ANALYSIS OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF p - i - n PHOTODIODE RESPONSIVITY

M. Kukurudziak

Rhythm Optoelectronics Shareholding Company
mykola.kukurudzyak@gmail.com

The spectral characteristics of the responsivity of silicon p - i - n photodiodes with different specific resistances and lifetimes of minor charge carriers were analyzed. The influence of the depth of the PD heterojunction on the level of background noise at $\lambda < 1.064$ μm was investigated.

СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛІВОК $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДЕТЕКТОРІВ ЖОРСТКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

О. Писаний, В. Волобуєв, Д. Курбатов, А. Опанасюк

Сумський державний університет
o.pysany@ekt.sumdu.edu.ua

Монокристали високоомного телуриду кадмію легованого хлором CdTe:Cl вже досить тривалий час використовуються як базовий матеріал для виготовлення детекторів різних типів жорсткого випромінювання. Останні роки спостерігається тенденція до заміни CdTe:Cl твердими розчинами, перш за все такими, що містять цинк та марганець. Це пояснюється низкою суттєвих переваг розчинів $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ (CZT), $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ (CMT) перед двокомпонентною сполукою, а саме: підвищеними рухливістю і часом життя носіїв заряду, високим питомим опором матеріалу, можливістю регулювання ширини забороненої зони (E_g) за рахунок зміни складу, підвищеною стабільністю через більшу E_g та більш міцні зв'язки між атомами речовини, тощо. При цьому введення марганцю має ряд переваг перед введенням цинку.

З метою зниження вартості детекторів випромінювання в останні роки запропоновано замість об'ємних монокристалів використовувати товсті (до 200 мкм) структурно досконалі монокристалічні та полікристалічні плівки. З цією ж метою можуть бути використані як плівки CdTe так і шари твердих розчинів CZT, CMT. Однак властивості товстих шарів сполук CMT та можливості використання їх для детектування жорсткого випромінювання у наш час досліджені слабо.

Плівки CMT на очищених скляних підкладках були виготовлені методом термічного вакуумного випарування у квазізамкненому об'ємі (КЗО) у вакуумній установці ВУП-5М при тиску залишкових газів у камері не більше, ніж $5 \cdot 10^{-3}$ Па. Температура підкладки при нанесенні плівок змінювалася у інтервалі $T_s = (350-550)^\circ\text{C}$. Температура випарника становила $T_e = 850^\circ\text{C}$ для Mn, и $T_e = 700^\circ\text{C}$ для CdTe. Час конденсації шарів становив $t = (8-10)$ хв.

Для дослідження хімічного складу отриманих зразків використовувався енергодисперсійний спектрометр AZtecOne з детектором X-MaxN20 (виробник Oxford Instruments plc) сканувального електронного мікроскопу SEO-SEM Inspect S50-B та мікроаналізатор мікроскопу Bruker.

Структурні дослідження плівок халькогенідів були виконані на автоматизованому рентгенодифрактометрі ДРОН 4-07 у Ni-фільтрованому $K\alpha$ випромінюванні мідного анода. Знімання проводилось у діапазоні кутів 2θ від 20° до 80° , де 2θ – брегівський кут. При дослідженнях використовувалося фокусування рентгенівського випромінювання за Брегом-Брентано. Фазовий аналіз проводився шляхом співставлення міжплощинних відстаней і відносної інтенсивності від досліджених зразків та еталона за даними JCPDS. Для отримання прецизійних значень сталих ґратки матеріалів використано екстраполяційний метод Нельсона – Рілі.

Встановлено, що плівки були полікристалічними та складалися з зерен розмір яких збільшувався при збільшенні температури підкладки (рис.1) та складав декілька мікронів. Впровадження марганцю в кристалічну ґратку телуриду кадмію підтверджено методом EDAX (вставка на рис. 1).

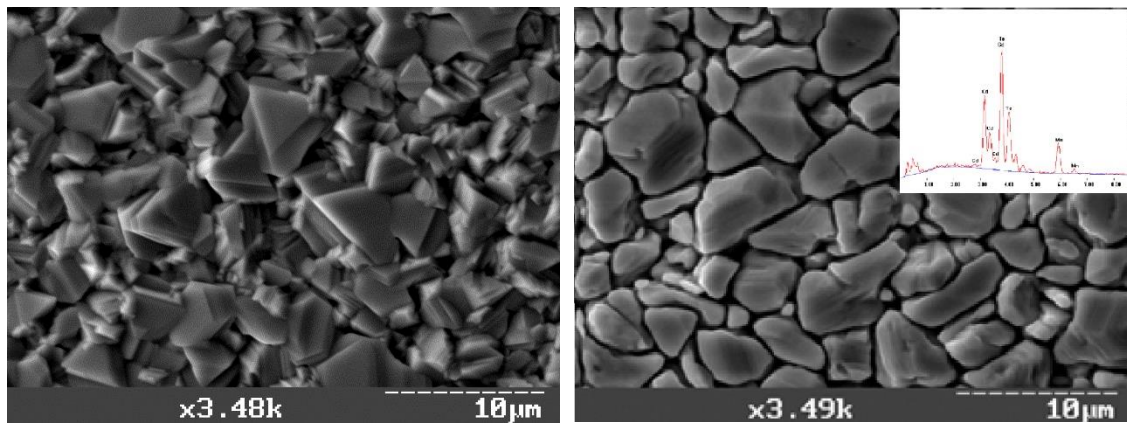


Рис. 1 – Електронно-мікроскопічні знімки поверхні плівок СМТ, отриманих при різних режимах конденсації: $T_s = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а); $T_s = 525\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б)

За результатами рентгенодифрактометричних досліджень було встановлено, що плівки отримані при температурах підкладки $T_s < 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідали твердому розчину СМТ з різним вмістом марганцю та сфелеритною структурою. В низькотемпературних конденсатах ($T_s = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$) також виявляються сліди гексагональної фази, хоча це є нехарактерним для нелегованих плівок CdTe, де така фаза утворюється при значно нижчих температурах ($T_s \leq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$). Шари отримані при температурі підкладки $T_s = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ склалися з MnTe, що мав гексагональну структуру. При проміжних температурах підкладки конденсати склалися з суміші двох фаз СМТ та MnTe. За значенням a матеріалів з використанням літературних даних визначено вміст марганцю, що вбудовувався в ґратку твердого розчину.

Проведені дослідження дали можливість вибрати найбільш оптимальні режими отримання плівок СМТ з керованими структурними характеристиками та вмістом марганцю.

STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF CDMNTE FILMS FOR THE CREATION OF HARD RADIATION DETECTORS

O. Pysany, V. Voloboiev, A. Opanasyuk

Sumy State University

o.pysany@ekt.sumdu.edu.ua

This article demonstrates the results of a study of the structural characteristics of CdMnTe films. The method of thermal vacuum evaporation in a quasi-closed volume (QCV) was used to obtain films. CMT films was obtain in temperature different diapason from backing and from evaporator by Mn and CdTe.

It was established that the films were polycrystalline and consisted of grains whose size increased with increasing substrate temperature

The conducted research made it possible to choose the most optimal modes of obtaining CMT films with controlled structural characteristics and manganese content.

ДОВГОХВИЛЬОВА ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ КОЛОЇДНИХ НАНОЧАСТИНОК ОКСИДУ ЦИНКУ

Ю. Ніцук, С. Гусейнова, С. Собкович

Одеський національний університет імені І.І.Мечникова
nitsuk@onu.edu.ua

Наночастинки оксиду цинку отримали широке біомедичне застосування: для захисту від ультрафіолетового випромінювання, антимікробної дії. Але найбільш перспективним є використання цих наночастинок в біосенсориці. Існує багато вдалих прикладів використання наночастинок оксиду цинку в якості хімічних сенсорів шкідливих речовин [1]. Наявність ефективного випромінювання в видимій та ультрафіолетовій області робить наночастинки оксиду цинку перспективним матеріалом для створення люмінесцентних сенсорів [2].

Одним з найпоширеніших методів отримання наночастинок є хімічний (колоїдний) метод синтезу. До його переваг відносяться простота і дешевизна. Суттєвим недоліком, що може вплинути на роботу люмінесцентного сенсору є велика дисперсність наночастинок і, як наслідок, чутливість до цього крайового випромінювання. Разом з тим, відомо, що квантово-розмірний ефект не впливає на переходи довгохвильової люмінесценції в межах донорно-акцепторних пар і в межах іонів перехідних металів.

В роботі отримано серію зразків наночастинок оксиду цинку, отриманих колоїдним синтезом. В якості джерела іонів цинку використовували 10% водний розчин хлориду цинку ($ZnCl_2$). Джерелом іонів кисню слугував 10% водний розчин гідроксиду калію (KOH).

При зміні концентрації прекурсорів від 2 до 10% ширина забороненої зони змінюється від 3.6 до 3.2 еВ. Разом з тим, наявна довгохвильова люмінесценція з максимумом випромінювання на 2.38 еВ не змінювала свого спектрального розташування. Графіки температурної залежності фотолюмінесценції, представлені в координатах $\ln I \div 1/T$, демонструють дві лінійні ділянки з енергіями активації 0.03 та 0.8 еВ, що є підтвердженням наявності випромінювальних переходів на донорно-акцепторних парах.

Таким чином, отримані в роботі колоїдні наночастинки оксиду цинку можуть бути використані в якості люмінесцентних сенсорів.

- [1] Nath S. S., Choudhury M., Chakdar D. et al. Acetone sensing property of ZnO quantum dots embedded on PVP // *Sensors and Actuators B. Vol. 148(2010). P. 353–357.*
[2] Rodrigues J., Pereira S. O., Zaroni J. et. al. ZnO Transducers for Photoluminescence-Based Biosensors: A Review. *Chemosensors. Vol. 10(2022). P. 39-51.*

LONG-WAVE LUMINESCENCE of ZINC OXIDE COLLOIDAL NANOPARTICLES

Yu. Nitsuk, S. Huseynova, S. Sobkovych

Odesa I.I.Mechnikov National University
nitsuk@onu.edu.ua

Zinc oxide nanoparticles with different sizes of crystallites were obtained by the method of colloidal synthesis. It is shown that the maximum of long-wavelength luminescence does not shift with a change in the band gap. The nature of the radiative transitions determining the long-wave luminescence of zinc oxide nanoparticles has been established.

УМОВИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРОБОЮ ФРАКТАЛЬНОГО КАНАЛУ ПОЛЬОВОГО НАНОТРАНЗИСТОРА

А. Фасоляк, Т. Слюсарова, А. Засовенко, І. Килимник, В. Онуфрієнко

*Національний університет «Запорізька політехніка», машинобудівний інститут
onufr@zntu.edu.ua*

Зменшення довжини каналу метало-діелектричних напівпровідникових транзисторів сприяє підвищенню питомої крутизни вольт-амперних характеристик та граничної частоти. Коли поздовжні розміри напівпровідних структур досягли значень 1-2 мкм, ці закономірності перестали виконуватись. При цьому, якщо дизайн і трактування електростатичних закономірностей мало змінились за останні десятиліття, то фізична природа і характер переносу електронів суттєво змінюється на фоні зменшення довжини каналу провідності нанотранзистора, спостерігається зміна і форма вольт-амперної характеристики [1], що відбувається також і при зменшенні інших топологічних розмірів. Значну роль у побудові теорії відіграє нефостеровість фрактальних елементів, що проявляється у їх здатності створювати від'ємні характеристики ємності або індуктивності у локальному масштабі [2] за рахунок виникнення негативного зворотного зв'язку.

Побудову фрактальної моделі імітації нефостерівського нанощару окислу на межі метал-напівпровідник у просторі як функції множини здійснимо вводом у розгляд основних положень теорії фрактального шару на межі розділу двох середовищ:

визначення дробового диференціала $d^\alpha x = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \frac{dx}{(t-x)^{1-\alpha}}$, його зв'язку з дробовою

похідною $d^\alpha L(x) = {}_a D_{x_i}^\alpha L(x) d^\alpha x$. де дробова похідна ${}_a D_{x_i}^\alpha L(x)$ використовується у формі Рімана-Ліувілля. Для фрактально конфігурованого інверсійного шару з товщиною x_d у площині xOy та щільності струму $j(x, y)$ моделюємо струм стоку як

$$I_D^{(\alpha)} = a \int_0^{x_d} j(x, y) d^\alpha x.$$

З урахуванням у моделі фрактальності по y маємо вираз для щільності струму

$$j^{(\alpha)}(x, y) = -e\mu_n n \frac{dV(y)}{dy}; \quad \int_0^{x_d} e\mu_n n d^\alpha x = \mu_n^* Q_n^{(\alpha)}(y); \quad (1)$$

$$I_D^{(\alpha)} = -\mu_n^* a Q_n^{(\alpha)}(y) \frac{dV(y)}{dy}.$$

Коли напруга стік-витік V_{DS} перевищує напругу перекриття V_{DS}' , приповерхневу область напівпровідника можна подати у вигляді зворотнозмщеного $n^+ - p$ -переходу, до якого прикладено напругу $V_{DS} - V_{DS}'$ [1]. Довжина області перекриття l_s та співвідношення між товщиною області просторового заряду l та ефективною довжиною каналу l_e :

$$l_s^\alpha = l^\alpha - l_e^\alpha \approx \sqrt{k_s(V_{DS}' - V_{DS})}, \quad k_s = 2\varepsilon_s / qN. \quad (2)$$

З урахуванням (2) та узагальненого принципу подібності для фрактально конфігурованих структур $\frac{I_D^{(\alpha)}}{I_D'} = \left(\frac{l}{l_e}\right)^\alpha$ зв'язок струму стоку $I_D^{(\alpha)}$ зі струмом I_D' , що є відповідним напрузі перекриття V_{DS}' , отримуємо співвідношення

$$\frac{I_D}{I_D'} = \left(\frac{l}{l_e}\right)^\alpha; \quad I_D = I_D' \left(\frac{l}{l - \sqrt{k_s(V_{DS}' - V_{DS})}} \right)^\alpha. \quad (3)$$

Теоретично підтверджується сильний вплив скейлінгу каналу на перебіг стокових характеристик транзистора, що пояснюється фрактальністю каналу і механізмами, що викликають швидке зростання струму за великих V_{DS} : лавинне розмноження носіїв у каналі за рахунок ударної іонізації і пробій переходу стік-підкладка. Помічено значний вплив на зсув порогових значень пробивної напруги V_B в умовах «м'якого» та «різкого» пробою, що мотивується фрактальною конфігурацією переходів стік-підкладка. Якщо довжина каналу мала, а підкладка має малий скейлінг фракталізації, то границя переходу стік-підкладка знаходиться поблизу витоку, у зв'язку з чим виникає пробій стік-витік («прокол»). При цьому порушується наближений лінійний зв'язок між вихідною провідністю і струмом стоку, що спостерігається і експериментально підтверджується для класичних польових транзисторів [1].

Наведені теоретичні результати дослідження указують на необхідність урахування виявлених фактів у впровадженнях розглянутої структури транзистора з фрактальною конфігурацією каналу у складі напівпровідникових інтегральних мікро- і наносхем пристроїв дробового інтегродиференціювання в адаптивних системах, програмованих аналогових інтегральних схемах, фільтрах, розв'язувачах диференціальних рівнянь дробового порядку тощо.

[1] Cobbold R. Theory and Application of Field-effect Transistors. Wiley-Intersc. (1970).

[2] Onufrienko V.M., Slyusarova T.I., Onufrienko L.M. Modeling Characteristics of Field-Effect Fractal Nanotransistor. Proceedings 15-th International Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, Lviv-Slavske, Ukraine, 25-29 February 2020. Lviv. P.586-589. DOI: 10.1109/TCSET 49122.2020.235500.

THE ELECTRICAL BREAKDOWN CONDITIONS IN FRACTAL FIELD NANOTRANSISTOR CHANNEL

A. Fasoliak, T. Slyusarova, A. Zasovenko, I. Kylymnyk, V. Onufrienko

*Dep. of Engineering, National University «Zaporizhzhia Polytechnic»
onufr@zntu.edu.ua*

The work theoretically confirms the strong channel fractal scaling influence on the drain characteristics course of nanotransistor. This is explained by the fractality of the channel and the mechanisms that cause the rapid increase of the current at high voltages between the drain and the source, by the avalanche multiplication of carriers in the channel due to shock ionization, and the breakdown of the drain-substrate. A significant effect on the shift of the breakdown voltage threshold values in the conditions of "soft" and "sharp" breakdown was observed, which is motivated by the fractal configuration of the drain-substrate transitions.

МЕХАНІЗМИ ЛАЗЕРНОЇ РЕЛАКСАЦІЇ ДЕФЕКТІВ, ТЕРМІЧНИХ НАПРУГ ТА ПЕРЕХІДНИХ ОБЛАСТЕЙ В ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ І ОПТИЧНИХ СТРУКТУРАХ НА БАЗІ CdSb, In₄Se₃, In₄Te₃

М. Сорокати́й, В. Стребе́жев, І. Ю́рійчук

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
m.sorokaty@chnu.edu.ua*

Особливості розподілу структурних дефектів і полів механічних напруг в шарах епітаксійних гетеропереходів і в мультишарах тонкоплівкових оптичних елементів на основі ромбічних монокристалів CdSb, In₄Se₃, In₄Te₃ пов'язані з технологічними умовами вирощування та розбіжністю параметрів ґраток і коефіцієнтів термічного розширення структур. Досягнути релаксації напруг і дефектних областей в різноманітних "сендвіч" – структурах для опто-фотоелектроніки можна керованою дією імпульсного лазерного випромінювання в режимах проплавки, або відпалу. Кристали складних напівпровідників CdSb, In₄Se₃, In₄Te₃ володіють відповідно шириною забороненої зони 0,48 еВ; 0,65 еВ, 0,48 еВ, що визначає спектральну фоточутливість і оптичні характеристики в близькій та середній ІЧ-області [1, 2]. Лазерна оптимізація структурної досконалості фотоприймачів та оптичних фільтрів на їх основі дозволяє покращити параметри елементів для застосування в приладах ІЧ-техніки.

Фоточутливі гетероструктури на основі CdSb, In₄Se₃, In₄Te₃ в даній роботі отримані методом рідинно-фазової епітаксії, а тонкоплівкові інтерференційно-абсорбційні відрізнні фільтри, з одним та кількома оптичними каналами, виготовлялися електронно-променевим напилюванням плівкоутворюючих матеріалів Ge, ZnS, SiO у високому вакуумі.

З метою оптимізації структурної досконалості гетеро границі та зменшення на ній густини поверхневих станів, процес рідинної епітаксії проводився з малою швидкістю охолодження системи порядку $\nu=0,1-0,4$ К/хв, а також застосовувалася лазерна обробка (ЛО) нарощених епітаксійних шарів і плівок. Використовувався мілісекундний імпульсний YAG-лазер "Квант-12" з довжиною хвилі $\lambda=1,06$ мкм.

Дослідження показали, що лазерний відпал виготовлених структур сприяє релаксації систем структурних дефектів в результаті прояву механізму дії полів термопружних напруг у твердій фазі, при швидкому термічному процесі впливу лазерного імпульсу. Електронномікроскопічними та оптичними дослідженнями зразків встановлено, що при оптимальній густині лазерного опромінення в гетероструктурі формується вузька перехідна область, а в епітаксійних шарах зменшується кількість дефектів упаковки та дислокацій.

Морфологія поверхні епітаксійних шарів після ЛО має східчастий характер, або набуває більш планарного вигляду (рис. 1 а, б). Фоточутливість модифікованих ЛО гетероструктур CdSb–Cd_{1-x}Zn_xSb та In₄Se₃–In₄Te₃ зростає, а спектральні характеристики ФЧ оптимізуються у діапазоні довжин хвиль близької ІЧ-області.

Були розраховані багатошарові інтерференційні фільтри на основі плівкових систем (плівки Ge, ZnS, SiO), що наносилися на пластини з монокристалів CdSb та In₄Se₃ [3]. Застосування ЛО для цих оптичних елементів показало, що зсув границі відрізнання

фільтрів в області $\lambda_{\text{гр.}}=2\div4$ мкм, обумовлено механізмом зміни показника заломлення складових плівок під дією лазерного відпалу. Оптимізовані методом ЛО багатоканальні світлофільтри на основі комбінацій фільтрів на основі CdSb та In_4Se_3 з різною границею відрізання можуть бути застосовані у приладах з відповідною матрицею фотоприймачів.

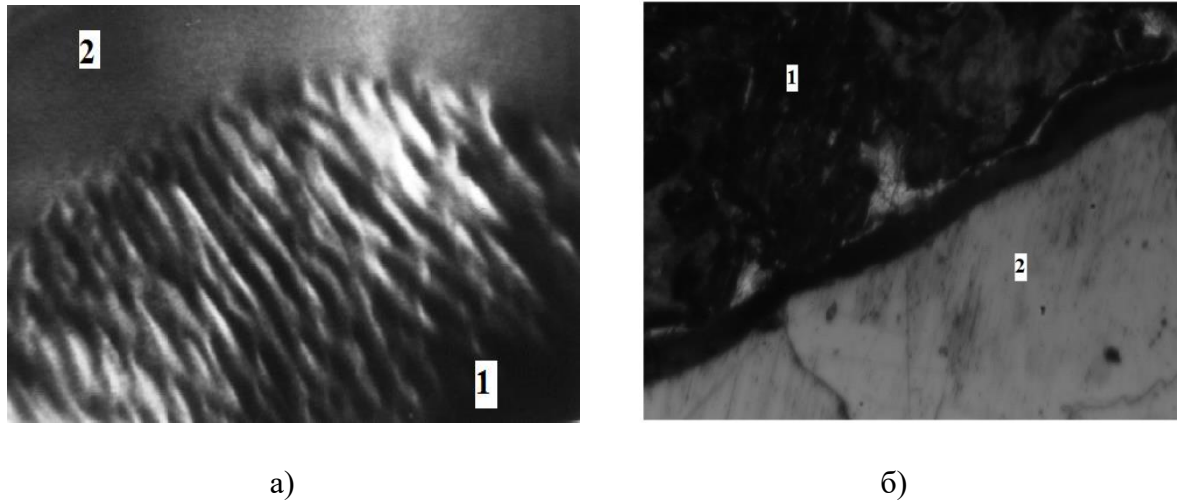


Рис. 1. Морфологія епітаксійних гетероструктур: а) шар CdSb – ZnSb; б) шар In_4Se_3 – In_4Te_3 після лазерного відпалу: 1– епітаксійний шар, 2 – кристал-підкладка.

- [1] Melnychuk T.A., Strebegev V.N., Vorobets G.I. Laser synthesis of thin films and layers of In_4Se_3 , In_4Te_3 and modification of their structure. *Applied Surface Science*. Vol.254. (2007). P.1002–1006.
- [2] Benramdane N., Bouzidi A., Tabet-derraz H., Kebbab Z., Latreche M. Optical constants of InSe and In_4Se_3 thin films in the far infrared region. *Micro. Eng.* Vol.51–52. (2000). P. 645–657.
- [3] Ащеулов А.А., Грицюк Б.Н., Стребежев В.Н. Инфракрасные отрезающие фильтры на основе монокристаллов CdSb, ZnSb для оптофотоелектронных устройств. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. Т.79. (2009). С.34–40.

LASER RELAXATION MECHANISMS OF DEFECTS, THERMAL STRESSES AND TRANSITION AREAS IN PHOTOELECTRIC AND OPTICAL STRUCTURES BASED ON CdSb, In_4Se_3 , In_4Te_3

M. Sorokatyi, V. Strebezhev, I. Yuriychuk

*Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
m.sorokatyi@chnu.edu.ua*

Photosensitive heterostructural elements and cut-off interference filters based on the CdSb and In_4Se_3 crystals were obtained. Electron microscopic studies of the samples showed that optimal laser annealing forms a narrow transition region in heterostructures and reduces the density of defects. Cut-off filters based on CdSb and In_4Se_3 with $\lambda_{\text{th}} = 2.5 \div 4.0$ μm and $\lambda_{\text{th}} = 1.9 \div 3.5$ μm respectively were also optimized by laser action.

МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ДАТЧИКІВ НА ОСНОВІ ЕЛЕМЕНТІВ НА ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЯХ

Я. Лепіх, В. Янко, П. Снігур

*Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України
при Одеському національному університеті імені І.І.Мечникова,
ndl_lepikh@onu.edu.ua*

Аналіз показує, що незважаючи на існуючі можливості удосконалення датчиків на основі традиційних принципів кардинальні рішення проблеми створення датчиків нового покоління - інтелектуальних датчиків, лежать на шляху використання нових принципів їх побудови. Одним з найбільш перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є використання акустоелектронних явищ, особливо тих, що мають місце при поширенні поверхневих акустичних хвиль (ПАХ) в п'єзоелектриках і шаруватих структурах [1-2]. Крім високих метрологічних характеристик датчики цього типу внаслідок властивого їм частотного виду вихідного сигналу відрізняються швидкодією і легкістю їх спряження з мікропроцесорною технікою, що забезпечує їх інтелектуалізацію і роботу в режимі "on - line".

В доповіді наводяться результати досліджень отриманих при створенні датчиків лінійного і кутового переміщення.

Вихідний сигнал таких датчиків генерується схемою з лінійним підсилювачем і частотозадаючим елементом у ланцюгу зворотного зв'язку лінією затримки (ЛЗ) на ПАХ. Залежність частоти вихідного сигналу є монотонною, квазілінійною, слабо і монотонно залежить від температури.

Для визначення поточної температури у конструкцію датчика вбудовані інтегральні цифрові датчики температури, що мають тепловий контакт із залежними від температури компонентами. Цифрові дані цих датчиків як і вихідний сигнал є вхідними для блоку забезпечення інтелектуалізації (БЗІ).

Усі вхідні дані задіяні у реалізації алгоритму цифрової обробки в БЗІ. Ще один канал введення – кнопки керування інтерфейсом користувача.

Залежність частоти від величини переміщення є основною метрологічною характеристикою датчика. Немає економічно виправданої методики отримання аналітичного уявлення цієї залежності. Проблема можна вирішити запам'ятовуванням експериментально отриманої характеристики. Ефективно для цього застосувати мікропроцесорні цифрові технології. Доцільно використовувати алгоритми, що вимагають меншої кількості елементів пам'яті. Більш економічними є алгоритми запам'ятовування емпіричних залежностей, засновані на математичних методах апроксимації нелінійних функцій, оскільки потрібно менше даних, а частина даних задається аналітично.

Крім основних функцій, що забезпечують метрологічні характеристики, БЗІ виконує інтерфейсні та сервісні функції. Ці функції служать для забезпечення налаштування та вдосконалення конструкції датчика, вибору експлуатаційних параметрів під конкретне завдання застосування датчика.

Формалізація шматково-лінійної функції з урахуванням температурної нестабільності на програмному рівні (у програмуванні вбудованих процесорів переважно використовується мова C/C++), реалізована двовимірним масивом $\text{Dat}[N][T+1]$ константних змінних типу `const float` (з плаваючою точкою). Тобто масив довжиною $T+1$ масивів довжиною N , де N – число апроксимуючих точок залежності дистанції від частоти; T – число значень температури, у яких було отримано

експериментальні залежності. Масив $\text{Dat}[N][0]$ є незалежною змінною, набір обраних для апроксимації значень частоти, монотонно зростаючих у міру збільшення індексу.

Ці дані є константними для програми мікропроцесора, що вбудовується, і можуть бути згодом скориговані або замінені. Дані одержують за допомогою алгоритмізованих вимірювальних процедур.

Отримані результати можуть бути корисними при створення датчиків різного функціонального призначення що мають частотний вигляд вихідного сигналу.

- [1] Лепіх Я.І., Гордієнко Ю.О., Дзядевич С.В., Дружинин А.О., Євтух А.А., Ленков С.В., Мельник В.Г., Проценко В.О., Романов В.О. Інтелектуальні вимірювальні системи на основі мікроелектронних датчиків нового покоління. Монографія. Одеса: Астропринт.-2011. 352 с.
- [2] Lepikh Ya.I. Acoustoelectronic devices with controlled characteristics. "Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics» (UkrMiCo), Odesa, Ukraine, 2017, 11-15 Sept. 2017, International Conference.

METHOD OF INTELLECTUALIZATION OF SENSORS BASED ON ELEMENTS ON SURFACE ACOUSTIC WAVES

Ya. Lepikh, V. Yanko, P. Snigur

*Interdepartmental scientific-educational physics and technical center of MES and
NAS of Ukraine at the Odesa I.I. Mechnikov National University
ndl_lepikh@onu.edu.ua*

In the report, the methods of their intellectualization are given using the example of the creation of linear and angular displacement sensors on SAW.

The method can be used for intellectualization of sensors created on other principles.

ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКУ НА ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЮ КРИСТАЛІВ СУЛЬФІДУ ЦИНКУ

М. Буланій, О. Коваленко

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
bulanyi@ukr.net*

При пластичній деформації дислокації зрушуються з місця і починають переміщатися всередині обсягу кристала, в якому приблизно рівномірно розподілені центри світіння.

Кожний компоненті широкої смуги випромінювання відповідає свій люмінесцентний центр, а її інтенсивність залежить від умов збудження.

УЗ коливання збуджувалися в керамічному п'єзоперетворювачі із цирконаттитаната свинцю на резонансній частоті перетворювача, що становила 1 МГц.

Спостережувані зміни спектру ФЛ пояснюються процесами, пов'язаними з рухом дислокацій, викликаних пружними механічними коливаннями в кристалах при поширенні в них УЗ коливань.

Таблиця. Розкладення спектрів люмінесценції ZnS:Cu на елементарні смуги.

№	λ , нм	$\Delta\lambda$, нм	$I/I_{\max 1}$	$I/I_{\max 2}$
1	466	70	0.23	0.2
2	486	39	0.37	0.39
3	502	30	0.35	0.37
4	520	34	0.5	0.5
5	542	42	0.4	0.42
6	580	42	0.08	0.09

IMPLIED ULTRASOUND TO PHOTOLUMINESCENCE CRYSTAL IN ZINC SULFIDE

M. Bulanyi, A. Kovalenko

*Oles Honchar Dnipro National University
bulanyi@ukr.net*

The dependence of the intensity of individual luminescence bands in zinc sulfide crystals on the action of ultrasonic vibrations has been studied.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ СИНТЕЗУ НАНОКРИСТАЛІВ ZnO ТА ЇХ СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

С. Кахерський, О. Шаповалов, Р. Пшеничний, А. Опанасюк

*Сумський державний університет
s.kacherski@ekt.sumdu.edu.ua*

Серед матеріалів, які використовуються для створення елементів електронних приладів, останнім часом все більша увага приділяється оксиду цинку (ZnO), який має фізико-хімічні властивості придатні для застосування у фотоелектриці, термоелектриці, сенсориці тощо.

У наш час для нанесення плівок ZnO використовуються різноманітні фізичні та хімічні методи, при цьому останні набувають все більшого поширення. Методи 2D та 3D друку, що відносяться до класу хімічних, є доступними, економічними, гнучкими та безвідходними техніками одержання компонентів гнучких електронних приладів. Сьогодні запропоновано декілька технік 3D друку: струменевий, трафаретний друк, друк гравіруванням, рапельне нанесення (Blade coating), нанесення плівок розпилюванням (спрей метод) тощо.

У представлений роботі проведено оптимізацію процесу синтезу нанокристалів ZnO з метою створення чорнил на основі їх суспензії, досліджено морфологічні та структурні характеристики нанокристалів у залежності від часу синтезу.

Нанокристали ZnO було одержано методом поліольного синтезу. При цьому, суміш 8,8 мл дигідрату ацетату цинку, 40 мл етиленгліколю, 1,76 мл полівінілпіролідону нагрівалась до температури 160 °C (швидкість нагріву складала 16 °C/хв) і

витримувалась протягом 180 хв. У процесі росту матеріалу відбиралися кристали в різний проміжок часу, t : 30 хв, 60 хв, 120 хв та 180 хв.

Морфологічні та структурні властивості ZnO було вивчено методами просвічувальної і сканувальної електронної мікроскопії, рентгенівської дифрактометрії, енергодисперсійної. Для дослідження хімічного складу отриманих зразків використовувався енергодисперсійний спектрометр AZtecOne з детектором X-MaxN20 (виробник Oxford Instruments plc) сканувального електронного мікроскопу SEO-SEM Inspect S50-B. Для дослідження структурних характеристик зразків використовувалося Ni-фільтроване K_α випромінювання мідного анода рентгенівського дифрактометра ДРОН 4-07 з встановленим режимом роботи рентгенівської трубки: $U = 30$ кВ; $I = 20$ мА. Діапазон знімання дифрактограм 2θ склав $20^\circ - 80^\circ$, де 2θ – брегівський кут. Фокусування рентгенівського випромінювання проводилося за методом Брега-Брентано. Одержані дифрактограми нормувалися на інтенсивність піку (002) гексагональної фази сполуки.

За результатами рентгеноструктурних досліджень встановлено, що одержані нанокристали ZnO були однофазними та мали гексагональну структуру, що підтверджено методом раманівської спектроскопії. Розміри кристалів змінювались в інтервалі $d = (12,0-17,3) \pm 3$ нм у залежності від часу росту, що дозволило досягти прецизійного контролю. Аналіз інтенсивності та півширини піків оксиду цинку на дифрактограмах показав, що зі збільшенням часу росту нанокристалів, кристалічна якість матеріалу покращується в інтервалі часу росту $t = (30-120)$ хв та погіршується при $t > 120$ хв. Установлено, що кристали ZnO при $t = 120$ хв вступають у стадію дозрівання Освальда. Методом енергодисперсійної спектроскопії визначено, що нанокристали містять надлишок кисню.

З'ясовано, що розраховане значення сталої ґратки a у ZnO збільшується від 0,32454 нм (30 хв) до 0,32588 нм (120 хв) при збільшенні часу синтезу, наближаючись до довідникових даних ($a = 0,32535$ нм), що пов'язано з покращенням стехіометрії матеріалу. При подальшому збільшенні t це значення зменшується до 0,32502 нм. Слід відзначити, що значення параметру c при цьому змінюється в інтервалі $c = (0,52105-0,52221)$ нм. Значення об'єму елементарної комірки, $V_{\text{ґрат}}$, матеріалу монотонно збільшується при зростанні часу росту. Як свідчать результати досліджень, кристали одержані при часі синтезу 120 хв, мають найкращу стехіометрію, тому і були вибрані для подальшого утворення чорнил на їх основі.

Диспергуванням синтезованих нанокристалів ZnO в екологічно безпечній суміші рідин вода-спирт-гліколь-полівінілпіролідон з низькими температурами випаровування ($T < 200^\circ\text{C}$) сформовані чорнила з контрольованими властивостями. Одержані чорнила на основі суспензії наночастинок ZnO в подальшому були використані нами для друку плівок 3D принтером струменевим та спреї методами на скляних і гнучких підкладках.

OPTIMIZATION OF ZnO NANOCRYSTALS SYNTHESIS PROCESSES AND THEIR STRUCTURAL PROPERTIES

S. Kakherskyi, O. Shapavalov, R. Pshenychnyi, A. Opanasyuk

*Sumy State University
s.kacherski@ekt.sumdu.edu.ua*

This article demonstrates the results of a synthesis of ZnO nanocrystals and their structural properties for development of nanoinks to print thin films. ZnO nanocrystals were obtained by polyol synthesis. According to the results of X-ray structural investigations, we

observed that synthesized ZnO nanocrystals contain a single-crystal phase of zinc oxide and had a hexagonal lattice, these results were confirmed by Raman spectroscopy. Synthesized ZnO nanocrystals changed its size in the range of $d = (12.0-17.3) \pm 3$ nm depending on the growth time, which allowed for precise control. It was found that lattice parameter a of ZnO nanocrystals changed in the range from 0.32454 nm (30 min) to 0.32588 nm (120 min), as synthesis time increases, parameter approaches the reference values ($a = 0.32535$ nm), which is related to improving the stoichiometry of the material.

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ МЕТАЛООКСИДНОЇ ПОЛІКРИСТАЛІЧНОЇ КЕРАМІКИ

О. Коваленко, С. Мазурик

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
stas_mazurik@mail.ukr.net*

Існує безліч електронних приладів на основі металооксидної напівпровідникової полікристалічної кераміки (МППК), наприклад, таких як варистори, позистори, керамічні резистори і конденсатори та інш. До складу таких приладів як правило входить кілька компонентів, тому підбір складу для отримання необхідних електрофізичних властивостей є складним, тривалим та енергоємним завданням. Розглянемо, наприклад, процес виготовлення варистора на основі ZnO. Спочатку вихідні компоненти зважуються, потім змішуються в однакових умовах в дистильованій воді, проводиться сушіння отриманої суміші та пресування заготовок при заданому конкретному тиску. Далі проводиться випал з певною швидкістю до заданої температури, витримка при цій температурі і охолодження з певною швидкістю до кімнатної температури. Далі йде процес нанесення та випал срібних електродів із заданими швидкостями нагріву та охолодження. Після цього можна приступити до вивчення властивостей отриманих зразків. Зрозуміло, що процес виготовлення металооксидної напівпровідникової полікристалічної кераміки багатоступиневий, складний та енергоємний.

Існує безліч методів прогнозування даних, наприклад, побудова фізичної моделі. Завдання побудови фізичної моделі у разі МППК ускладнюється через нелінійну поведінку керамічних матеріалів залежно від відсоткового вмісту складових. Збільшення кількості проведених експериментів підвищує точність прогнозу, однак у багатьох практичних випадках відсутня можливість проведення додаткових експериментів.

Перспективним напрямком аналізу фізичних моделей є підхід заснований на методах штучного інтелекту, наприклад використання нейронних мереж, що самоорганізуються, та забезпечують прогноз на основі обмежених обсягів інформації [1]. Вони добре зарекомендували себе при моделюванні систем і процесів, внутрішні обмеження яких або недостатньо вивчені, або взаємодіють складним чином [2].

В роботі представлена методика яка спираючись на існуючу базу експериментальних даних електрофізичних властивостей зразків МППК та використання відповідного сучасного програмного забезпечення дозволяє провести моделювання експериментальних робіт та передбачити фізичні властивості МППК, що в свою чергу дозволяє зменшити об'єм експериментальних робіт та обґрунтувати оптимальний склад кераміки [3].

- [1] Кохонен Т. Самоорганізуючі карти. [пер. 3-го англ. изд. В.Н. Агеева под ред. Ю.В. Тюменцева]. М.: Бинум. Лаборатория знаний. (2008). 665 с.
- [2] Егоров А., Ахметшина Л. Оптимизация яркости изображений на основе нейро-фаззи технологий. Монография. Изд. Lambert. (2015). 139 с.
- [3] Ахметшина Л.Г., Мазурик С.В., Скуратовський І.А. Прогнозування властивостей багатокомпонентних керамік на основі мережі Кохонена, що само організується. Системні технології. (2020). Дніпро. № 1(126). С. 3-13.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR PREDICTING THE PROPERTIES OF METAL OXIDE SEMICONDUCTOR POLYCRYSTALLINE CERAMICS

A. Kovalenko, S. Mazuryk

*Oles Honchar Dnipro National University
stas_mazurik@mail.ukr.net*

The selection of a composition to obtain the required electrical properties for samples of metal oxide semiconductor polycrystalline ceramics is a complex, time-consuming and energy-intensive task.

The work presents a technique that, based on the existing database of experimental data on the electrophysical properties of MNPC samples and the use of appropriate modern software, allows to conduct modeling of experimental work and predict the physical properties of MNPC, which in turn allows to reduce the volume of experimental work and justify the optimal composition of ceramics.

ФОТОСЕНСОРИ НА ОСНОВІ α -ZnSe

М. Сльотов¹, О. Сльотов², О. Кінзерська, В. Мельник

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

¹m.slyotov@chnu.edu.ua, ²o.slyotov@chnu.edu.ua

Фоточутливі структури широко використовуються у різних областях науки і техніки, а також при проведенні екологічних і медичних досліджень, проблем біотехнології тощо. Застосовувані для цього сучасні фотоелектронні прилади можуть виготовлятися як окремі пристрої (фотодіоди, сонячні елементи тощо), так і у різного типу системах відображення інформації та приладах інтегральної оптики [1]. Тому важливим завданням є використання новітніх матеріалів, серед яких важлива роль належить гетерошарам нетипових, проте стійких за властивостями кристалічних модифікацій.

Проведені дослідження виявили можливість отримання α -ZnSe зі стабільною гексагональною структурою методом ізовалентного заміщення (ІВЗ). За ним проводився ізотермічний відпал підкладок гексагональних кристалів α -CdSe у парі ізовалентної домішки Zn, що обумовило утворення на його поверхні гетерошарів (ГШ) α -ZnSe. На відміну від кубічного β -ZnSe вони проявляють сильну анізотропію властивостей у процесах формування фоточутливості і випромінювання. Для виявлення їх особливостей

проводилися дослідження властивостей з використанням λ -модуляції, яка істотно підвищувала чутливість і роздільну здатність вимірювань [2]. За ними вперше визначені параметри зонної структури гексагонального α -ZnSe, які становлять $\Delta_{CR} = 0,07$ еВ і $\Delta_{SO} = 0,37$ еВ. Вони визначають характер фоточутливості ГШ α -ZnSe до поляризації падаючого оптичного випромінювання рис.1.

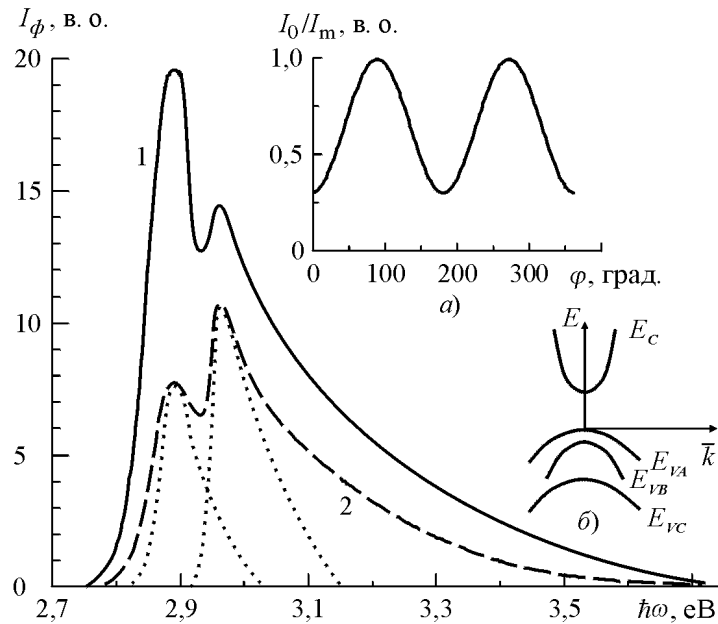


Рис. 1 Спектри фоточутливості структур $Ni-\alpha$ -ZnSe виміряні при інтенсивності опромінення Φ_1 (1) та Φ_2 (2) при $\Phi_1 > \Phi_2$. На вставках: а) залежність відношення величин фотострумів I_0/I_m від орієнтації поляроїда; б) зонна енергетична структура напівпровідників з гексагональною модифікацією кристалічної ґратки.

Встановлено залежність від поляризації як інтенсивності фотоструму, так і його спектра. Спектральний діапазон фоточутливості сенсорів з бар'єрною структурою $Ni-\alpha$ -ZnSe становить 2,72-3,75 еВ. Розподіл фоточутливості характеризується залежністю величини фотоструму від енергії падаючих квантів та інтенсивності опромінення. Спостерігаються особливості при $\hbar\omega = 2,87$ еВ і 2,96 еВ. Отримані значення відповідають енергії оптичних переходів за участю головної підзони $E_g = 2,89$ еВ і підзони, відщепленої кристалічним полем $\Delta_{CR} = 0,07$ еВ. Встановлено, що при зміні інтенсивності опромінення має місце перерозподіл величини складових фотоструму відповідно до орієнтації поляризації оптичного опроміння, що реєструється. Подібна залежність спектрального розподілу спостерігається при дослідженнях оптичного відбивання R'_o . Аналогічні до фотопровідності процеси спостерігаються при фотолюмінесценції, яка характеризується квантовою ефективністю $\eta \sim 10$ -12% [3].

Фотодетектори виготовлялися за класичною технологією вакуумного розпилення плівки Ni (25-30% коефіцієнт їх пропускання). Прямі та обернені вольт-амперні характеристики характеризуються лінійністю і симетричністю ВАХ. Для бар'єру $Ni-\alpha$ -ZnSe властивий коефіцієнт випрямлення 10^4 при $U = 1,5$ В. Інтегральна фоточутливість змінюється відповідно до орієнтації поляризації реєстрованого опромінювання. Відповідно значення коефіцієнта фотоструму становить $P \sim 72\%$ згідно відомого виразу

$$P = \frac{I_\phi^{\parallel} - I_\phi^{\perp}}{I_\phi^{\parallel} + I_\phi^{\perp}}. \quad (1)$$

Величина коефіцієнта вказує на істотний вплив анізотропії гексагональної ґратки гетероструктур α -ZnSe на властивості фотодетектора.

- [1] Sadao Adachi Properties of Semiconductor Alloys: Group-IV, III-V and II-VI Semiconductors. New Jersey: Wiley. (2009). 422 P.
- [2] Makhniy V.P., Slyotov M.M., Stets E.V., Tkachenko I.V., Gorley V.V., Horley P.P. Application of modulation spectroscopy for determination of recombination center parameters. Thin Solid Films. 450. (2004). P. 222-225.
- [3] Slyotov M.M., Slyotov O.M. Preparation and luminescent properties of zinc sulfoselenide thin films. Physics and Chemistry of Solid State. V. 20, № 4. (2019). P. 354-359.

PHOTOSENSORS BASED ON α -ZnSe

M. Slyotov¹, O. Slyotov², O. Kinzerska, V. Melnyk

Yury Fed'kovich Chernivtsi National University

¹ m.slyotov@chnu.edu.ua, ² o.slyotov@chnu.edu.ua

Photosensors based on Ni - α -ZnSe surface-barrier structures were obtained. It was established that the anisotropic hexagonal structure of α -ZnSe heterolayers determines the appropriate spectral distribution of the photocurrent. An assessment of the change in the value of the photocurrent coefficient was carried out and its value was determined – $P \sim 72\%$.

ВИЗНАЧЕННЯ ДИСПЕРСІЙ ФУНКЦІЙ ГАУСА СКЛАДОВИХ СПЕКТРА ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ КРИСТАЛІЧНИХ ЛЮМІНОФОРІВ

О. Морозов, М. Буланий

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

morozov@ffeks.dnu.edu.ua

Завдання про розкладання спектру $f(x)$ (де x – довжина хвилі) спектру фотолюмінесценції кристалічних люмінофорів, що має вигляд одного яскраво вираженого максимуму, на n складових у вигляді функцій Гауса може бути розширена за рахунок визначення сукупності їх амплітуд і дисперсій. $A_i \exp[-(x-x_i)^2 / \sigma_i]$, де A_i – амплітуда, σ_i – дисперсія.

$$\sum_{i=1}^n A_i \exp[-(x-x_i)^2 / \sigma_i] = f(x) \quad (1)$$

Природним прийомом для розкладання є проектування експериментального спектру, що апроксимується степеневим поліномом в інтервалі довжин хвиль випромінювання зразка, на кожному з його складових з подальшим інтегруванням по всій довжині нескінченної осі.

$$\sum_{i=1}^n A_i \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-(x-x_i)^2 / \sigma_i] \exp[-(x-x_j)^2 / \sigma_j] dx = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp[-(x-x_j)^2 / \sigma_j] dx, \quad (2)$$

де $j = 1, 2, \dots, n$

Початок відліку на осі вибираємо на тій довжині хвилі спектра, в якій випромінювання досягає максимального значення. В результаті отримуємо лінійні для амплітуд і нелінійні для дисперсій рівняння, число яких дорівнює числу компонентів. Для отримання замкнутої системи рівнянь з числом рівнянь, що дорівнює числу невідомих, проектуємо експериментальний спектр $f(x)$, що тепер будемо апроксимувати частинами двох функцій Гауса однакової амплітуди, але різних дисперсій з максимумами на початку координат (підбором значень амплітуди та дисперсій), на набір функцій: постійної, першого степеню і наступних степенів (за кількістю складових мінус одна). Якщо відомо (наприклад, у кристалах ZnS:Mn), що зі складових є дві смуги з відносно великими амплітудами, одна з дуже малою і інші з середніми, то систему рівнянь можна розщепити [1], отримавши окрему для складових з великими амплітудами, які потім використовуються відомими в системі для середніх і останньою визначається складова з малою амплітудою.

- [1] Морозов О.С. Визначення параметрів функцій Гауса індивідуальних смуг спектра фотолюмінесценції методом розкладення за власними формами. Збірник наукових праць «Системні технології» - 2022, Випуск 3 (140), Д.: НМетАУ, с. 155-162.

DETERMINATION OF GAUSS FUNCTIONS DISPERSION FOR CRYSTALLINE PHOSPHORS PHOTOLUMINESCENCE SPECTRUM COMPONENTS

A. Morozov, M. Bulaniy

*Oles Honchar Dnipro National University
morozov@ffeks.dnu.edu.ua*

The problem of decomposing the photoluminescence spectrum of crystalline phosphors, which has the form of a single expressed maximum, into components in the form of Gaussian functions can be expanded by determining a set of their amplitudes and dispersions. A natural method for decomposing is the projection of the experimental spectrum, approximated by a power polynomial in the range of sample emission wavelengths, on the each of its components, followed by integration over the entire length of the infinite axis. The origin on the axis is chosen at the spectrum wavelength, in which the radiation reaches its maximum value. As a result, we obtain linear equations for amplitudes and nonlinear equations for dispersions. The number is equal to the number of components. To obtain a closed system of equations with a number of equations equal to the number of unknowns, we project the experimental spectrum, which we will now approximate by parts of two Gaussian functions of the same amplitude, but different dispersions with maxima at the origin (by selecting amplitude and dispersion values), onto a set of functions: constant, first degree and subsequent degrees (according to the number of components minus one). If it is known (for example, in ZnS:Mn crystals) that among the components there are two bands with relatively large amplitudes, one band of very small amplitude and others with medium amplitudes, then the system of equations can be split, obtaining a separate one for components with large amplitudes, which are then used by those known in the system for components with medium amplitudes and the last component with small amplitude is determined.

СИСТЕМИ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ РОСТОВИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОЩУВАНИХ ЗЛИТКІВ ІЗ РОЗПЛАВУ

Б. Лисицин, О. Вашерук

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
bohdan.lysytsyn@gmail.com*

Враховуючи контрольовані параметри технологічного процесу можна отримати залежність концентрації домішки у злитку, що вирощується, від довжини кристала і радіуса.

Для отримання структурно досконалих монокристалів необхідно підтримувати опуклий у розплав фронт кристалізації і осьові і радіальні градієнти температур на межі розплав - кристал, що не змінюються в ході процесу.

Зміна умов процесу вирощування (швидкості підйому затравки, числа обертів її і тигля) впливає як на градієнти температури в розплаві, так і на форму фронту кристалізації.

Сумарна теплопровідність у зоні вирощування визначається за такою формулою:

$$q_p + q_k = C_{np} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] + \frac{\lambda_r (T_1 - T_2)}{\delta_r},$$

де q_p – тепловий потік випромінюванням; q_k – тепловий потік теплопровідністю та конвекцією; λ_r – коефіцієнт теплопровідності газового прошарку; δ_r – товщина газового прошарку; C_{np} – приведений коефіцієнт випромінювання.

Тоді сумарний тепловий потік $q_{\text{сум}} = \alpha_{\text{л}} \cdot (T_1 - T_2) + \frac{\lambda_r (T_1 - T_2)}{\delta_r}$, де

$$\alpha_{\text{л}} = C_{np} \frac{\left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{(T_1 - T_2)} - \text{коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням.}$$

Умови зростання кристала характеризуються за допомогою параметра $\xi = V/G$ (V – швидкість росту, G – осьова складова градієнта температури у кристалі біля фронту кристалізації), який, як показано Воронковим [1], визначає, який вид власних точкових дефектів переважає у зростаючому кристалі (при $\xi \leq 3.3 \times 10^{-5}$ см²/(К с) переважають міжвузельні атоми, при $\xi > \xi_t$ – вакансії).

Для отримання структурно-досконалих монокристалів важливо знати залежність дислокацій від основних фізичних факторів, у тому числі від характеру температури поля $T(r)$ у злитку, що росте. Розглядаючи одновимірну задачу, коли температура $T(z)$ залежить осьової координати z в області $Z_1 \leq z \leq Z_2$ і задовольняє граничним умовам $T(Z_1) = T^1$ і $T(Z_2) = T^2$.

Тоді розподіл температури вздовж осі зливка можна виразити рівнянням $T^{(2)} = kz + c$, де k, c – довільні коефіцієнти. Здійснивши деякі перетворення отримаємо вираз для функціоналу F інтегральної скалярної щільності дислокацій $F = (2/b\chi S) \int_{z_1}^{z_2} |T_z(z') - k| dz'$, де S – площа поперечного перерізу кристала. При

заданому температурному полі [2] $T(z)$ функціонал F залежить від невідомої константи k , яка входить у загальний вираз для $T^{(2)}(z)$.

$$T(z) = T(z) = T_1 + k_0(z - z_1)$$

$$k_0 = (T_2 - T_1) / (z_2 - z_1)$$

При цьому інтегральна скалярна щільність дислокацій $F = 0$. Таким чином, лінійне температурне поле є ідеальним з погляду вирощування бездислокаційних кристалів.

Коли $T(z)$ відрізняється на малу величину δT , і $T(z) = T(z) + \delta T(z)$ значення буде мало відрізнятися від k_0 , так що $k \approx k_0$, тоді щільність дефектів $\rho_1 \approx (2/b\chi) |\delta T / \delta z - k_0|$

Запропонована модель може бути використана для оцінки скалярної густини дислокацій, що виникають при зростанні монокристалів з розплаву.

[1] Voronkov V.V. The Mechanism of Swirl Defect Formation in Silicon Crystals. // J. Cryst. Growth. – 1982. – Vol.59, №3. – P. 625-643.

[2] Оксанич А. П. Вашерук А. В., Кротюк И. Г. Моделирование температурных полей в системе расплав кристалл в процессе выращивания монокристаллов кремния методом Чохральского”, Кременчук, 2003.

SYSTEMS OF ACTIVE CONTROL OF GROWTH PARAMETERS OF GROWN INGOTS FROM THE MEL

B. Lysytsyn, O. Vasheruk

*Oles Honchar Dnipro National University
bohdan.lysytsyn@gmail.com*

Taking into account the controlled parameters of the technological process, it is possible to obtain the dependence of the impurity concentration in the grown ingot on the crystal length and radius.

The proposed model can be used to estimate the scalar density of dislocations that arise during the growth of single crystals from a melt.

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ І ФАЗОВОГО СКЛАДУ ШАРІВ SnS ШЛЯХОМ ЇХ ВІДПАЛІВ

В. Євдокименко¹, Р. Пшеничний¹, О. Klymov²,
А. Опанасюк¹, V. Muñoz-Sanjosé²

¹Сумський державний університет, Україна

²Universitat de València, Spain

v.yevdokymenko@ekt.sumdu.edu.ua, opanasjuk_sumdu@ukr.net

Останнім часом плівки сполуки SnS розглядаються дослідниками як альтернатива поглинальним шарам $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ при виготовленні дешевих тонкоплівкових сонячних елементів (СЕ) наземного базування. Це пов'язано з меншою кількістю елементів, що входять у склад сульфиду сірки, та більшою областю гомогенності сполуки. Як результат, полегшується процес одержання однофазних плівок високої структурної якості. Відповідний матеріал має близьку до оптимуму Шоклі-Квайзера ширину забороненої зони ($E_g \sim 1,3$ еВ), власну провідність p -типу та великий коефіцієнт поглинання світла, крім цього він характеризується значним часом життя носіїв заряду, а також високою їх рухливістю. Важливим з точки зору широкомасштабного використання цієї сполуки є те, що в своєму складі вона містить елементи, які широко поширені в земній корі і мають невисоку вартість видобутку. Теоретична межа ефективності СЕ елементів на основі SnS перевищує 30%, однак нинішня рекордна їх ефективність низька і складає 4,36%. Для її підвищення потрібно оптимізувати структурні характеристики плівок при використанні дешевих, таких що масштабуються технологій.

Метою роботи є оптимізація структурних властивостей і фазового складу шарів сульфиду олова шляхом післяростового термічного відпалу одержаних зразків.

У цій роботі плівки SnS на скляних підкладках отримували за допомогою розпилення суспензії на основі наночастинок (НЧ) матеріалу. Синтез НЧ проводили методом осадження у водно-амонійному розчині на повітрі при температурі 20 °С. Сіль $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ розчиняли в оцтовій кислоті нагріваючи на електроплитці. Окремо в стакані готували розчин триетаноламіну, до якого додавали розчин станум (II) хлориду, перемішуючи на магнітній мішалці. До утвореного розчину додавали розчин амоніаку. Окремо у стакані готували водний розчин осаджувача (Na_2S) у стехіометричному співвідношенні до йонів стануму 1:1, який повільно вливали в розчин стануму, та продовжували інтенсивне перемішування 1 годину. Утворений продукт відділяли від розчину центрифугуванням з наступною трикратною відмивкою дистильованою водою. Потім проводили сушку на повітрі при 60 °С протягом 12 год.

Для покращення структурних характеристик та видалення органічних домішок шари відпалювали у вакуумі в атмосфері аргону при температурах (150 – 300) °С з інтервалом 50 °С протягом 30 хвилин.

Структурні дослідження плівок були виконані за допомогою рентгенівського дифрактометра Bruker D8. Діапазон брегівських кутів 2θ при дослідженні складав 10° - 90°. Фазовий аналіз зразків було проведено за еталонними даними JCPDS шляхом співставлення міжплощинних відстаней і відносної інтенсивності дифракційних піків. Морфологічні характеристики та якість структури отриманих шарів вивчалися методами сканувальної електронної мікроскопії за допомогою мікроскопу HITACHI S-4800 з високою роздільною здатністю.

SEM зображення поверхні синтезованих шарів SnS представлені на рис. 1а. З них видно, що наноструктуровані шари SnS є досить однорідними, мають

полікристалічну структуру і відносно високу шорсткість поверхні та містять невеликі пори. Фрактографічні дослідження дозволили визначити товщину плівок - 3,81 мкм. Зерна плівок є неоднорідними за формою та розміром, вони мають кубічну, кулясту та інших форм.

На рис. 1б наведено дифрактограми отриманих зразків. Їх аналіз свідчить, що всі зразки містять орторомбічну фазу SnS (JCPDS 39-0354), з домішками гексагональної фази SnS₂ (JCPDS 22-0951). Встановлено, що зі збільшенням температури відпалу кількість домішкової фази зменшується, а при 300 °C вона зникає зовсім.

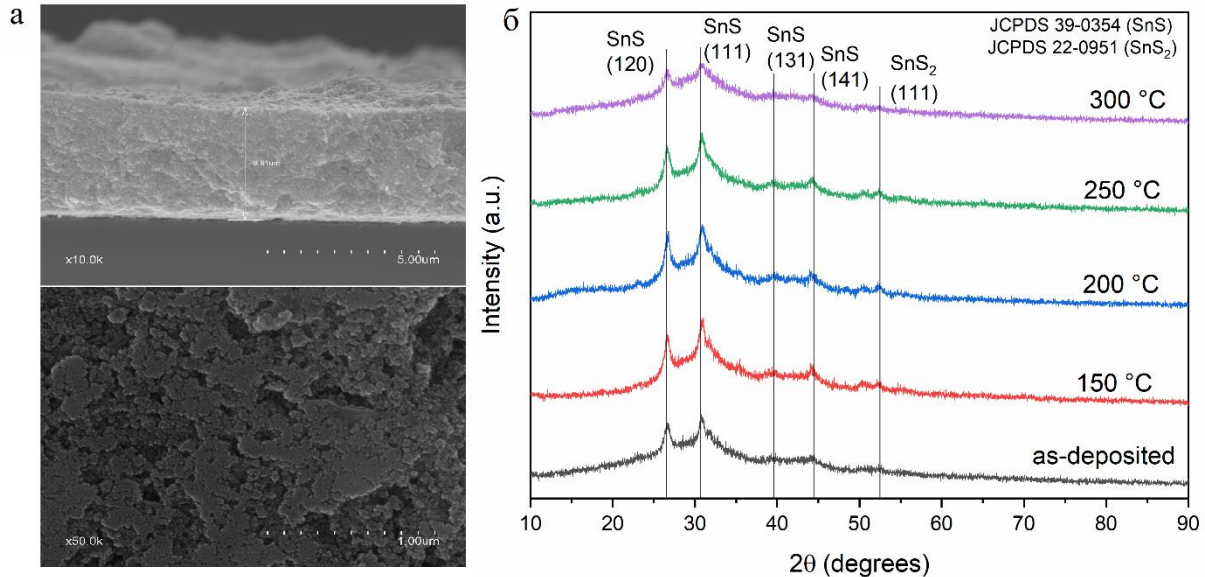


Рис. 1. Електронно-мікроскопічні зображення (а) та дифрактограми (б) шарів SnS відпалених за різної температури

У результаті дослідження було встановлено, що найкращу структуру мають шари SnS, відпалені в атмосфері аргону при 300 °C. Було показано, що відпал є надзвичайно важливим інструментом оптимізації характеристик плівок отриманих хімічним методом.

OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF SnS LAYERS BY CHANGING THE ANNEATING TEMPERATURE

V. Yevdokymenko¹, R. Pshenychnyi¹, O. Klymov²,
A. Opanasyuk¹, V. Muñoz-Sanjósé²

¹Sumy State University

²Universitat de València, Spain

v.yevdokymenko@ekt.sumdu.edu.ua, opanasyuk_sumdu@ukr.net

Tin sulfide (SnS) layers were produced on glass substrates by sputtering pre-synthesized nanosuspensions using a spray technique. The coated SnS layers were annealed in an argon environment at (150–300) °C for 30 min. The results of X-ray structural analysis showed that the samples have two phases, orthorhombic SnS and hexagonal SnS₂, when the annealing temperature is increased to 300 °C, the impurity phase disappears, and the samples become single-phase. SEM measurements showed that the deposited layers are quite homogeneous, have a polycrystalline structure and a relatively high surface roughness, but contain small pores.

RAMAN SPECTRA OF OPAL-Pb₃(P_{0.5}V_{0.5}O₄)₂ NANOCOMPOSITE BETWEEN 290 K AND 470 K

A. Latyshova, M. Derhachov, V. Moiseienko

Oles Honchar Dnipro National University

angelalatyshova@gmail.com

The creation of nanocomposites based on opal matrices infiltrated with functional materials, especially, with active dielectrics, is promising in terms of technological development and miniaturization process. One of these materials could be lead phosphate, attractive material for application in acousto-optic devices [1], that undergoes a ferroelastic phase transition from a high-temperature rhombohedral phase to a low-temperature monoclinic phase at $T = 453$ K [2]. There may be a modification of its properties when fabricating lead phosphate nanocrystals regularly arranged in opal matrix. The aim of this paper was to work out how to make opal-Pb₃(P_{0.5}V_{0.5}O₄)₂ nanocomposites and investigate their structure and phase composition by Raman spectroscopy.

The nanocomposite fabrication technique was based on capillary forced impregnation of opal matrix with the Pb₃(P_{0.5}V_{0.5}O₄)₂ melt. Initial opal samples, coated with polycrystalline Pb₃(P_{0.5}V_{0.5}O₄)₂ powder, were heated to temperature above the melting temperature of the powder and kept at this temperature for 5 minutes to reach full impregnation the entire sample with the melt. After that, the samples were cooled with subsequent crystallization of the material. Evidence that the melt impregnated entire sample and penetrated the opal pores was the greenish-yellow color of both sides of the sample, characteristic of Pb₃(P_{0.5}V_{0.5}O₄)₂ crystals. The surface layer of the samples subjected to heating was mechanically removed to a depth of 0.5 mm.

Raman spectra were measured by using the spectrometer based on double monochromator DFS 12 equipped with photon counting system. Excitation was carried out by a 532 nm DPSS laser radiation. All the spectra were unpolarized and obtained in the back-scattering geometry. The diameter of the laser spot on the sample surface was approximately no more than 20 μm . The spectral resolution was about 2 cm^{-1} . The Raman spectra of the obtained nanocomposites were measured at 290 K, 333 K and 473 K. The samples were heated with using resistance furnace in an air atmosphere.

Comparison of the nanocomposite spectrum measured at room temperature with that obtained for single crystal earlier [1] allowed us to conclude that the substance in the opal pores is in a crystalline state. Analysis of the ratio of the Raman spectral intensities of bands at 833 cm^{-1} and 938 cm^{-1} , corresponding to the valence vibrations of VO₄ and PO₄ groups, points to the stoichiometry maintenance. No new Raman bands that could indicate the formation of a new crystalline phase caused by the interaction of the melt with the surface of silica globules, as reported in paper [3], were detected. The behavior of the Raman band parameters between 290 K and 470 K was also analyzed.

- [1] Vlokh R., Martynyuk-Lototska I. Ferroelastic Crystals as Effective Acoustooptic Materials. Ukrainian Journal of Physical Optics. Vol. 10. (2009). P. 89–99.
- [2] Salje E., Ilshi K. Ferroelastic Phase Transitions in Lead Phosphate-Vanadate Pb₃(P_xV_{1-x}O₄)₂. Acta Crystallographica. Vol. A33. (1977). P. 399–408.
- [3] Derhachov M., Moiseienko V., Kutseva N., Abu Sal B., Holze R. Fabrication and Characterization of Crystalline Bi₂TeO₅-Bi₄Si₃O₁₂-SiO₂ Nanocomposite. European Physical Journal Plus. Vol.134. (2019). P. 370(9).

ОСОБЛИВОСТІ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ІНДУКЦІЇ ТА
МАТЕРІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ДЛЯ МОДЕЛІ ДІККЕ

С. Лягушин, О. Соколовський

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
lyagush.new@gmail.com

Дослідження процесу надвипромінювання на основі методу скороченого опису (МСО) Боголюбова у формулюванні Пелетмінського–Яценка дозволили отримати систему рівнянь еволюції для моделі Дікке та відповідні матеріальні рівняння [1]. Для опису поведінки поля в нерівноважному середовищі, утвореному випромінювачами, природно використати електродинаміку суцільних середовищ [2].

Найбільш змістовна характеристика властивостей середовища, незалежно від крайових і початкових умов, дається поведінкою гармонічних плоских хвиль. В основу теорії кладеться узагальнена індукція $\mathcal{D}$, яка містить інформацію і про електричну, і про магнітну поляризацію середовища. Ця величина запроваджується співвідношенням

$$\mathcal{D} = \mathbf{E} + 4\pi \int_{-\infty}^t \mathbf{j}(t') dt', \quad (1)$$

де $\mathbf{E}$ – усереднене мікроскопічне поле, $\mathbf{j}$ – повна усереднена густина струму зарядів середовища, причому вважається, що поле та середовище при $t \rightarrow -\infty$ знаходяться в рівновазі [3]. У рівняннях Максвелла з'являється її часова похідна $\frac{\partial \mathcal{D}}{\partial t} = \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + 4\pi \mathbf{j}$. Вираз для $\mathbf{j}$ у моделі Дікке знайдено в [1]:

$$\mathbf{j}(\mathbf{x}) = \int d\mathbf{x}' [\sigma(\mathbf{x} - \mathbf{x}', \varepsilon(\mathbf{x})) \mathbf{E}(\mathbf{x}') + c \xi(\mathbf{x} - \mathbf{x}', \varepsilon(\mathbf{x})) \mathbf{Z}(\mathbf{x}')]. \quad (2)$$

Тут позначено $\mathbf{Z} = \nabla \times \mathbf{B}$. Стан підсистеми випромінювачів описується одним параметром – густиною їх енергії $\varepsilon(\mathbf{x})$ або локальною температурою (система вважається квазірівноважною). МСО забезпечує замкнуті рівняння для параметрів системи, але вплив попередніх моментів часу (часова дисперсія) враховується виразами для матеріальних коефіцієнтів; просторова дисперсія очевидна.

У моделі Дікке виконується операторне рівняння $\hat{\mathbf{j}} = \partial_t \hat{\mathbf{P}}$, тобто цей струм є струм поляризації. **БЕНД**-формалізм [2] пов'язаний із розглядом струмів поляризації та намагнічування, причому останній дає внесок у вектор напруженості магнітного поля $\mathbf{H}$. У виразі для струму (2) з'являється сума двох членів. Матеріальний коефіцієнт $\sigma(\mathbf{x} - \mathbf{x}', \varepsilon(\mathbf{x}))$ логічно назвати провідністю. Другий член, поява якого викликана некомутативністю операторів $\hat{\mathbf{E}}$ і $\hat{\mathbf{B}}$, стоїть на місці струму намагнічування, який пов'язується з намагніченістю $\mathbf{j}_{\text{magn}} = c(\nabla \times \mathbf{M})$. Беручи до уваги зв'язки $\mathbf{M}$ і $\mathbf{B}$ з $\mathbf{H}$ для

рівноважної ізотропної системи, бачимо, що $\mathbf{M} = \xi \mathbf{B}$, де $\xi = \frac{\mu - 1}{4\pi\mu}$. Для слабо магнітної системи магнітна проникність $\mu \approx 1$ і до матеріального коефіцієнта $\xi(\mathbf{x} - \mathbf{x}', \varepsilon(\mathbf{x}))$ застосовний термін «магнітна сприйнятливість».

Якщо ми цікавимося хвилями в середовищі з випромінювачів, нам потрібна система рівнянь Максвелла для фур'є-образів полів. Вона має вигляд

$$\mathbf{k} \cdot \mathcal{D} = 0, \quad \mathbf{k} \times \mathbf{B} = -\frac{\omega}{c} \mathcal{D}, \quad (3)$$

$$\mathbf{k} \cdot \mathbf{B} = 0, \quad \mathbf{k} \times \mathbf{E} = \frac{\omega}{c} \mathbf{B}.$$

Обчислення матеріальних коефіцієнтів дає їх представлення через фур'є-компоненти перетворення за першим аргументом

$$\sigma(\mathbf{k}, \varepsilon) = -\frac{2\pi d^2}{3\hbar^2} \varepsilon \delta(\omega - \omega_k), \quad \xi(\mathbf{k}, \varepsilon) = -\frac{4d^2}{3\hbar^2} \varepsilon \mathcal{P} \frac{1}{\omega^2 - \omega_k^2}, \quad (4)$$

де ω – частота робочого переходу випромінювачів (однакова в усіх), d – матричний елемент дипольного моменту переходу (це малий параметр). Тоді друге з рівнянь (3) запишеться так:

$$\mathbf{k} \times \mathbf{B} = -c^{-1} (\omega + 4\pi i \sigma(\mathbf{k}, \varepsilon)) \mathbf{E} + 4\pi \xi(\mathbf{k}, \varepsilon) (\mathbf{k} \times \mathbf{B}) \quad (5)$$

Зі співвідношення (5) можна виразити $\mathbf{k} \times \mathbf{B}$ через $\mathbf{E}$, що відкриває можливість побудови звичайним шляхом системи рівнянь для нормальних хвиль у середовищі в термінах компонент електричного поля, з якого випливає дисперсійне рівняння для хвиль.

Суттєва особливість матеріальних коефіцієнтів у системі Дікке полягає в їх сингулярному характері. Вирази (4) містять d^2 , але малість взаємодії зникає за $\omega_k \approx \omega$. Це повністю відповідає фізиці моделі Дікке: взаємодія між випромінювачами здійснюється тільки через поле, час розвитку кореляцій великий, а тривалість імпульсу мала. Знак σ свідчить про підсилення хвиль у середовищі. Для знаходження часової похідної узагальненої індукції досить одного матеріального рівняння (для $\mathbf{j}$), коефіцієнти обчислені, але знаходження закону дисперсії в такому середовищі потребує врахування неоднорідного уширення Лоренца. Наближення $\varepsilon(\mathbf{x}) = \varepsilon = \text{const}$, яке дозволяє суттєво спростити вигляд виразів для фур'є компонент, можливе лише на початковій стадії процесу надвипромінювання.

- [1] Lyagushyn S.F., Sokolovsky A.I., Sokolovsky S.A. Material equations in electrodynamics of medium consisting of two-level emitters. Journal of Physics and Electronics. Vol. 27(1). (2019). P. 9–18.
- [2] Скалозуб В.В., Гулов О.В. Класична макроскопічна електродинаміка. Дніпропетровськ: Видавництво ДНУ. (2010). 172 с.
- [3] Akhiezer A.I., Peletminsky S.V. Methods of Statistical Physics. Oxford: Pergamon. (1981). 367 p.

PECULARITIES OF THE GENERALIZED INDUCTION AND MATERIAL COEFFICIENTS IN DICKE MODEL

S. Lyagushyn, A. Sokolovsky
Oles Honchar Dnipro National University
lyagush.new@gmail.com

Methods of electrodynamics of continuous media are applied to Dicke model with a medium formed by emitters, the generalized induction is constructed with using the only material equation for current density obtained by the reduced description method. The generalized induction structure and physical sense of the material coefficients are elucidated. Maxwell equations for field Fourier components are derived with the found form of the generalized induction. At the initial stage of the superradiant process in the case of a uniform medium they provide the possibility of obtaining the wave equation. Physically substantiated singularities in material coefficients make it necessary to consider the non-uniform Lorentz broadening for dispersion law investigation.

OPTICAL PROPERTIES OF GaAs/AlAs HETEROSYSTEM WITH ACCEPTOR IMPURITY IN ELECTRIC FIELD

I. Bilynskyi¹, R. Leshko², Kh. Metsan²

¹Kryvyi Rih State Pedagogical University

²Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University

iv.bilynskyi@gmail.com, leshkoroman@gmail.com

Today nanotechnologies give the opportunity to get various nanoscale objects with different properties [1]. Every time, the use of those nanoobjects leads to improving the operation parameters of different devices. It is very important to control the mentioned properties with high accuracy. Ways to solve this range of problems include the change of the QD size, doping, and applying external fields.

The physical properties of the spherical QD, such as a dipole transition, oscillator strength, and optical absorption coefficient can significantly depend on the presence of impurities in QD's and applying external fields.

For the hole and acceptor states we use the multiband effective mass models. For considered heterosystem GaAs/AlAs the Luttinger model with spherical approximation comfortably [2] can be used. We place the hydrogen impurity at a distance D from the center of the QD. The external electric field F_{el} is applied in parallel to the heterosystem.

We consider the case of the quantum dot (QD) with the central and off-central acceptor impurities in the electric field. The shift of the impurity from the center and applied electric field also causes the shift of the absorption band into the low-energy region [3]. For the GaAs/AlAs QD heterosystem we have showed that electric field causes the splitting levels. The off-central acceptor impurity also causes the splitting levels. Variation in the magnitude and direction of the electric field applied to the QD with impurity can reduce the splitting of energy levels. This leads to a reduction of additional absorption bands, which are connected with impurities. Accordingly, the width of the long-wavelength absorption or luminescence peak can be reduced.

As a result of research optical properties of GaAs/AlAs heterosystem is determined. The QD optical absorption coefficient with the off-central impurity shows that the displacement of the impurity from the QD center causes the shift of absorption bands into the low energy range. It is also proved that some obtained results are qualitatively similar to the results of the off-central donor impurity.

The dependence of the absorption coefficient on the radius of the quantum dot, the location of the impurity from the center of the quantum dot, and the magnitude of the parallel applied electric field is shown.

The dependence of the energy spectrum of central and non-central acceptor impurity in the electric field and without it is obtained.

- [1] Peter Y. Yu., Manuel Cardona. Fundamentals of Semiconductors. Physics and Materials Properties (Fourth Edition) 2010. Springer Heidelberg Dordrecht London New York (link: <https://www.springer.com/gp/book/9783642007095>).
- [2] Al. L. Efros, M. Rosen, M. Kuno, M. Nirmal, D. J. Norris, and M. Bawendi. Band-edge exciton in quantum dots of semiconductors with a degenerate valence band: Dark and bright exciton states // Phys. Rev. B. – 1996. – Vol. 54, pp 4843-4856
- [3] I. Bilynskyi, R. Leshko, H. Metsan, M. Slusarenko. Effect of electric field and acceptor position on the energy spectrum of GaAs/AlAs quantum dot // Physica B: Condensed Matter. 2022. Vol. 642. P. 414106:1-5.

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF OPAL-BASED PHOTONIC THIN FILM HETERO-CRYSTALS

V. Mukharovska, V. Moiseienko, M. Derhachov

*Oles Honchar Dnipro National University
mukharovska@ffeks.dnu.edu.ua*

The relevance of fabrication and investigation of photonic crystals (PhC) is explained due to their ability to control the propagation of light, which can be used in various applications, such as planar waveguides, filters, switches, etc. One of the prototypes of three-dimensional PhCs is synthetic opal, that is a self-assembled structure composed of monodisperse spherical silica particles (MSSPs). Development of heterogeneous opal-based PhC is a new step towards engineering functional devices - this approach enables multiple-frequency lasing from a single PhC chip, complex light filtering, and the realization of PhC resonator or superlattice [1 - 3].

In this work opal-based photonic hetero-crystals were fabricated by successive growth of one opal film on top of another using MSSPs of different sizes.

The first film was formed on a glass substrate using the method of vertically moving meniscus due to slow evaporation of the colloidal suspension of MSSPs. Upon crystallization, it was thermally annealed at 100 °C for 6 hours in order to decrease an amount of physically adsorbed water from the opal structure and increase the mechanical stability. The second film with another diameter of MSSPs was grown on the first one acting like a substrate using the method mentioned above. After the formation of such hetero-crystal, the whole structure was dried at room temperature for 6 months.

Transmittance and reflectance spectra under white light illumination (collected and directed on a sample by an optical probe) were obtained by using a modified spectrometer based on a double monochromator DFS-12 equipped with a photon counting system. The measurements were performed for both single-film and double-film structures. The diameter D of MSSPs was determined from the spectral position λ_m of the reflectance maximum, or transmittance minimum, in the corresponding spectrum, according to the Bragg law (1)

$$\lambda_m(\theta) = 2d\sqrt{\varepsilon_{eff} - \sin^2 \theta} \quad (1)$$

where θ is an incident angle of a light beam with respect to the film normal ([111] crystal axis), d is an interplanar distance, $D^2 = 1.5d^2$, and ε_{eff} is an effective dielectric constant. Influence of gravitational force during the growth process on homogeneity of opal film was also analyzed.

- [1] Kuchyanov A.S., Plekhanov A.I. Laser Generation in Opal-Like Single-Crystal and Heterostructure Photonic Crystals. Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. Vol. 52. (2016). P. 96-102.
- [2] Khokhar A.Z., Rahman F., and Johnson N.P. Photonic Crystal Heterostructures from Self-Assembled Opals. Applied Physics A. Vol. 102. (2011). P. 281-287.
- [3] Khunsh W., Romanov S.G., Sotomayor Torres C.M., Ye J., Zentel R. Optical Transmission in Triple-Film Hetero-Opals. Journal of Applied Physics. Vol. 104. (2008). P. 279–286.

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОННО-КОЛИВАЛЬНИХ ПЕРЕХОДІВ У МОЛЕКУЛІ 2-(2'-ГІДРОКСИФЕНІЛ)БЕЗОКСАЗОЛУ

Є. Сєтов

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
setov2003@yahoo.com

2-(2'-гідроксифеніл)бензоксазол (НВО) є люмінесцентною органічною сполукою, яка демонструє внутрішньомолекулярне фотоперенесення протона. НВО вже досліджують протягом декількох десятиріч для прояснення механізмів фотохімічних реакцій та як можливий матеріал для оптоелектроніки. В основному стані найменшу енергію має енольна структура молекули, тоді як у першому збудженому синглетному стані меншу енергію має кето-структура. Смуга в спектрі поглинання, що відповідає переходу до першого збудженого електронного стану, демонструє помітні складові, які обумовлені коливальними енергетичними рівнями. У спектрі флуоресценції НВО переважає смуга з аномально великим стоксовим зсувом, обумовлена переходами в кето-структурі, яка також виявляє коливальну структуру.

Розрахунки показують, що поверхня потенціальної енергії молекули в першому збудженому стані містить неглибокий мінімум, що відповідає енольній структурі, мінімум, що відповідає кето-структурі, та мінімум для скрученої структури. В основному стані поверхня потенціальної енергії не містить мінімуму, який відповідав би кето-структурі.

Показано, що форма смуги поглинання, розрахована в наближенні Франка-Кондона за припущенням гармонічних коливань молекули, отриманих з використанням функціоналу густини ω B97X-D3 у рамках методів DFT та TDDFT, демонструє добре узгодження з експериментальним спектром. Форму смуги флуоресценції з аномально великим стоксовим зсувом модельовано переходами 0-n кето-структури за допомогою гармонічного наближення вертикальної матриці Гессе для коливань [1].

[1] Syetov Y. Modeling of vibronic structure of absorption spectrum of 2-(2'-hydroxyphenyl)benzoxazole. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. (2022). DOI: 10.1080/15421406.2022.2068470.

CALCULATIONS OF ELECTRONIC-VIBRATIONAL TRANSITIONS IN A MOLECULE OF 2-(2'-HYDROXYPHENYL)BEZOXAZOLE

Y. Syetov

Oles Honchar Dnipro National University
setov2003@yahoo.com

It is shown that the shape of the absorption band of 2-(2'-hydroxyphenyl)benzoxazole, calculated in the Franck-Condon approximation under the assumption of harmonic vibrations of the molecule, obtained by the DFT and TDDFT methods using the ω B97X-D3 density functional, demonstrates good agreement with the experimental spectrum. The shape of the fluorescence band with anomalously large Stokes shift is modeled by the 0-n transitions of the keto structure using the vertical Hessian harmonic approximation for the vibrations.

FABRICATION, STRUCTURE AND ELECTRICAL PROPERTIES OF Ga₂O₃/POROUS-Si/Si HETEROSTRUCTURES

O. Sushko, M. Derhachov, S. Ryabtsev, Yu. Potapovych, S. Popov

Oles Honchar Dnipro National University

alex242414@gmail.com

Gallium oxide has attracted a great attention as a promising material that could enlarge the possibilities of electronic and optoelectronic devices [1]. It is a wide band gap material (4.7 eV) with high transparency up to 260 nm. Depending on the reducing or oxidizing growth regime, it can be either an *n*-type semiconductor or a dielectric. The widespread application of heterostructures based on Ga₂O₃ films causes an intensive search for the most effective growth conditions, especially using non-native substrates [2].

In the report structure and electrical properties of gallium oxide films deposited on both porous silicon/silicon and silicon substrates are discussed.

The films were grown on different substrates by applying rf magnetron sputtering of the high-purity Ga₂O₃ powder at a chamber pressure of 3.5 mTorr with Ar/O₂ ratio of 2/1. Both previously etched (100) Si and non-treated crystalline (100) Si plates served as substrates. The obtained films were annealed at 1073 K for two hours in air ambient, and then were characterized with using SEM, XRD, EDAX, Raman and impedance spectroscopy techniques. The β phase of gallium oxide was found to be obtained in the annealing process under normal pressure in air atmosphere.

Polycrystalline 172 nm thick films were composed of β -Ga₂O₃ grains with sizes of about 150 nm. XRD pattern also pointed to the formation of polycrystalline silicon nanoparticles in the porous layer after chemical etching of the substrate.

Both EDAX and Raman spectroscopy results testified the presence of a thin interfacial non-crystalline SiO₂ that was rather formed because of the oxidization during deposition procedure. Based on EDAX spectroscopy data, the content of the deposited sample in the volume under study was described with Ga₂O₃/SiO₂/Si ratio of 1.4/1/10.

The temperature-frequency dependences of conductivity obtained in our measurements were not linear. Impedance spectroscopy results were analyzed by assuming two charge transfer processes in β -Ga₂O₃ film related to bulk (inside volume of Ga₂O₃ grains) and grain-boundary regions. Simulation of temperature dependences of impedance parts was performed in the framework of electrical equivalent scheme composed of two parallel combinations of resistance and capacitance ("in-grain"), and resistance and fractal capacity ("grain-boundary"). Activation energies of the "in-grain" and "grain-boundary" processes were determined as 1.33 eV and 1.79 eV, respectively. Comparison of our results with calculations presented earlier in [3] proved a dominant role of oxygen vacancies in charge transfer processes in the obtained Ga₂O₃ films. The thermal removal of oxygen vacancies gets started at temperatures lower than 528 K.

- [1] Shi F., Qiao H. Preparations, properties and applications of gallium oxide nanomaterials – A review. *Nano Select.* (2022). Vol. 3. P. 348-373.
- [2] Baldini M., Galazka Z., Wagner G. Recent progress in the growth of β -Ga₂O₃ for power electronics applications. *Materials Science in Semiconductor Processing.* (2018). Vol. 78. P. 132 – 146.
- [3] Varley J.B., Weber J.R., Janotti A., Van de Walle C.G. Oxygen vacancies and donor impurities in β -Ga₂O₃. *Applied Physics Letters.* (2010). Vol.97. P.142106(3).

ОТРИМАННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ НАНОЧАСТИНОК СЕЛЕНІДУ ГАЛІЮ КОЛОЇДНИМ МЕТОДОМ

Ю. Ваксман, О. Карауш, Г. Коренкова, Ю. Ніцук

*Одеський національний університет імені І.І.Мечникова
nitsuk@onu.edu.ua*

Наночастинки селеніду галію є перспективним матеріалом для приладів мікро- і наноелектроніки, активних оптичних середовищ в видимому, інфрачервоному та терагерцевому діапазоні [1]. Наявність ефективного зона-зонного випромінювання у видимому діапазоні робить GaSe ефективною заміною модельному CdSe. Менша цитотоксичність наночастинок GaSe в порівнянні з CdS та CdSe робить їх перспективним матеріалом для флуоресцентних міток живих біологічних об'єктів.

В роботі досліджено оптичне поглинання та фотолюмінесценцію нанокристалів GaSe, отриманих методом колоїдного синтезу. Джерелом іонів галію виступав 10% водний розчин нітрату галію (GaNO_3). Джерелом іонів селену виступав 10% водний розчин селеносульфату натрію (Na_2SeSO_3). В якості стабілізатора використовували 5% розчин желатину.

Зміною концентрації водних розчинів нітрату галію та селеносульфату натрію в зоні реакції від 2 до 20% отримано серію зразків з кольором від блідно-жовтого до червоно-коричневого. По спектрам оптичної густини, представленим в координатах $D^2 \div E$ визначена ширина забороненої зони в зразках. Відповідно, в зразках з мінімальною, 2% концентрацією прекурсорів ширина забороненої зони становила 3.1 еВ. При максимальній 20% концентрації ширина забороненої зони зменшувалась до 2.2 еВ.

За величиною зсуву ширини забороненої зони в порівнянні з шириною забороненої зони об'ємних кристалів GaSe (2.12 еВ) в наближенні ефективних мас визначались розміри наночастинок. Мінімальний розмір (2 нм) мали наночастинки з $E_g=3.1$ еВ, а максимальний (10 нм) - наночастинки з $E_g=2.2$ еВ.

При збудженні випромінюванням з довжиною хвилі 337, 375 та 400 нм в досліджуваних зразках виникають лінії випромінювання з енергіями максимумів випромінювання на 12 меВ меншими за ширину забороненої зони. Ця відстань не змінювалася при зміні концентрації прекурсорів у відповідних зразках. Можна припустити, що вказані лінії випромінювання обумовлені екситонними переходами.

Таким чином, досліджувані колоїдні наночастинки селеніду галію можуть бути використані в якості флуоресцентних маркерів.

[1] Chikan V. Kelley D.F. Synthesis of Highly Luminescent GaSe Nanoparticles. Nano Letters. Vol. 2(2001). P. 141-145.

PREPARATION OF LUMINESCENT GALLIUM SELENIDE NANOPARTICLES BY THE COLLOIDAL METHOD

Yu. Vaksman, O. Karaush, G. Korenkova, Yu. Nitsuk

*Odesa I.I.Mechnikov National University
nitsuk@onu.edu.ua*

Luminescent GaSe nanoparticles with effective exciton emission in the visible region of the spectrum were obtained by the method of colloidal synthesis. The maximum of emission is determined by the nanoparticles size.

МЕТОДИКА ОТРИМАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ЗРАЗКІВ МОНОКРИСТАЛІВ МОЛІБДАТІВ СВИНЦЮ

Д. Волнянський¹, М. Трубіцин², І. Волнянська³

¹Український державний університет науки і технологій

²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

³Придніпровська державна академія будівництва і архітектури

¹dmvoln@i.ua, ³wirelessira@gmail.com

В акустооптичних пристроях побудованих на оптично ізотропному середовищі на даний час переважно використовують оптично одновісні кристали [1]. Але застосування оптично двовісних кристалів надає широкі можливості для поліпшення характеристик існуючих типів пристроїв і для створення принципово нових типів пристроїв [2]. Монокристали молібдату свинцю PbMoO_4 є оптично одновісними, а кристали подвійного молібдату свинцю Pb_2MoO_5 оптично двовісними.

Технологія вирощування монокристалів методом Чохральського є складним процесом, результат якого залежить від процесу підготовки шихти для вирощування та від вибору параметрів самого процесу витягування монокристалу з розплаву.

Шихту для вирощування монокристалів PbMoO_4 та Pb_2MoO_5 отримували з стехіометричної суміші оксидів PbO і MoO_3 . Пропорція оксидів свинцю та молібдену для росту PbMoO_4 була 1:1 та для Pb_2MoO_5 відповідно 2:1, які змішували в агатовому млині протягом 12 – 24 годин. Отриману суміш спресовували в диски та проводили твердофазний синтез при температурі 913 К протягом 12 – 62 годин. Також проводили другий етап синтезу в твердій фазі, для чого отриманий після першого етапу синтезу спечений диск розламували та перемелювали в агатовому млині протягом 12 – 24 годин. Отриману суміш знову спресовували в диски та проводили другий етап твердофазного синтезу при температурі 913 К протягом 12 – 48 годин.

Монокристали PbMoO_4 та Pb_2MoO_5 були вирощені з шихти підготовленої за методикою розглянутою вище. Підготовлену шихту завантажували в платиновий тигель №10 об'ємом 54 см³ для росту монокристалів більшого діаметру використовували тигель №12. Тигель з шихтою розташовували у вертикальній трубчастій печі з двозонним резистивним нагрівачем. Для кожного розміру тигля була побудована окрема піч з внутрішнім діаметром максимально наближеним до діаметра тигля. Вертикальне положення тигля відносно нижньої границі нижньої зони нагріву регулювали підставками з цегли стійкої до високих температур. Таке регулювання необхідне для встановлення плоскої форми фронту кристалізації. Необхідно відзначити що форма фронту кристалізації пов'язана з характером гідродинамічної течії в розплаві і залежить від того чи є переважним потік поблизу фронту кристалізації або переважає висхідний потік, який пов'язаний розжаренням стінок та донця тигля. Баланс між цими потоками визначається розміром і формою тигля, густиною розплаву, температурою та градієнтом температури в зоні росту, швидкістю підйому та частотою обертання кристалу. Емпіричний підбір розпочинали з положення коли дно тигля знаходилось в найбільш гарячій зоні ростової печі.

За допомогою верхньої обмотки нагрівача було можливо плавно змінювати величину вертикального градієнту температури над поверхнею розплаву. Це робили шляхом шунтування обмотки.

Вирощування монокристалів PbMoO_4 проводили за таким температурним режимом. Шихту в тиглі розігрівали до температури 1170К зі швидкістю 50К/год, проводили витримку 3 – 5 годин, далі збільшували температуру до плавлення шихти і

перегрівали розплав на 20 – 30K вище температури плавлення та витримували розплав при цій температурі 3 – 6 годин. Розплав охолоджували до температури макання затравки яку в кожному випадку підбирали експериментально в залежності від розміру та орієнтації затравки, розміру та матеріалу штока, швидкості підйому та кутової швидкості обертання затравки. Найбільш складним був процес повільного збільшення діаметру кристалу до необхідного розміру 15 – 30 мм, який проводили з ручним керуванням параметрами росту. Після досягнення необхідного діаметру кристалу процес продовжували з постійною швидкістю зниження температури розплаву в автоматичному режимі. Для вирощування монокристалів Pb_2MoO_5 шихту розігрівали до температури 1050K зі швидкістю 50K/год, далі процес вирощування проводили за тією ж методикою.

Технологічні параметри процесу вирощування монокристалів були такими: лінійна швидкість підйому затравки 1 – 3 мм/год; частота обертання 30 - 50 об/хв; швидкість охолодження під час росту кристалу 1 – 1,5 K/год; температурний градієнт над поверхнею розплаву 30 – 60 K/см.

З метою зменшення внутрішньої напруги після відриву кристалу від поверхні розплаву проводили відпал при температурі на 30 – 50 K нижче температури макання протягом 24-48 годин, далі кристал охолоджували зі швидкістю 20 – 30 K/год до кімнатної температури.

Аналіз порошкових дифрактограм кристалів Pb_2MoO_5 отриманих за такою методикою [3] виявив відсутність домішок Pb_5MoO_8 .

Монокристали PbMoO_4 та Pb_2MoO_5 є достатньо м'якими та Pb_2MoO_5 має площину спайності паралельну (201), тому розпилювання отриманих кристалів на зразки проводили штрипсовою пилою з подачею 5 мм/год, шліфування поверхонь робили з мінімальним тиском на зразок. Полірували оптичні вікна на воскових полірувальниках.

- [1] Tchernyatin A.Yu. Analysis and Application of Bragg Acousto-Optic Diffraction in Biaxial Media // Proc. of SPIE. 2005. V. 5953. P. 59530U-1-59590U-8.
- [2] Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985. 279 с.
- [3] Volnyanskaya I.P., Trubitsyn M.P., Volnyanski D.M., Kolesov V.I. Solid-phase synthesis and x-ray analysis of the charge for growing acousto-optic Pb_2MoO_5 crystals. Visnik Dnipropetrovskogo universitetu, Seria Fizika, radioelektronika. issue 23, V.24, (2016). P.110-113.

METHOD OF OBTAINING EXPERIMENTAL SAMPLES OF LEAD MOLYBDATE SINGLE CRYSTALS.

D. Volnianskyi¹, M. Trybitsun², I. Volnianska³

¹*Ukrainian State University of Science and Technologies,*

²*Oles Honchar Dnipro National University*

³*Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture*

¹*dmvoln@i.ua, ³wirelessira@gmail.com*

Optically uniaxial crystals are mainly used in acousto-optical devices built on optically isotropic media [1]. However, the use of optical biaxial crystals provides ample opportunities for improving the characteristics of existing types of devices and for creating fundamentally new types of devices [2]. The paper presents the method of obtaining samples of single crystal lead molybdate PbMoO_4 and double lead molybdate Pb_2MoO_5 , which are optically uniaxial and biaxial crystals, respectively.

УЗАГАЛЬНЕННЯ ФОРМУЛИ БОЛЬЦМАНА В ТЕОРІЇ РІВНОВАЖНИХ ФЛУКТУАЦІЙ

А. Соколовський, К. Гапоненко

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
alexander.i.sokolovsky@gmail.com*

Дослідження рівноважних флуктуацій стало важливою задачею сучасної статистичної фізики після досліджень Онсагера, який сформулював плідну ідею про рівноважні флуктуації як важливий клас нерівноважних станів. Основним інструментом таких досліджень є формула Больцмана для функції розподілу $w(\eta)$ значень деяких параметрів $\eta \equiv \{\eta_a\}$ (a нумерує параметри). Перелік таких параметрів визначається потребами теорії. Наприклад, в теорії фазових переходів II роду – це параметри порядку. При цьому фактично немає значення, за яких макроскопічних умов вивчається ситуація. Стани з фіксованими температурою T , тиском p і кількістю частинок N ($TrpN$ -стани) близькі до простої експериментальної ситуації, але відповідний розподіл Гіббса нечасто використовується. Ландау з часом вирішив за доцільне розглядати $TV\mu$ -стани (V – об'єм, μ – хімічний потенціал), використовуючи великий канонічний розподіл Гіббса. На наш погляд, зручніше розглядати TVN -стани, використовуючи канонічний розподіл Гіббса

$$w = e^{\frac{F - \hat{H}}{T}}, \quad \text{Spr}w = 1 \quad (1)$$

і означення функції $w(\eta)$ формулою

$$w(\eta) = \text{Spr}w \delta(\eta - \hat{\eta}), \quad \delta(\eta - \hat{\eta}) \equiv \prod_a \delta(\eta_a - \hat{\eta}_a). \quad (2)$$

В усіх формулах капелюшок позначає мікроскопічні значення відповідних фізичних величин, а Spr символізує операцію інтегрування за фазовими змінними, яка використовується при обчисленнях з канонічним розподілом. Формула Больцмана для функції розподілу $w(\eta)$ має вигляд [1]

$$w(\eta) = A e^{-\frac{F_L(\eta)}{T}}, \quad (3)$$

де A – нормувальний множник, $F_L(\eta)$ – вільна енергія нерівноважних станів системи, які виникають при рівноважних флуктуаціях. В нашій роботі [2] функція $F_L(\eta)$ досліджена на основі означення Ландау-Леонтовича. Відповідно цьому означенню $F_L(\eta)$ дається рівноважною вільною енергією системи $F(h)$ за наявності зовнішнього поля h_a , включеного в функцію Гамільтона системи $\hat{H}$ доданком $\sum_a h_a \hat{\eta}_a$, після перетворення Лежандра

$$F_L(\eta) = F(h(\eta)) - \sum_a h_a(\eta) \eta_a$$
$$F(h) = F + \sum_a h_a \eta_{a0} - T \mathbb{G}(h), \quad \mathbb{G}(h) \equiv \sum_{s=2}^{\infty} \frac{(-1)^s}{s! T^s} \sum_{a_1 \dots a_s} h_{a_1} \dots h_{a_s} \langle \hat{\eta}_{a_1} \dots \hat{\eta}_{a_s} \rangle. \quad (4)$$

Тут η_{a0} , $\langle \hat{\eta}_{a_1} \dots \hat{\eta}_{a_s} \rangle$ – середні значення параметрів η_a і їх кореляційні функції за відсутності зовнішнього поля, $h_a(\eta)$ – функції, обернені до функцій $\eta_a(h)$, які є середніми значеннями параметрів η_a за наявності поля h_a . В нашій роботі [3] для функції розподілу $w(\eta)$ отримано точний вираз

$$w(\eta) = \frac{1}{(2\pi)^s} \int du e^{\mathbb{G}(iuT)} e^{i \sum_a u_a (\eta_a - \eta_{a0})} \quad (5)$$

(s – розмірність простору параметрів η_a). Формули (4) дозволяють представити цю функцію у формі, що містить вільну енергію нерівноважних станів системи $F_L(\eta)$

$$w(\eta) = \frac{1}{(2\pi)^s} \int du e^{\frac{F - F_L(\eta(iuT))}{T}} e^{i \sum_a u_a [\eta_a - \eta_a(iuT)]}. \quad (6)$$

В цьому виразі зручно зробити заміни змінних $u_a = h_a / iT$, $h_a = h_a(\tilde{\eta})$, що дає наше узагальнення формули Больцмана

$$w(\eta) = \int d\tilde{\eta} K(\eta, \tilde{\eta}) e^{-\frac{F_L(\tilde{\eta})}{T}}, \quad K(\eta, \tilde{\eta}) \equiv \frac{1}{(2i\pi T)^s} \frac{\partial h}{\partial \tilde{\eta}} e^{[F + \sum_a h_a(\tilde{\eta})(\eta_a - \tilde{\eta}_a)]/T}. \quad (7)$$

Ця формула переходить в вираз Больцмана (3) за умови, що ядро $K(\eta, \tilde{\eta}) \sim \delta(\eta - \tilde{\eta})$, але підстави для цього відсутні. З викладеного видно, що результат критично залежить від означення вільної енергії нерівноважних станів системи $F_L(\eta)$, оскільки наша формула (5) для розподілу $w(\eta)$ точна.

- [1] Landau L.D., Lifshitz E.M. Statistical Physics. Part 1. Oxford: Pergamon Press. (1980). 544 p.
- [2] Haponenko K. M., Sokolovsky A.I. Non-equilibrium Gibbs thermodynamic potential of a magnetic system. Visnik Dnipropetrovs'kogo Universitetu. Seria Fizika, Radioelektronika. Vol.24, Issue 23. (2016). P. 45–52.
- [3] Haponenko K.M., Sokolovsky A.I. Landau effective Hamiltonian and its application to magnetic systems. Journal of Physics and Electronics. Vol. 26, Issue 1. (2018). P. 19–28.

A GENERALIZATION OF THE BOLTZMANN FORMULA IN THEORY OF EQUILIBRIUM FLUCTUATIONS

A. Sokolovsky, K. Haponenko

*Oles Honchar Dnipro National University
alexander.i.sokolovsky@gmail.com*

The investigation is based on our exact expressions for distribution function of equilibrium fluctuations $w(\eta)$ and for free energy of nonequilibrium states $F_L(\eta)$ obtained from the Landau–Leontovich definition. Domain of the applicability of this definition is planned to be discussed. Obtained generalized Boltzmann formula should be analyzed in more details.

ОПТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЯВІВ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОГО ЕФЕКТУ В ПЛІВКАХ ФЕРИТ- ГРАНАТІВ

В. Короновський, Ю. Вакула

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка
frecs@knu.ua*

Серед матеріалів, у яких можливі оптичні явища, індуковані електричним полем, особливе місце посідають монокристалічні епітаксійні плівки, що пов'язано з широкими можливостями їхнього технологічного застосування [1]. Зокрема, тонкі магнітні плівки можуть розглядатися як основа для створення оптичних приладів з двоканалним управлінням - електричним і магнітним полями. Зв'язок між магнітними та електричними властивостями діелектричних кристалів проявляється через магнітоелектричний (МЕ) ефект. При цьому МЕ ефект проявляється за рахунок зміни напрямку та (або) величини намагніченості у зовнішньому електричному полі. Одним з таких індукованих електричним полем явищ є ефект повороту площини поляризації світла в діелектричному кристалі. Явище було названо електромагніто-оптичним ефектом (ЕМОЕ). Серед багатьох матеріалів, в яких спостерігались вказані оптичні явища, можна виділити залізо-ітрієві гранати [1]. Ми вже повідомляли раніше про результати наших досліджень МЕ ефекту у ферит-гранатових плівках [2,3].

Одним із методів дослідження МЕ ефектів є метод оптичної поляриметрії. Цей метод дозволяє не лише реєструвати, а й візуалізувати оптичні явища у матеріалах, індуковані зовнішніми електричними полями. Наша експериментальна установка (високочутливий оптичний поляриметр) докладно описана в [2,3]. Суть методу полягає у реєстрації і візуалізації індукованих електричним полем змін фарадеївського обертання площини поляризації світла в магнітному кристалі. Гелій-неоновий лазер ($\lambda=0,63$ мкм) використовувався в експериментах. В даній роботі ми повідомляємо про результати МЕ досліджень набору епітаксійних плівок залізо-ітрієвих гранатів (товщиною 7.5, 8.4 та 8.8 мкм), вирощених на підкладках $Gd_3Ga_5O_{12}$ з орієнтацією підкладок (110). Експерименти проводились в геометрії $E \parallel k$ де k — хвильовий вектор світла. До зразків прикладалось змінне електричне поле частотою 750 Гц та магнітне поле. Зразок розміщували між оптично прозорими електродами (вставка на Рис.1).

При проведенні експериментів орієнтація магнітного поля вибиралась таким чином (під кутом $\sim 14-14,5^\circ$ до площини плівки), щоб магнітооптичний ефект Фарадея був близьким до нуля. Безпосередні візуальні спостереження за доменною структурою плівок виявили реакцію доменної структури на вказаний зовнішній двоканалний вплив. При підключенні магнітного поля, навіть за відносно малих його значень, можна було візуально спостерігати втрату контрасту доменною структурою плівок.

На Рис.1 представлені кількісні результати спостережень за змінами ширини однієї з локальних прямолінійних ділянок довільним чином обраної доменної стінки (ДС) плівки (товщина плівки 8,4 мкм) в електричному полі при двох значеннях магнітного поля. При цьому ми обмежили діапазон зміни магнітного поля граничними значеннями, за яких ще не відбуваються суттєві втрати контрасту доменної структури плівки. З Рис. 1 видно, що ширина виділеної ділянки ДС змінюється (хоч і не суттєво) за зазначених умов проведення експерименту. Отриманим результатам наших досліджень МЕ взаємодій ми даємо наступні пояснення. Зовнішнє електричне поле може змінювати параметри магнітної анізотропії тонких плівок ферит-гранатів [1]. У роботі

обговорюються експериментальні умови, в яких намагнічування плівки магнітним полем відбувається в режимі обертання намагніченості (тобто рух ДС у магнітному полі відсутній). Якщо електричне поле змінює магнітну анізотропію плівки [2], то ДС може реагувати відповідним чином на ці зміни.

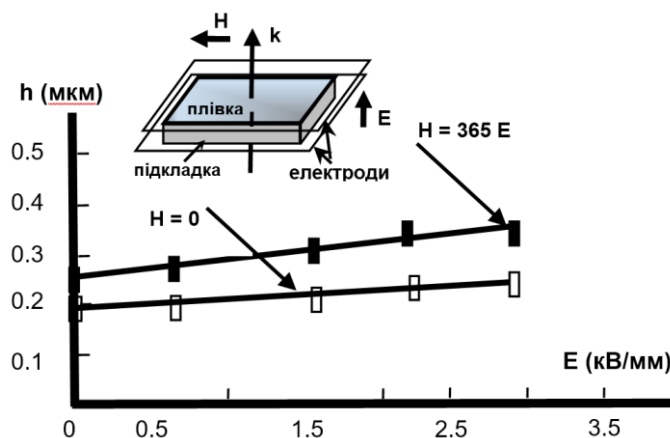


Рис.1 Наближені залежності ширини ДС (h) локальної ділянки ДС від величини зовнішнього електричного поля.

Нестабільність профілю ДС плівки може проявлятися по-різному на її поверхнях при зміні напруженості електричного поля. Це пов'язано з тим, що параметри приповерхневих шарів епітаксійних плівок на межі з підкладкою та вільною поверхнею істотно різняться. Таким чином, отримані нами результати демонструють можливість впливу змінного електричного поля на процеси намагнічування у плівках залізо-ітрієвих гранатів. Обговорюваний МЕ ефект фактично визначається зміною параметрів магнітної анізотропії плівок феритових гранатів у зовнішньому низькочастотному електричному полі.

- [1] G. Velleaud et al. Magnetoelectric properties of yttrium iron garnet. Solid State Commun. Vol. 52 (1). (1984). P. 71-74.
- [2] V.E.Koronovskyy, S.M.Ryabchenko, V.F.Kovalenko. Electromagneto-optical effects on local areas of ferrite-garnet film. Phys. Rev. B. Vol. 71. (2005). P. 172402-172406.
- [3] V. Koronovskyy and Y. Vakyla. Magneto-electric response of iron garnet film micromagnetic structure on combined action of AC and DC electric field. Electron. Mater. Lett. Vol. 11 (6). (2015). P. 1028-1034.

OPTICAL STUDIES OF MANIFESTATIONS OF THE MAGNETOELECTRIC EFFECT IN FERRITE-GARNET FILMS

V. Koronovskyy, Y. Vakyla

*Taras Shevchenko National University of Kyiv
frecs@knu.ua*

Magneto-optical properties of epitaxial single-crystalline yttrium-iron-garnet films grown on gadolinium gallium garnet are investigated in a low frequency AC electric field. The magneto-electric effect was revealed, which detects under the combined action of electric and magnetic fields. The interpretation of the obtained experimental results is given.

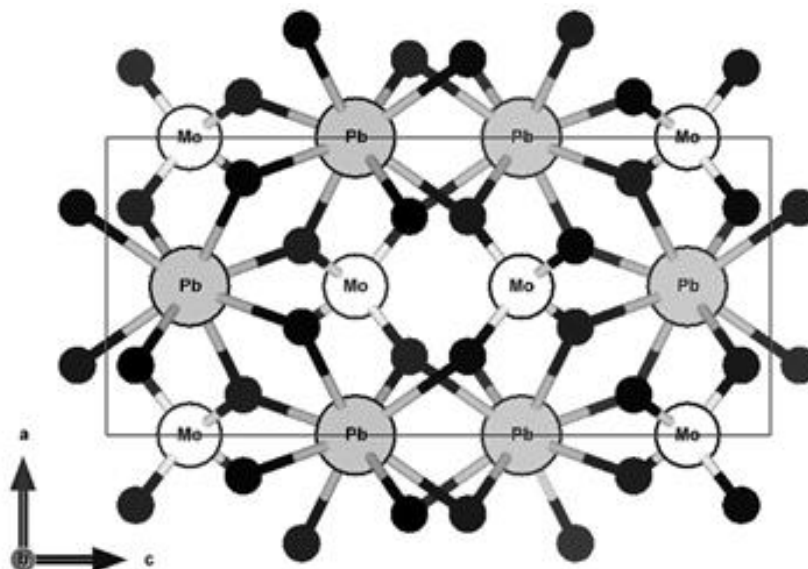
СТРУКТУРА МОНОКРИСТАЛІВ PbMoO_4 ТА Pb_2MoO_5

А. Кривченко, М. Трубіцин, М. Волнянський

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
anastasiyareisman17041997@gmail.com

Кристали сімейства молібдату свинцю PbO-MoO_3 привертають увагу дослідників та інженерів завдяки перспективам їх застосування в акустооптичних пристроях. В науково-дослідній лабораторії фізики кристалів активних діелектриків ДНУ за методом Чохральського було вирощено монокристали молібдату свинцю PbMoO_4 та подвійного молібдату свинцю Pb_2MoO_5 . Доповідь присвячена аналізу кристалічної структури PbMoO_4 та Pb_2MoO_5 .

Кристали молібдату свинцю (PbMoO_4) мають структуру шееліту з просторовою групою симетрії $I4_1/a$. Елементарна комірка має параметри $a = 5.4312 \text{ \AA}$, $c = 12.1065 \text{ \AA}$ і містить чотири формульних одиниці (рис.1). Характерною рисою є наявність вздовж напрямку $[010]$ зигзагоподібних ланцюгів з атомів свинцю та схожих ланцюгів з атомів молібдену.

Рис.1. Проекція структури PbMoO_4 вздовж напрямку $[010]$

Широкому використанню молібдату свинцю в оптоелектронних пристроях перешкоджають жовтуватий колір кристалів і наявність фотохромного ефекту. Ці недоліки пов'язуються з вакансійним розупорядкуванням у катіонній та кисневій підгратках. В роботі [1] припускалося, що PbMoO_4 має дефіцит іонів молібдену через велику рухливість іонів Mo. У той же час певні властивості PbMoO_4 пояснюються наявністю вакансій свинцю [2]. Реєстрація смуг оптичного поглинання, що виникають при високотемпературному відпалі в повітрі, і наявність фотохромного ефекту, дозволили описати процеси утворення центрів забарвлення окислювальними реакціями і запропонувати модель фотохромного перезарядження локальних центрів в кристалічній ґратці: $\text{Pb}^{2+} + \text{Mo}^{6+} \leftrightarrow \text{Pb}^{3+} + \text{Mo}^{5+}$.

Іншим представником сімейства є подвійний молібдат свинцю Pb_2MoO_5 . Це оптично двовісний кристал, який відкриває можливості створення принципово нових акустооптичних пристроїв. Структура подвійного молібдату свинцю належить до моноклінної сингонії, група просторової симетрії $C 2/m$. Параметри кристалічної

решітки дорівнюють $a = 14,2058 \text{ \AA}$, $b = 5,7592 \text{ \AA}$, $c = 7,2844 \text{ \AA}$, кут моноклінності складає $\beta = 114^\circ$ (рис. 2) [3]. Структура утворюється з аніонних тетраедричних комплексів $(\text{MoO}_4)^{2-}$ та катіонів Pb^{2+} . До структурної одиниці кристалу Pb_2MoO_5 входить додаткова група Pb-O , що визначає появу дефектних станів, які відсутні в структурі молібдата свинцю. Попередні дослідження електричних та оптичних властивостей свідчать про наявність фотохромного і фотодіелектричного ефектів, обумовлених кисневими вакансіями.

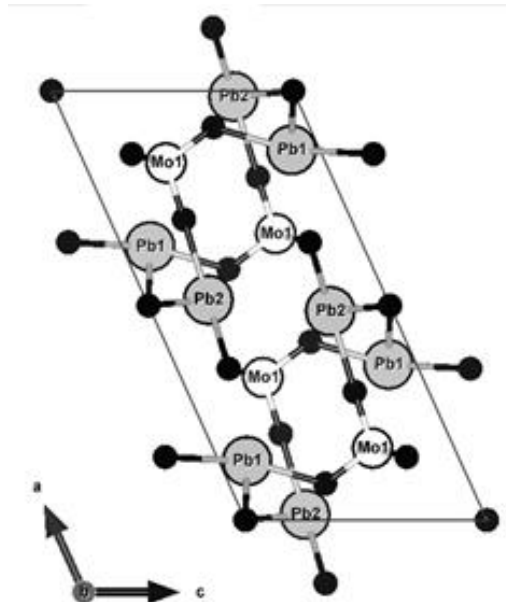


Рис. 2 Структура подвійного молібдату свинцю Pb_2MoO_5 , вздовж осі b

Властивості кристалів сімейства PbO-MoO_3 , які обумовлюють перспективи їх використання в акустооптичних пристроях, можуть бути пов'язані з високою поляризуємістю іонів свинцю і особливостями кристалічної структури. Підвищення оптичної якості та усунення небажаних ефектів забарвлення та фотохромізму потребують всебічного дослідження структурних дефектів і розробки технологічних підходів щодо контролю над їх вмістом.

[1] N. Senguttuvan, S.M. Babu, R. Dhanasekaran. *Mat. Chem. Phys.* 49, 2, 120 (1997).

[2] W. van Loo. *J. Solid. State Chem.* 14, 2, 359 (1975).

[3] N. Uchida and Sh. Miyazawa, *J. Opt. Soc. Am.* 60, 1375 (1970).

THE STRUCTURES OF PbMoO_4 AND Pb_2MoO_5 SINGLE CRYSTALS

A. Krivchenko, M. Trubitsyn, M. Volnyanskii

*Oles Honchar Dnipro National University
anastasiyareisman17041997@gmail.com*

The crystal structures of lead molybdate (PbMoO_4) and double lead molybdate (Pb_2MoO_5) are considered in this report. It is argued that chemical compositions and crystal structures determine the attractive acousto-optical parameters and prospects of PbMoO_4 and Pb_2MoO_5 applications in acousto-optical devices. Necessity to develop the technological approaches to control the content of the structural defects is emphasized.

СТРУКТУРА НАНОЧАСТИНОК Zn_2SnO_4 ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ

О. Лісовенко, О. Д'яченко, А. Опанасюк

Сумський державний університет
alexsumy87@ukr.net

Останні десять років в Україні застосування сонячних електростанцій стало набирати комерційний характер. У зв'язку зі зростаючим попитом на матеріали для фотоелектричних перетворювачів, а також пошуком альтернативних нетоксичних відносно дешевих матеріалів з задовільною ефективністю, оксид цинку-стануму (Zn_2SnO_4) розглядається як альтернатива бінарним оксидам (ITO, SnO_2 , ZnO) і може мати потенційне застосування в розряді оптико-електронних приладів і геліоенергетики [1].

Zn_2SnO_4 (ZTO) - напівпровідник n-типу. Завдяки високій мобільності електронів та гарним оптичним властивостям наноструктури ZTO демонструють значну продуктивність в фотокаталізі і фотоелектричних елементах, чутливих до пігмента. Zn_2SnO_4 має кулькоподібну кристалічну структуру інверсної шпінелі (Рис. 1).

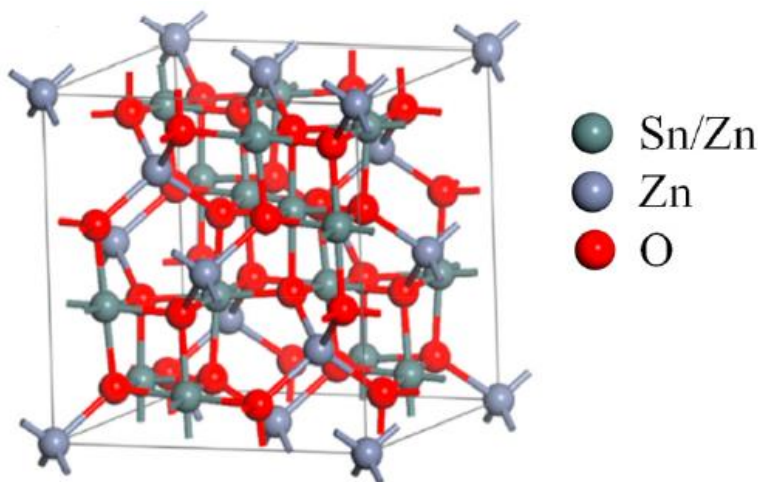


Рис. 1. Кулькоподібна модель атомної структури інверсної шпінелі Zn_2SnO_4 (група $Fd3m$, № 227, $Z = 8$) з октаедричними позиціями, зайнятими як катіонами Zn^{2+} , так і $\text{Sn}^{4+} = (50\%:50\%)$ та тетраедричні позиції, зайняті катіонами Zn^{2+} [2].

Шпінель Zn_2SnO_4 є кубічною інверсною структурою шпінелі та кристалізується в просторовій групі $Fd3m$ (№ 227, $Z = 8$). Тетраедричні вузли, оточені 4 іонами кисню, повністю зайняті іонами Zn^{2+} . Атоми на октаедричних вузлах зайняті іонами Sn^{4+} та Zn^{2+} з однаковою статистикою зайнятості (50%:50%) і оточений 6 іонами кисню. Іонний радіус іонів Zn^{2+} і Sn^{4+} становить 74 пм і 71 пм відповідно. Завдяки близькому іонному радіусу заселеність іонів металів (Sn^{4+} та Zn^{2+}) на тих же октаедричних ділянках можна легко регулювати від 50%:50%.

Фотокаталітична продуктивність ZTO все ще обмежена через велику ширину забороненої зони (3,6 еВ). На даний час величезною проблемою залишається розробка наноструктури фотокаталізатора на основі ZTO з посиленою видимою

фотокаталітичною активністю. Численні зусилля, такі як легування елементів і створення гетероструктур, були спрямовані на звуження забороненої зони та покращення фотокаталітичної активності. Для напівпровідникового фотокаталізу вважається перспективним способом для покращення фотокаталітичних характеристик самолегування іонами металів/неметалів [3].

Як було показано в [3], гексагональні нанопластики Zn_2SnO_4 з різною концентрацією іонів Sn^{4+} демонструють значну фотокаталітичну ефективність при фотовідновленні CO_2 до CH_4 . Виявлено, що іони Zn^{2+} решітки в октаедричних вузлах заміщуються іонами Sn^{4+} і мігрують до поверхні з утворенням аморфного ZnO . Експериментальні результати підтверджують, що заміщені іони Sn^{4+} викликають новий рівень енергії легування нижче зони провідності Zn_2SnO_4 , розширюючи видиме поглинання та сприяючи перенесенню носіїв заряду на поверхню каталізаторів.

У результаті самолеговані іони Sn^{4+} зразки Zn_2SnO_4 (особливо ZTO-200) мають вдвічі вищу фотокаталітичну продуктивність щодо фотовідновлення CO_2 до CH_4 , ніж чисті нанопластики Zn_2SnO_4 . Це демонструє, що самолегування може бути простим і ефективним підходом для проектування та розробки високоактивних фотокаталізаторів для практичного застосування фотокаталізу.

- [1] Minami T. Transparent conductive oxides for transparent electrode applications. *Semicond. Sci. Technol*, 2005. 20, No. 4. P. 159-194.
- [2] Momma K., Izumi F. VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data, *J. Appl. Crystallogr*, 44 (2011) 1272–1276.
- [3] Sai Yan, Zhonggui He Hexagonal Zn_2SnO_4 nanoplates self-doped with Sn^{4+} ions towards efficient photoreduction of CO_2 into CH_4 , *Materials Science in Semiconductor Processing*, 130 (2021) 105818

STRUCTURE OF Zn_2SnO_4 NANOPARTICLES FOR APPLICATION IN PHOTOVOLTAIC CONVERTERS

O. Lisovenko, O. D'yachenko, A. Opanasyuk

*Sumy State University
alexsumy87@ukr.net*

In the last ten years, the use of solar power plants in Ukraine began to acquire a commercial character. In connection with the growing demand for materials for photovoltaic converters, as well as the search for alternative non-toxic, relatively cheap materials with satisfactory efficiency, zinc-stannium oxide (Zn_2SnO_4) is considered as an alternative to binary oxides (ITO, SnO_2 , ZnO) and may have potential applications in discharges of optical-electronic devices and solar energy.

The photocatalytic performance of ZTO is still limited due to the large band gap (3.6 eV). Currently, the development of a ZTO-based photocatalyst nanostructure with enhanced visible photocatalytic activity remains a huge problem.

Numerous efforts, such as doping elements and creating heterostructures, have been aimed at narrowing the band gap and improving photocatalytic activity. For semiconductor photocatalysis, self-doping with metal/non-metal ions is considered a promising way to improve photocatalytic characteristics.

ЕЛЕКТРОННІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВІ β -ОКСИДУ ГАЛІЮ

Р. Балабай, М. Науменко

*Криворізький державний педагогічний університет
balabai@i.ua, nikemar13@gmail.com*

Оксид галію має багато переваг, що прогнозують йому заміну інших напівпровідників. Незважаючи на те, що оксид галію має низьку провідність через велику ширину забороненої зони (біля 5 еВ), його здатність витримувати велику потужність дозволяє йому працювати в пристроях, що розсіюють більшу енергію. Цей напівпровідниковий матеріал також є прозорим, що дає оксиду галію ще одну перевагу перед іншими матеріалами, такими як кремній, в застосуванні у сонячних батареях. Поліморфи оксиду галію ще повністю не досліджені і на сьогодні спостерігається основна увага до β -Ga₂O₃, який є моноклінним [1]. Розвиток нових технологій стимулює дослідження різноманітних наноструктур оксиду галію [2]. На властивості цих структур впливають різні техніки, які використовуються для їх синтезу [3]. При цьому, зменшення розміру матеріалу до нанорозміру, покращує його властивості, наприклад, фотолюмінесцентні, які для наноструктурованого β -оксид галію мають ширший діапазон випромінювання.

Розвиток технологій вирощування наноструктур створює нові задачі прикладного обчислювального матеріалознавства, що пов'язані з необхідністю встановлення взаємозв'язку між атомною будовою та електронними характеристиками, іншими фізичними властивостями наноструктур на основі β -Ga₂O₃. Нами був виконаний цикл теоретичних розрахунків з використанням функціоналу електронної густини, псевдопотенціалу із перших принципів, власного програмного коду щодо оцінки електронних властивостей різних наноструктур на основі β -Ga₂O₃.

Товщина плівки, тип вільної поверхні плівки та механічна дія стиснення на неї дозволяє впливати та керувати провідними властивостями надтонких плівок β -Ga₂O₃. Так, ми встановили [4], що плівка з поверхнею (010) товщиною 0.304 нм, яка трактувалася як 2D-об'єкт, у вихідному (нестисненому) стані має величину забороненої зони майже в п'ять разів більше, ніж у масивного кристалу β -Ga₂O₃. Плівка з неплоскою поверхнею (100) товщиною 1.29 нм при стисненні до 30 % має величину забороненої зони, що рівна нулеві. Під час стиснення надтонких плівок утворюються орієнтаційні дефекти хімічних зв'язків, що проявляються у різкій та немонотонній зміні ширин електронних заборонених зон.

Інтерес до одновимірних (1D) наноструктур, таких як наночастинки, нанодроти та нанотрубки, для виявлення газу значно зріс в останні роки. Ми дослідили сенсорну чутливість наночастинок β -Ga₂O₃ різних форм (сферичної та призмоподібної) до газових молекул CO, NH₃, O₃, що локалізувалися або поблизу атомів Ga або O [5]. Було встановлено, що наночастинки обох форм можуть служити ефективними резистивними детекторами молекул CO і NH₃. Більш яскрава реакція на молекули CO була зафіксована у сферичної частинки, а щодо молекул NH₃ – у призмоподібної частинки. При цьому активна ділянка наночастинок як детекторів локалізувалася біля атомів Ga. На молекули O₃ ефективно реагували тільки сферичні наночастинки, збільшуючи свою провідність.

Нами встановлені синергетичні властивості масивів нанодротів на основі β -Ga₂O₃ шляхом визначення ступеню впливу дротів один на одного в залежності від

геометричних параметрів їх взаємного розташування в масиві та електронні характеристики масиву дрітків як єдиного цілого [6]. Масиви дрітків $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ циліндричної форми та більшого діаметру виявляють більш контрольовані та фізично аргументовані синергетичні електронні характеристики ніж масиви дрітків циліндричної форми меншого діаметру та призмоподібної форми.

Основним недоліком $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ до теперішнього часу є відсутність надійного методу виготовлення $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ p -типу. Це ключове обмеження для створення напівпровідникових пристроїв з контрольованими електричними та оптичними властивостями. Нами було оцінено ефективність легування p -типу нанооб'єктів на основі $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ різними металами та неметалами [7]. Були вказані перспективні домішки p -типу: атоми двовалентних металів – Mg, Ca, Zn, що заміщують атоми галію та атоми неметалу N, що заміщують різно позиційовані атоми кисню.

- [1] Balabai R.M., Naumenko M.V. Methodology of converting of the coordinates of the basis atoms in a unit cell of crystalline $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$, specified in a monoclinic crystallographic system, in the laboratory cartesian coordinates for computer applications. *Photoelectronics*. No 29. (2020). P. 12-22.
- [2] Nishant Singh Jamwal, Amirkianoosh Kiani. Gallium Oxide Nanostructures: A Review of Synthesis. Properties and Applications, *Nanomaterials*. 12 (12). (2022). P. 2061.
- [3] Chen X., Ren F., Gu S., Ye J. Review of gallium-oxide-based solar-blind ultraviolet photodetectors. *Photonics Res.* 7. (2019). P. 381-415.
- [4] Балабай Р.М., Здешиц В.М., Науменко М.В. Модифікація електронних властивостей надтонких плівок $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ механічними впливами. *Укр. фіз. журн.* Т. 66, № 12. (2021). P. 1046-1055.
- [5] Balabai R.M., Naumenko M.V. Sensory sensitivity to the form of $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ nanoparticles. The 2021 Spring Meeting of the European Materials Research Society (E-MRS). VIRTUAL Conference from May 31st to June 4th, 2021 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.european-mrs.com/defect-induced-effects-nanomaterials-emrs-0>
- [6] Balabai R.M., Naumenko M.V. Electronic properties of $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ Nanotube (or Nanowire) Arrays. Symposia & program: E-MRS 2022 Spring Meeting Symposium D1: Materials for nanoelectronics and nanophotonics. 2022 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.european-mrs.com/materials-nanoelectronics-and-nanophotonics-emrs-0>
- [7] Balabai R., Bondarenko O., Naumenko M. Energy levels of acceptor impurities in $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ nanostructures. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 62, Part 9. (2022). P. 5838-5844.

ELECTRONIC PROPERTIES OF NANOSTRUCTURES BASED ON β -GALLIUM OXIDE

R. Balabai, M. Naumenko

*Kyryv Rih State Pedagogical University
balabai@i.ua, nikemar13@gmail.com*

The development of technologies for growing nanostructures creates new tasks of applied computational materials science related to the need to establish the relationship between the atomic structure and electronic characteristics, other physical properties of nanostructures based on $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$. We performed a cycle of theoretical calculations using the electron density functional, the pseudopotential from first principles, our own software code for evaluating the electronic properties of various nanostructures based on $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$.

АНІЗОТРОПІЯ ІОННОЇ ПРОВІДНОСТІ В МОНОКРИСТАЛАХ $\text{LiNaGe}_4\text{O}_9$

Є. Скрипнік, М. Трубіцин, А. Дяченко, Ю. Потапович,
Дж. Алнашеф, О. Дьошина

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
zhenya.skripnik.1997.2@gmail.com

Літієво-натрієвий тетрагерманат $\text{LiNaGe}_4\text{O}_9$ (LNG) належить до сімейства сполук $\text{Li}_2\text{O-GeO}_2$ і при охолодженні нижче $T_C=104$ К перетерплює фазовий перехід до сегнетоелектричної фази. Структура кристалів LNG має каркасний тип і утворюється комплексами $[\text{GeO}_4]$ та $[\text{GeO}_6]$. Іони Li та Na знаходяться всередині структурних каналів, які сформовані германієво-кисневим каркасом. Можна очікувати, що електропровідність σ кристалів LNG має бути суттєво анізотропною. Метою цієї роботи є вивчення температурної залежності $\sigma(T)$ кристалів LNG вздовж головних кристалографічних напрямків. Вимірювання проводилися у змінному полі ($f=10^2\div 10^6$ Гц) в інтервалі температур $300\div 1000$ К.

Температурне зростання електропровідності внаслідок термічно активованих процесів описується формулою[1]:

$$\sigma(T) = \frac{C}{T} \exp\left(-\frac{U}{kT}\right), \quad (1)$$

де σ – електропровідність, C – передекспоненційний множник, U – енергія активації, T – температура, k – постійна Больцмана. Відповідно до формули (1) температурні залежності σ вздовж головних кристалографічних напрямків представлено на Рис.1 у координатах Арреніуса. На Рис.2 а-в показано проекції кристалічної структури LNG.

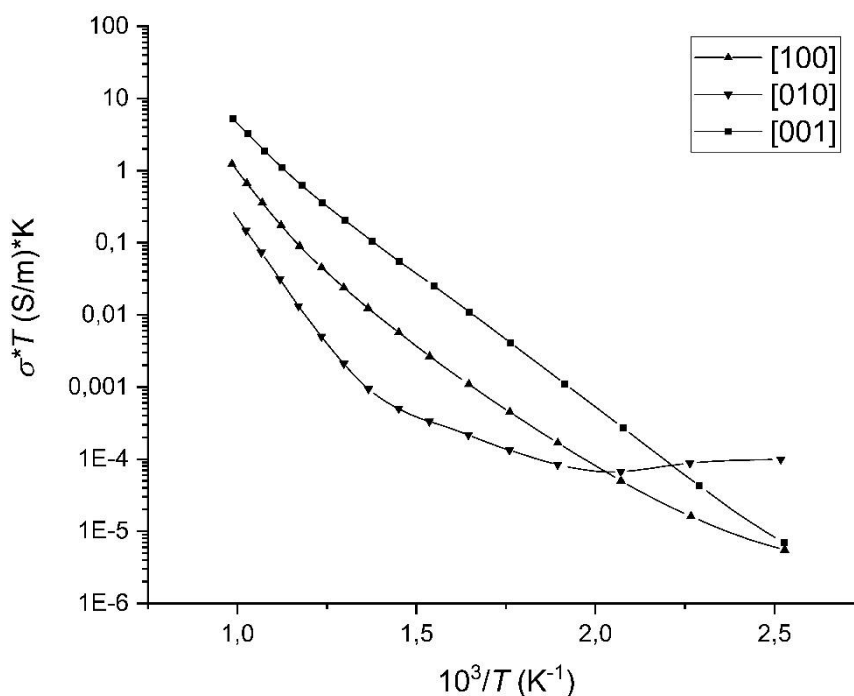


Рис.1 – Залежності $\sigma \cdot T(10^3/T)$ при частоті поля $f=50$ кГц вздовж напрямків [100], [010], [001]

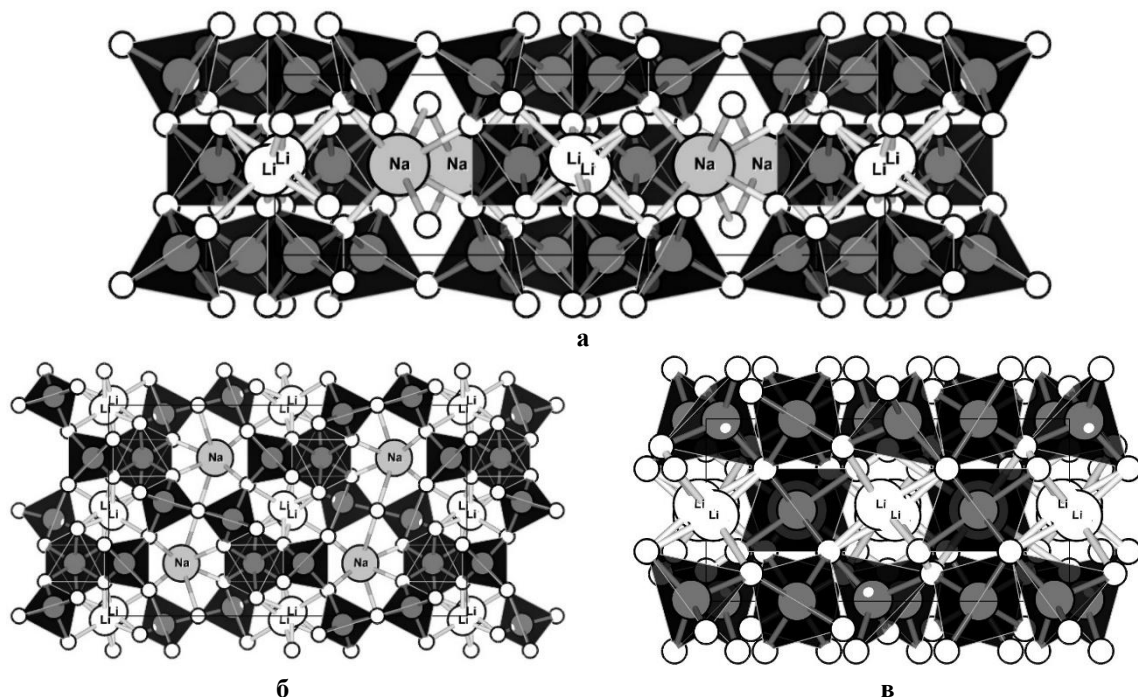


Рис.2. Проекції структури LNG вдовж осей: а - $[100]$, б - $[010]$, в - $[001]$. Октаедрами та тетраедрами на рисунку виступають комплекси $[\text{GeO}_4]$ та $[\text{GeO}_6]$, з атомами О на вершинах фігур і Ge всередині.

З Рис.1 видно, що найбільша провідність при $T > 500$ К спостерігається у напрямку $[001]$. У структурі вздовж $[001]$ мають місце канали з позиціями Li (Рис.2в). Відповідно, зростання $\sigma(T)$ при нагріванні можна приписати руху іонів Li по структурних каналах. Вздовж $[100]$ σ має проміжні значення. В цьому напрямку характерною рисою є зигзагоподібне розміщення атомів Na (Рис.2а). Найнижча електропровідність зафіксована для $E \parallel [010]$. Вздовж $[010]$ мають місце канали двох типів, які містять іони Li та іони Na (Рис.2б). Найменша провідність у напрямі $[010]$ може бути обумовлена кулонівським притягненням рухливих іонів Li^+ з боку аніонів О.

- [1] Поплавко, Ю.М Фізика діелектриків [Текст] / Ю.М. Поплавко // Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» – Київ: НТУУ «КПІ». – 2015. – С. 10-123.
- [2] Völlenkle, H., Wittmann, A., & Nowotny, H. (1969). Die Kristallstruktur der Verbindung $\text{LiNa}[\text{Ge}_4\text{O}_9]$ [Text]. Monatshefte Für Chemie, 100(1), 79–90. – 1969.

ANISOTROPY OF IONIC CONDUCTIVITY IN $\text{LiNaGe}_4\text{O}_9$ SINGLE CRYSTAL

**Y. Skrypnik, M. Trybitsyn, A. Diachenko, Y. Potapovych,
J. Alnache, O. Doshyna**

*Oles Honchar Dnipro National University
zhenya.skrypnik.1997.2@gmail.com*

Electrical conductivity of $\text{LiNaGe}_4\text{O}_9$ single crystal was studied in AC field along main crystallographic directions. It was shown that conductivity was highly anisotropic and differed by one-two orders of magnitude for different crystallographic directions. The main contribution to charge transfer was attributed to Li ions motion and discussed with accounting specific features of $\text{LiNaGe}_4\text{O}_9$ crystal structure.

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ НА СТРУКТУРУ ТА ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОЕНТРОПІЙНОГО СПЛАВУ CoCrFeNiMnBe

В. Башев, О. Кушнерьов, С. Рябцев

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
kushnrv@gmail.com*

В останні десятиліття був розроблений новий клас металевих сполук - так звані високоентропійні сплави (ВЕС), що містять декілька основних елементів. Такі сплави привертають все більше уваги завдяки своїй унікальній структурі та відмінним властивостям твердості та зносостійкості, винятковій високотемпературній міцності, добрій структурній стабільності, стійкості до радіації та корозії [1-3]. Кожен основний компонент у ВЕС зазвичай повинен мати концентрацію від 5 до 35 ат.%. Головною відмінністю ВЕС від традиційних сплавів є те, що вони мають високу ентропію змішування ($12-19 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$), яка суттєво впливає на їх будову і властивості. В якості методів отримання високоентропійних сплавів зазвичай використовуються методи лиття. Однак, слід зауважити, що формування структури твердого розчину, легованого багатьма елементами, повинно ускладнювати процес лиття, зокрема можна припустити неоднорідний розподіл елементів, а також наявність значних внутрішніх напружень в зливку. Очевидна необхідність збільшення кількості плавок для підвищення однорідності хімічного складу і контроль швидкостей охолодження при кристалізації.

Одним із широко розповсюджених методів покращення фізичних, хімічних, механічних та інших властивостей металів і сплавів є гартування з рідкого стану (ГРС). Розробка методів ГРС зумовила постійно зростаючий інтерес в усьому світі до матеріалів з термодинамічно нерівноважними структурами. У цих методах швидкість охолодження розплаву досягає значень понад 10^4 К/с , завдяки чому в сплавах формується широкий спектр метастабільних структурних станів, включаючи нанокристалічні і аморфні, з унікальними комплексами властивостей. Зважаючи на це, ГРС є перспективним методом для отримання високоентропійних сплавів із покращеними характеристиками.

Дана робота присвячена дослідженню впливу швидкості охолодження на структуру та властивості нового високоентропійного сплаву CoCrFeNiMnBe. Литі зразки сплаву CoCrFeNiMnBe були отримані за допомогою печі Таммана у потоці аргону. Після цього за допомогою технології гартування з рідкого стану, яка полягала в швидкому охолодженні крапель розплаву при їх зіткненні з внутрішньою теплопровідною поверхнею порожнистого мідного циліндра який швидко обертався ($\sim 8000 \text{ об/хв}$) були отримані наноструктуровані плівки досліджуваного сплаву. Розрахункова швидкість охолодження становила до 10^6 К/с .

Рентгенофазовий аналіз проведений із застосуванням дифрактометра ДРОН-2.0 у монохроматизованому $\text{Cu K}\alpha$ -випромінюванні дозволив встановити, що досліджуваний ВЕС в литому стані має багатофазну структуру, в якій присутня ГЦК фаза з параметром ґратки $a=0,3588 \text{ нм}$ і розмірами областей когерентного розсіювання (розмірами кристалітів), оціненими за формулою Селякова-Шерера $L=20 \text{ нм}$, ОЦК фаза ($a=0,2872 \text{ нм}$, $L=19 \text{ нм}$) та інтерметалічні сполуки структурного типу $\text{B}_2 \text{ BeNi}(\text{Co})$ ($a=0,2616 \text{ нм}$, $L=20 \text{ нм}$). Водночас загартований з рідкого стану зразок має структуру, що складається з ГЦК фази ($a=0,3599 \text{ нм}$, $L=15 \text{ нм}$) та фази $\text{BeNi}(\text{Co})$ ($a=0,2610 \text{ нм}$, $L=18 \text{ нм}$).

Мікротвердість у литому стані $H_m=3400$ МПа, а після гартування з рідкого стану $H_m=5600$ МПа. Таким чином, додавання Be значно покращує механічні характеристики досліджуваного ВЕС порівняно з вихідним сплавом Кантора (CoCrFeNiMn). Той факт, що ГРС плівки системи Co-Cr-Fe-Ni-Mn-Be характеризуються вищими значеннями H_m , ніж литі сплави, не є несподіваним, оскільки мікроструктура та фазовий склад литого сплаву після розкладання знаходяться в більш рівноважному багатофазному стані, тоді як загартований з рідкого стану сплав має вищий рівень мікрореформацій, більшу густину дислокацій і менші розміри зерен.

Магнітні властивості досліджених сплавів вимірювалися за допомогою вібраційного магнітометра. Для литого ВЕС CoCrFeNiMnBe намагніченість насичення (M_s) і коерцитивна сила (H_c) становили $5,1 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$ і 2800 A/m , а для ГРС плівок – $2,7 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$ і 4000 A/m відповідно.

- [1] High entropy alloys. Innovations, advances, and applications. Ed. by T. S. Srivatsan, M. Gupta. Boca Raton : CRC Press. (2020). 758 p.
- [2] Kushnerov O. I., Bashev V.F. Structure and physical properties of cast and splat-quenched $\text{CoCr}_{0.8}\text{Cu}_{0.64}\text{FeNi}$ high entropy alloy. East European Journal of Physics. №3.(2021) P. 43–48.
- [3] Kushnerov O. I., Bashev V. F., Ryabtsev S. I. Structure and properties of nanostructured metallic glass of the Fe–B–Co–Nb–Ni–Si high-entropy alloy system. Springer Proceedings in Physics. (2021). P. 557–567.

THE EFFECT OF COOLING RATE ON STRUCTURE AND PHYSICAL PROPERTIES OF CoCrFeNiMnBe HIGH- ENTROPY ALLOY

V. Bashev, O. Kushnerov, S. Ryabtsev

Oles Honchar Dnipro National University

kushnrv@gmail.com

In this study the as-cast samples of the new high-entropy CoCrFeNiMnBe alloy were prepared with a Tamman high-temperature electric furnace in the argon gas flow using a copper mold. The as-cast ingot was thereafter remelted and the nanostructured films were synthesized by the means of liquid quenching (LQ) technique. The estimated cooling rate was $\sim 10^6 \text{ K/s}$.

The investigated alloy in the as-cast state has a multiphase structure in which there is the FCC phase, BCC phase and B2 type intermetallic compounds BeNi(Co). At the same time, the LQ sample has a structure consisting of the FCC phase and the BeNi(Co) phase. The addition of Be significantly improves the mechanical characteristics of the studied high-entropy alloy as compared with the original Cantor alloy (CoCrFeNiMn). The LQ alloy of the Co-Cr-Fe-Ni-Mn-Be system is characterized by higher values of microhardness than as-cast alloy.

The magnetic properties of CoCrFeNiMnBe alloy were measured by a vibrating sample magnetometer. For the as-cast CoCrFeNiMnBe alloy the saturated magnetizations (M_s), and coercivity force (H_c) were $5.1 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$ and 2800 A/m , while for the LQ films – $2.7 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$ and 4000 A/m respectively.

МОДЕЛЮВАННЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР

В. Наход, Ю. Івановський, О. Замуруєва, С. Федосов

*Волинський національний університет імені Лесі Українки
zamuraeva.o@gmail.com*

Фізика двовимірних (2D) матеріалів і гетероструктур на основі таких кристалів розвивається надзвичайно швидко. Підбір окремих двовимірних матеріалів у гетероструктури Ван-дер-Ваальса дозволяє створювати шаруваті тривимірні матеріали з бажаними електронними та оптичними властивостями. Основною проблемою у виготовленні цих структур є формування чистих інтерфейсів між окремими двовимірними матеріалами, що впливає на ефективність пристроїв.

Вивченням проблем моделювання гетероструктур займається значна кількість науковців усього світу. Станом на жовтень 2022 р. у наукометричній БД Scopus відображено 2 427 наукових праць пов'язаних з моделюванням гетероструктур. Щороку за період 1986-2022 рр. спостерігається щорічне (а з 2010 р. особливо різке) зростання кількості публікацій, що лише підтверджує зростаючу зацікавленість науковців до даної тематики.

У найцитованіших (найпопулярніших) публікаціях розглядаються найактуальніші і найважливіші результати досліджень пов'язаних з моделюванням гетероструктур. Зокрема у найбільш цитованій роботі [1] розглянуто властивості нових двовимірних кристалів і вивчено, як їхні властивості використовуються в нових гетероструктурних пристроях. Робота [2] присвячена вивченню гетероструктури, що складається з двошарового графену, в якому два шари графену закручені відносно один одного на певний кут. Експериментально продемонстровано, що для кутів близьких до «магічного» кута, структура електронної зони поблизу нульової енергії Фермі стає плоскою через сильний міжшаровий зв'язок. Властивості двошарових графенових гетероструктур із закрученим магічним кутом дозволяють припустити, що ці матеріали можна використовувати для вивчення інших екзотичних квантових фаз багатьох тіл у двох вимірах за відсутності магнітного поля. Доступність плоских зон через електричну настроюваність і настроюваність смуги пропускання через кут закручування може прокласти шлях до більш екзотичних корельованих систем, таких як нетрадиційні надпровідники та квантові спінові рідини. Автори [3] розширюють діапазон гетероструктур на основі 2D кристалів до фотоактивних за допомогою напівпровідникових діхалькогенідів перехідних металів (TMDC)/графенових стеків. Сингулярності Ван Хова в електронній щільності станів TMDC гарантують посилену взаємодію між світлом і речовиною, що призводить до посиленого поглинання фотонів і створення електронних дірок (які збираються в прозорих графенових електродах). Це дозволяє розробляти надзвичайно ефективні гнучкі фотоелектричні пристрої з фоточутливістю понад 0,1 А/Вт (що відповідає зовнішньому квантовому ККД понад 30 %).

- [1] Pizzocchero F., Gammelgaard L., Jessen B.S., et al. The hot pick-up technique for batch assembly of van der Waals heterostructures. *Nature Communications*. Vol. 7. (2016). 11894.
- [2] Sahoo P.K., Memaran S., Xin Y., Balicas L., Gutiérrez H.R. One-pot growth of two-dimensional lateral heterostructures via sequential edge-epitaxy. *Nature*. Vol. 553, № 7686. (2018). P. 63–67.
- [3] Shi E., Yuan B., Shiring S.B., et al. Two-dimensional halide perovskite lateral epitaxial heterostructures. *Nature*. Vol. 580, № 7805. (2020). P. 614–620.

MODELING OF HETEROSTRUCTURES**V. Nakhod, Yu. Ivanovskiy, O. Zamurueva, S. Fedosov***Lesya Ukrainka Volyn National University**zamuraeva.o@gmail.com*

The article analyzes the publications of authoritative world scientists in the field of modeling of heterostructures to understand the patterns of support and development of this area in the world and to identify prospects for new research. The peculiarities of international cooperation are considered, the range of leading publications in the scientific field is outlined, the factors of influence of scientists of different countries on the development of this field are analyzed.

НАНОСТРУКТУРИ ДЛЯ ОПТОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ**М. Скіпалький, Ю. Івановський, О. Замуруєва, С. Федосов***Волинський національний університет імені Лесі Українки**zamuraeva.o@gmail.com*

Графен та інші двовимірні матеріали швидко зарекомендували себе як інтригуючі конструкційні елементи для оптоелектронних застосувань, з великим акцентом на різних платформах фотодетектування. Універсальність цих систем матеріалів дозволяє застосовувати їх у таких сферах, як надшвидке та надчутливе виявлення світла в ультрафіолетовому, видимому, інфрачервоному та терагерцевому діапазонах частот. Ці детектори можна інтегрувати з іншими фотонними компонентами на основі того самого матеріалу, а також із кремнієвими фотонними та електронними технологіями.

Вивченням цих проблем займається значна кількість науковців усього світу. У наукометричній БД Scopus станом на жовтень 2022 р. опубліковано 554 наукових праці пов'язаних з розробкою і дослідженням наноструктур для оптоелектронної техніки. За період 1991-2022 рр., особливо починаючи з 2000 рр, спостерігається майже на порядок зростання щорічної кількості публікацій, що лише підтверджує зростаючу зацікавленість науковців до даної тематики.

У найцитованіших (найпопулярніших) публікаціях розглядаються найактуальніші і найвагоміші результати досліджень наноструктур для оптоелектронної техніки. Зокрема у найбільш цитованій роботі [1] надано огляд та оцінку найсучасніших фотодетекторів на основі графену, інших двовимірних матеріалів і гібридних систем, заснованих на поєднанні різних двовимірних кристалів або двовимірних кристалів та інших (нано)матеріалів, такі як плазмонні наночастинки, напівпровідники, квантові точки, або їх інтеграція з (кремнієвими) хвилеводами. У роботі [2] демонструється інвертор, вентиль NAND, статична оперативна пам'ять і п'ятиступінчастий кільцевий генератор на основі транзисторної логіки з прямим зв'язком. Схеми містять від 2 до 12 транзисторів, плавно інтегрованих один біля одного на одному листі двошарового MoS₂. Транзистори як режиму покращення, так і режиму виснаження були виготовлені завдяки використанню металів затвора з різними робочими функціями. Авторами [3] представлено детальний огляд фізичних властивостей InN та споріднених нітридних

напівпровідників III групи. Електронна структура, динаміка носіїв, оптичні переходи, фізика дефектів, невідповідність легування, поверхневі ефекти та фононна структура обговорюються в контексті переоцінки забороненої зони InN. Описано прогрес, перспективи та проблеми в розробці нових електронних та оптоелектронних пристроїв на основі сплавів InGaN. Досягнення в характеристиках і розумінні наноструктур InN і InGaN також розглянуто в порівнянні з їх тонкоплівковими аналогами.

- [1] Koppens F.H.L., Mueller T., Avouris P., et al. Photodetectors based on graphene, other two-dimensional materials and hybrid systems. *Nature Nanotechnology*. Vol. 9, № 10. (2014). P. 780–793.
- [2] Wang H., Yu L., Lee Y.-H., et al. Integrated circuits based on bilayer MoS₂ transistors. *Nano Letters*. Vol. 12, № 9. (2012). P. 4674–680.
- [3] Wu J. When group-III nitrides go infrared: New properties and perspectives. *Journal of Applied Physics*. Vol. 106, № 1. (2009). 011101.

NANOSTRUCTURES FOR OPTOELECTRONIC TECHNOLOGY

M. Skipalskiy, Yu. Ivanovskiy, O. Zamurujeva, S. Fedosov

*Lesya Ukrainka Volyn National University
zamurueva.o@gmail.com*

The article analyzes the publications of authoritative world scientists in the field of nanostructures for optoelectronic technology to understand the patterns of support and development of this area in the world and to identify prospects for new research. The peculiarities of international cooperation are considered, the range of leading publications in the scientific field is outlined, the factors of influence of scientists of different countries on the development of this field are analyzed.

ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСОВІ РЕЖИМИ ПАСИВАЦІЇ ВОДНЕМ ЕЛЕКТРИЧНО-АКТИВНИХ ЦЕНТРІВ У МОНОКРИСТАЛАХ A²B⁶

В. Британ, А. Ольшанецький

*Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка
vbrytan2@gmail.com*

Широкозонні монокристали A²B⁶ (CdTe, ZnTe) та тверді розчини на їх основі (Cd_{1-x}Zn_xTe) знаходять все більш широке застосування з розвитком акусто- і оптоелектроніки, інфрачервоної (ІЧ) техніки, терагерцової (ТГц) техніки та напівпровідникових детекторів іонізуючих випромінювань [1].

Однією з вимог до монокристалів є високий питомий опір. Високий питомий опір дозволяє збільшити напруженість поля і зменшити час збору заряду або зменшити темновий струм, який є основним джерелом електронного шуму і відповідає за зниження

енергетичної здатності приладу. Проте, блочність, яка проявляється при вирощуванні цих кристалів із розчинів та кристалізації з розплаву, дислокації і інші структурні неоднорідності обмежують можливість виготовлення детекторів ІЧ-випромінювання. Наявність в таких монокристалах електрично-активних центрів (вакансій, міжвузлових атомів, різних домішок) призводить до порушення симетрії хімічних зв'язків, тобто до формування в забороненій зоні кристала енергетичних рівнів, положення та структура яких обумовлює електричні властивості матеріалу.

Вимоги до отримання напівпровідникових матеріалів телуриду кадмію і твердого розчину $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$ визначають критерії вибору оптимальної модифікованої методики отримання цих монокристалів. Нами монокристали вирощувались методом сублімації, який базується на методі фізичного транспорту через газову фазу [2]. Вирощування монокристалів $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ проводилося в установці вертикальної конфігурації ростової системи, в якій здійснювався трьохрівневий температурний режим.

Одним із методів зниження рівня дефектності та покращення оптичних, електричних властивостей матеріалів є воднева пасивація.

У даній роботі проведено дослідження температурно-часових режимів пасивації дефектних станів у монокристалах $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ та CdTe вирощених методом сублімації. Області пасивації воднем залежать від способу введення водню та часу обробки. Тому кристали, вирощені методом сублімації, піддавались водневій обробці різними способами. Водень в зразки $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ вводився способом його дифузії із газового розряду, прогріванням зразків в атмосфері водню при температурному інтервалі (300 – 400) $^{\circ}\text{C}$, а також при вирощуванні монокристалів у атмосфері водню. Час обробки монокристалів в атмосфері водню був теж різний. Основною умовою пасивації є співвідношення між концентрацією дефектів в кристалі, концентрацією продефундованого водню, температурою і часом прогрівання.

Нами досліджувався вплив домішок водню на електричні та фотоелектричні властивості зразків $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ двох типів – низькоомних ($\rho \approx 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$) і високоомних ($\rho \approx 10^6 - 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$). Дослідження зразків з різною концентрацією дефектів показують, що ефект пасивації воднем, в першу чергу, дрібних центрів досягається і можна отримувати зразки з питомим опором $> 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ при 300 К. В деяких зразках мало місце не зменшення концентрації носіїв заряду, а їх збільшення. Це особливо проявляється в зразках з високим питомим опором ($10^7 - 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}$). Одна із причин зростання концентрації домішкових центрів після термообробки зразка в парах водню може бути обумовлена генерацією нових дефектів.

Таким чином, із експериментальних досліджень можна зробити висновок, що в кристалах $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ та CdTe явище пасивації атомарним воднем набагато сильніше проявляється в зразках з одним типом дефектів – домішок акцепторного типу.

- [1] Колесников Н.Н., А.В. Тимонина Универсальная технология выращивания кристаллов широкозонных II-VI-соединений. Материалы электронной техники Т. 2. (2010). С.17–34.
- [2] Корбутяк Д. В., Лоцько О. П., Демчина Л. А., Вахняк Н. Д., Цюцюра Д. І., Британ В.Б., Пігур О. М., Попович В. Д Патент України на корисну модель № 40276, МПК (2009) С30В 23/00, С30В 11/00, Спосіб вирощування монокристалів CdTe та CdZnTe ; власник Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України. № у 2008 13895; заявл. 02.12.2008 р.; опубл. 25.03.2009 р., Бюл. № 6 "Промислова власність". 6 с.

TEMPERATURE-TIME REGIMES OF HYDROGEN PASSIVATION OF ELECTRICALLY ACTIVE CENTERS IN A²B⁶ SINGLE CRYSTALS

V. Brytan, A. Olshanetskyi

*Ivan Franko State Pedagogical University
vbrytan2@gmail.com*

In this work, the temperature-time modes of passivation of defect states in Cd_{1-x}Zn_xTe and CdTe single crystals grown by the sublimation method were studied.

Studies of samples with different concentration of defects show that the effect of passivation by hydrogen, first of all, of small centers is achieved and it is possible to obtain samples with a specific resistance $> 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ at 300 K.

From experimental studies, it can be concluded that in Cd_{1-x}Zn_xTe and CdTe crystals, the phenomenon of passivation by atomic hydrogen is much more pronounced in samples with one type of defects - acceptor-type impurities.

ПЛІВКИ Fe-Si-B-(Cu,Nb,Ni,Mo) ОТРИМАНІ ЗАГАРТУВАННЯМ З ПАРОПОДІБНОГО СТАНУ

С. Рябцев, О. Кушнерьов, Н. Куцева

*Дніпровський Національний університет імені Олеся Гончара
siryabts@gmail.com*

В останні роки увага дослідників привернена до аморфних і нанокристалічних структур, що мають низку унікальних властивостей та ефективно використовуються при розробці наукомістких технологій. Зміна умов напilenня плівок іонно-плазмовим методом дозволяє в широких межах змінювати структуру цих плівок і спостерігати властивості, не зафіксовані в масивних зразках.

Раніше встановлено, що основні параметри, що визначають умови нанесення плівок методом модернізованого трьохелектродного іонно-плазмового напilenня, такі як: тиск плазмоутворюючого газу, енергія розпиленних атомів і швидкість напilenня, дозволяють проводити цілеспрямовану зміну розмірів областей когерентного розсіювання (ОКР) і енергії активації фазових переходів E_A [1-3].

У даній роботі методами рентгеноструктурного аналізу, електронної мікроскопії, магнітних вимірювань і побудови температурних залежностей електроопору досліджені особливості формування структури плівок типу Finemet Fe₇₃Si_{15,8}B_{7,2}-(Cu, Nb)₄ (Склад 1) та плівок Fe_{78,5}Si₆B₁₄-(Ni, Mo)_{1,5} (Склад 2), які отримані методом іонно-плазмового напilenня. та їх фізичні властивості.

У щойно напilenому стані в плівках типу Finemet зафіксована рентгеноаморфна структура, що характеризується розмитим гало, що відповідає розміру ОКР L~1,6 нм. У плівках складу 2 фіксується нанокристалічна структура з розміром ОКР L~12 нм. При 843К спостерігається початок розпаду метастабільних структур з появою твердого пересиченого розчину α-Fe.

Енергія активації процесів релаксації щойно напилених метастабільних структур оцінювалася за температурною залежністю досягнення максимального значення R/R_0 на політермах електроопору у припущенні, що максимальне значення R/R_0 для однофазного інтервалу, що досягаються в процесі нагрівання при різних швидкостях нагріву, відповідають однаковою мірою релаксації структури. У цьому випадку параметр $[\tau_{\max}=(T_{\text{перетв}}/V_{\text{нагр}})]$ описується рівнянням типу Арреніуса і характеризує кінетику цього процесу. Значення енергії активації, розраховані за нахилом $\ln([\tau_{\max}])$ до осі $(1000/T_{\text{перетв}})$, становлять 10400 ± 1200 К. Отримане значення вчетверо нижче значень енергії активації і усередненого коефіцієнта дифузії у загартованого з рідкого стану (ЗРС) сплаву $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{B}_6$.

Така відмінність пояснюється домірністю досліджуваних плівок порівняно з загартованими з рідкого стану фольгами. Коерцитивна сила (H_c) щойно напилених плівок склав 1 і 2 в 2 рази перевищує H_c плівок чистого заліза. Після нагрівання плівок складу 2 до 893 К H_c знижується в 1,2 рази, а плівках складу 2 – в 1,5 рази, що пояснюється встановленням оптимального співвідношення між частинками нанокристалічного $\alpha\text{-Fe}$ і залишками АФ.

- [1] S. Ryabtsev, V. Bashev, O. Kushnerov, N. Kutseva, S. Antropov. Metastable states in high carbon C–(Fe, Ni, Co) films obtained by three-electrode ion-plasma sputtering/ Molecular Crystals and Liquid Crystals Volume 699, 2020 Issue 1, Pages 90-96 <https://doi.org/10.1080/15421406.2020.1732543>
- [2] S. Ryabtsev, P. Gusevik, V. Bashev, F. Dotsenko. A Structure and Physical Properties of Ni Films in Metastable States. Journal of Materials Science and Engineering A. (Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing). 2012, volume 2, Issue 9 (serial number 13), pp.648-653 ISSN: 2161-6213 DOI:10.17265/2161-6213/2012.09.011
- [3] V. Bashev, O. Kushnerov, N. Kutseva, S. Popov, Yu. Potapovich, S. Ryabtsev. Films of immiscible systems obtained by three-electrode ion-plasma sputtering. Molecular Crystals and Liquid Crystals 2021, VOL. 721, NO. 1, 30–37 <https://doi.org/10.1080/15421406.2021.1905274>

Fe-Si-B-(Cu,Nb,Ni,Mo) FILMS OBTAINED BY QUENCHING TEMPERING FROM THE VAPOR STATE

S. Ryabtsev, O. Kushnerov, N. Kutseva

*Oles Honchar Dnipro National University
siryabts@gmail.com*

The abstracts of the report are devoted to the nonequilibrium factors of the formation of a nanocrystalline structure during quenching from vapor by three-electrode ion-plasma sputtering.

It has been established that in freshly deposited films of the Finemet type, an X-ray amorphous phase is formed, which is characterized by a blurred halo corresponding to the coherent scattering region (CSR) size $L \approx 1,6$ nm. In films of the $\text{Fe}_{78,5}\text{Si}_6\text{B}_{14}\text{-(Ni, Mo)}_{1,5}$ composition, a nanocrystalline structure with a CSR size of $L \approx 12$ nm is formed. The beginning of the decomposition of metastable structures with the appearance of a supersaturated solid solution of $\alpha\text{-Fe}$ occurs when heated above 843 K

The calculated values of the activation energy are 10400 ± 1200 K. The obtained value is four times lower than the values of the activation energy and the average diffusion coefficient

in the quenched from the liquid state $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{B}_6$ alloy (43000 K) determined from the kinetic parameters.

This difference is explained by the two-dimensionality of the films under study as compared to quenched from the liquid state foils. The coercive force (H_c) of freshly deposited films is twice as high as H_c of pure iron films. After heating films to 893K, H_c decreases by 1.2-1.5 times, which is explained by the establishment of the optimal ratio between particles of nanocrystalline α -Fe and the remains of the amorphous phase.

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМНОГО КОЕФІЦІЄНТА ПОГЛИНАННЯ МУТНОГО СЕРЕДОВИЩА

О. Камуз, Д. Хміль, Б. Снопко

*Інститут фізики напівпровідників НАН України
kamuz_a_m@ukr.net*

Більшість хімічних продуктів, біосередовища, нафтопродукти, рослини та водне середовище морів і океанів є мутними середовищами. В даний час неможливо виміряти один із важливіших параметрів такого середовища - оптичний коефіцієнт поглинання. Основна проблема полягає в тому, що в мутних середовищах неможливо визначити, чи втрачено потужність зондувального оптичного випромінювання на певній довжині хвилі через розсіювання або поглинання. Першим кроком на шляху до вирішення цієї проблеми є розробка такої оптичної моделі мутного середовища, на базі якої можна було б розробити метод вимірювання об'ємного коефіцієнта поглинання світлорозсіювальних середовищ.

Нами було розроблено нову модель плівки з фотолюмінофорної суспензії, методику підготовки суспензії та виготовлення зразків, а також технологію вимірювання об'ємного коефіцієнта поглинання мікрочастинок порошку фотолюмінофора. На основі розробленої моделі отримано аналітичне рівняння, яке пов'язує об'ємний коефіцієнт поглинання мікрочастинок порошку фотолюмінофора з параметрами суспензії (розміри частинок, концентрація вагова порошку фотолюмінофора, щільності матеріалу фотолюмінофора і епоксидної смоли).

Рівняння було експериментально випробувано при вимірюванні об'ємного коефіцієнта поглинання мікрочастинок промислового порошку люмінофора ітрій-алюмінієвого гранату (ФЛЖ-7). Плоскопаралельні зразки виготовлялися з гомогенізованої та дегазованої суспензії люмінофору (епоксидна смола із затверджувачем) із товщиною від 50 до 600 мкм. Гомогенізація та дегазація суспензії проводились у форвакуумній установці протягом 40-45 хвилин (до початку різкого підвищення в'язкості суспензії). Приготовленої суспензії люмінофора об'ємом 5 см³ було достатньо виготовлення 30 зразків плівкових композитів різної товщини. Схема нашої оптичної установки для вимірювання об'ємного коефіцієнта поглинання каламутних середовищ наведено на рис.1.

Колориметричні дослідження композитних плівок показали, що колірні координати (ЦК) та корельована колірна температура (КЦТ) мали незначні похибки $x \pm 0,0002$, $y \pm 0,0003$ та $\pm 50\text{K}$ відповідно. Ці значення похибок ЦК і КЦТ свідчать про високий рівень однорідності зразків та про високу якість гомогенізації та дегазації

суспензії. Оптичні вісі лінз 3 та 6, а також оптичні вісі джерела світла та волоконного кабелю спектрорадіометра розташовані на одній лінії. Лінза 3 знаходиться на подвійній фокусній відстані від джерела світла та вимірюваного зразка ($f=75$ мм), тому лінза 3 формує квазіпаралельний пучок світла в області досліджуваного зразка (5). Лінза 6 знаходиться на подвійній фокусній відстані від зображення джерела світла, яке проектується на зразку, що вимірюється і приймачем волоконного кабелю спектрорадіометра. Кутова апертура волоконного кабелю спектрорадіометра дорівнює $\Omega \sim 0,02391$ стерadian.

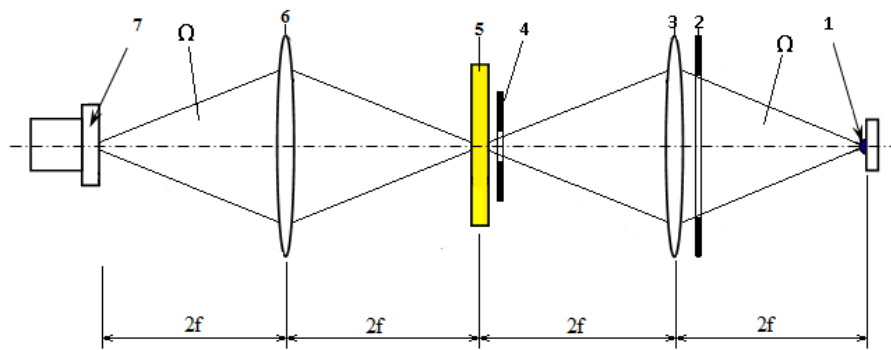


Рис. 1. Оптична схема для вимірювання об'ємного коефіцієнта поглинання мутних середовищ: 1 – джерело світла (світлодіод $\lambda_{\text{max}} = 456$ нм), 2 – кутова діафрагма, 3 та 6 – лінза, 4 апертурна діафрагма, 5, досліджуваний зразок, 7 – приймач, оптично волоконний кабель спектрорадіометра НААС 2000

Кутова діафрагма 2 пропускає на лінзу 3 тільки світло від світлодіода, який поширюється в тілесному куті рівним $\Omega \sim 0,02391$ стерadian. Графік 1 на рис.2 – це нормоване пропускання світла композитною плівкою, яке визначено експериментально і є постійною величиною при моделюванні. Графік 2 на рис.2 – це нормоване пропускання світла кубиком, яке змінюється під час моделювання композитної плівки. У точці перетину графіків 1 і 2 (рис.2) нормовані пропускання плівки та кубика, яким моделюється мікрочастинка люмінофора, рівні.

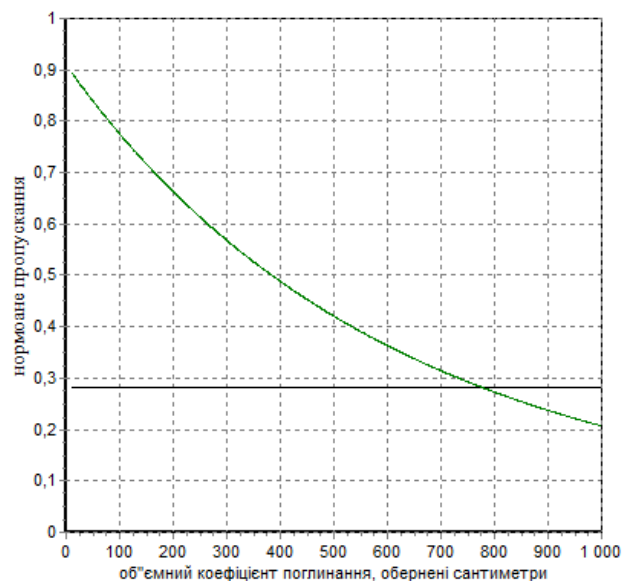


Рис. 2. Залежність пропускання композитної плівки (1) та її моделі (2) в залежності від величини об'ємного коефіцієнта поглинання кубика люмінофора

Використовуючи запропоновану модель композитної плівки гомогенізованої та дегазованої суспензії люмінофора та методику вимірювання об'ємного коефіцієнта поглинання мікрочастинок порошку люмінофора, було встановлено, що об'ємний коефіцієнт поглинання мікрочастинок порошку з розміром 2,6мкм дорівнює 774 см^{-1} .

DETERMINATION OF VOLUMETRIC ABSORPTION COEFFICIENT OF TURBID ENVIRONMENT

O. Kamuz, D. Khmil, B. Snopok

V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine

kamuz_a_m@ukr.net

A new model of a film made of phosphor suspension, a method of suspension preparation and sample production, as well as a technology for measuring the volumetric absorption coefficient of phosphor powder microparticles have been developed. An analytical equation was obtained that relates the volumetric absorption coefficient of phosphor powder microparticles to the parameters of the suspension. The volumetric absorption coefficient of powder microparticles was measured.

PARAMETRIC SPACE FOR 2HDM AND GENERATION OF MAGNETIC FIELDS

P. Minaiev, V. Skalozub

Oles Honchar Dnipro National University

Minaevp9595@gmail.com

In the Early Universe there are many phase transition happened. The most important is the electroweak phase transition (EWPT) when particles acquired masses. Other important problem is baryogenesis.

The parametric space of two Higgs doublets model is very rich [2]. The additional doublet of scalar fields gives us the new phenomenology described in many papers. For numerical calculations we should include theoretical condition for stability of vacuum, experimental measurements for couplings etc to obtain the bound for masses of particles. We want to add to known conditions the results from finite temperature field theory for EWPT to have new bound for parametric space. These theoretical restrictions can reduce parametric space where the Sakharov condition's are satisfied and fined the region of masses for new particles.

Another important properties of nonabelian gauge fields at high temperature is a spontaneous vacuum magnetization. It is closely related with asymptotic freedom, which happens due to a large magnetic moment of charged color gluons. In fact, asymptotic freedom at high temperature is always accompanied by the background stable, temperature dependent and long range chromomagnetic fields. As a result we calculate EWPT potential with accounting the spontaneous magnetization.

- [1] Sakharov A.D. Violation of CP invariance, C asymmetry and baryon asymmetry of Universe JETP Lett, Vol. 5. No 24. (1967)
- [2] Branco G.C., Ferreira P. M., Lavoura L., Rebelo M. N., Marc Sher, Joao P. Silva. Theory and phenomenology of two-Higgs-doublet models, Physics Reports. Vol. 516(1): (2012) p. 1–102
- [3] Minaiev P., Skalozub V. The electroweak phase transition in a spontaneously magnetized plasma, Ukr. Phys. J., Vol. 64, No 8, (2019) p. 706
- [4] Spontaneous magnetization and electroweak phase transition in the scalar sector of 2HDM. Journal of Physics and Electronics Vol 29, no 2, (2021).

QUARK PROPAGATION AT POLYAKOV'S LOOP BACKGROUND

V. Skalozub, A. Turinov

*Oles Honchar Dnipro National University
skalozubvv@gmail.com, andrii.turinov@gmail.com*

Quark-gluon plasma (QGP) is a new state of matter consisting of quarks and gluons liberated from nuclei at high temperature due to asymptotic freedom of non-Abelian gauge fields. It is not an empty space with free particles as it was assumed initially. A classical background of QGP is an A_0 (Polyakov loop (PL)) condensate resulting in the color $Z(3)$ symmetry breaking and the Furry's theorem violation. Due to these, in particular, the induced color charges Q^3_{ind} and other even-number diagram effects are realized. The PL is the order parameter for the phase transition. It is an integral variable - integral of A_0 component along imaginary time direction - related to A_0 condensate, which is a constant solution to Yang-Mills field equation at finite temperature in the Matsubara imaginary time formalism. At low temperature, PL and A_0 equal zero. At high temperature they become nonzero signaling the phase transition. On the principles of the Nielsen's identity method we derived the gauge invariant expression for the A_0 condensate in two-loop approximation.

Then, we have calculated the first term of this series depicted in figure

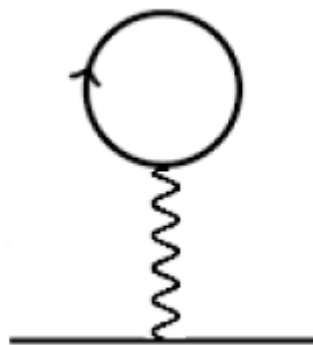


Figure 1. Tadpole diagram

and derived the induced color charge related to third direction in color internal space. Next we investigated the influence of the color charge on quark propagation. We have calculated and partially investigated the contribution of the induced charge into the Schwinger-Dyson equation for quarks at this background. To realize that, we computed the contribution of the tadpole quark diagram to the gluon propagator G_{00}^{33} using the one-loop effective potential for A_0 . This gives the Debye temperature mass squared, $(m_D^3)^2 = g^2 T^2$, where T is temperature, g is coupling constant. As it was demonstrated, the presence of the induced charge results in adding to the A_0 the additional term $Q_{\text{ind}}^3 / (m_D^3)^2$. Hence it follows that quarks moving in the QGP feel more strong influence of the A_0 condensate. This effect is important for different applications.

ELECTRON AND HOLE SPECTRUM TAKING INTO ACCOUNT DEFORMATION AND POLARIZATION

I. Bilynskyi^{1,2}, R. Leshko², H. Bandura², V. Kaminskyi¹

¹*Kyryvi Rih State Pedagogical University*

²*Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University*
galinka.bandura@gmail.com

Recently much attention has been paid to the physics of low-dimensional semiconductor structures. This has been stimulated by the rapid progress in nanometer-scale fabrication technology. Among them, quantum dots, which are also defined as nanocrystals and microcrystallites, or nanoclusters, are of particular interest. The effect of quantum confinement on the electrons and holes in semiconductor QD's has been studied in [1-3].

As in massive semiconductors as in quantum dots optical excitations can lead to exciton states. Real structures can contain various defects. Therefore, conditions may change. For heterosystems in which there is a large difference between the dielectric constants, the effect of polarization charges will be significant. The change in the dielectric properties of the matrix taking into account the polarization or deformation charges leads to a significant change in the energy of both the electron and the hole.

In view of this, in our work we have been calculated the energies of the electron and the hole in the 1-, 4- and 6-band approximation in the standard form, the energy during deformation or polarization. And we also have been calculated the energies during deformation and polarization at the same time. All presented models have been compared.

[1] J.B. Xia and J.B. Li, Phys. Rev. B **60**, 11 540 (1999)

[2] A. Lochmann, E. Stock, O. Schulz, F. Hopfer, D. Bimberg, V. Haisler, A. Toporov, A. Bakarov, and A. Kalagin, Electron. Lett. **42**, 774 (2006).

[3] M. Scholz *et al.*, Opt. Express **15**, 9107 (2007).

Наукове видання

**Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і
комп'ютерних систем (MEICS-2022)**

Тези доповідей
на VII Всеукраїнській науково-практичній конференції:
23-25 листопада 2022 р., м. Дніпро

Укладачі Іванченко О. В., Вашерук О. В.

Українською, англійською мовами

Матеріали рекомендовані до друку 24 листопада 2022 року: протокол № 4
від 24.11.2022 р. засідання Вченої ради Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара

Підписано до друку 24.11.2022 р.
Укладачі Іванченко О. В., Вашерук О. В.
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Форма 60х90 1/8. Папір ксероксний. Гарнітура Times New Roman.
Умов. друк. арк. 24,5.
Наклад 300 прим. Замовлення № 47-22

Видавець ПП «Видавництво «НОВАБУК»
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №7598 від 10.02.2022р.
www.novabook.com.ua
097 555 10 72

Віддруковано ПП Щербатих О.В.
вул. Софіївська, 36-Б, м. Кременчук, 39601
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №2129 від 17.03.2005р.

