



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ФІЗИКА,
ЕЛЕКТРОНІКА,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

ФЕЕ - 2020

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

**МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ
студентів та молодих вчених**

(Суми, 20-24 квітня 2020 року)

**Суми,
Сумський державний університет
2020**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ФЕЕ :: 2020

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
студентів та молодих вчених

(Суми, 20–24 квітня 2020 року)

Суми
Сумський державний університет
2020

Шановні колеги!

Факультет електроніки та інформаційних технологій Сумського державного університету в черговий раз щиро вітає учасників щорічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка». Основними принципами конференції є відкритість і вільна участь для всіх учасників незалежно від віку, статусу та місця проживання. Оргкомітет планує й надалі не запроваджувати організаційного внеску.

Важливими особливостями конференції є технологічність та відмінні авторські сервіси завдяки веб-сайту конференції. Усі подані матеріали автоматично доступні для зручного перегляду на сайті та добре індексуються пошуковими системами. Це допомагає учасникам сформуванню своєї цільової аудиторії та є потужним фактором популяризації доробку авторів на довгі роки.

Засідання секцій відбудуться в дистанційному режимі за допомогою сучасних комунікаційних засобів.

Усі питання та пропозиції Ви можете надіслати на нижчезазначену електронну адресу.

E-mail: elitconf@gmail.com.

Web: <http://elitconference.sumdu.edu.ua>.

Секції конференції:

1. Фізика та методика викладання фізики.
2. Наноматеріали: застосування та властивості.
3. Матеріалознавство мікро- та наноелектроніки.
4. Інформаційні електронні системи.
5. Електронні системи, прилади і засоби кодування інформації.
6. Електротехніка.

Голова оргкомітету

доц. О. О. Дрозденко

**СЕКЦІЯ № 1 «ФІЗИКА ТА МЕТОДИКА ВИКЛАДАННЯ
ФІЗИКИ»**

Голова секції – канд. пед. наук Пасько О.О..

Секретар секції – студ. Борисенко А.М.

Початок: 24 квітня 2020 р., 13⁰⁰

1. Features of physical experiments in distance form of education.

Authors: Assoc. Prof. Bondarenko Yu.,
Assoc. Prof. Bondarenko M.

2. Про поєднанні методів викладання фізики іноземним студентам підготовчого факультету.

Автор – ст. викл. Саган В.В.

3. Дидактичні можливості масових онлайн-сервісів в організації тестування студентів з фізики.

Автор – студ. Борисенко А.М.
Керівник – канд. пед. наук Пасько О.О.

4. Використання віртуальних лабораторій при вивченні фізики.

Автори: інж. Коваленко О.А.,
доц. Шкурдода Ю.О.

5. Методика вивчення фізики мікросвіту у курсі фізики закладів середньої освіти.

Автор – вчит. Лебединська Ю.С.

6. Узагальнення теорії польової електронної емісії на релятивістський випадок.

Автор – наук. співроб. Лебединський С.О.

**СЕКЦІЯ № 2 «НАНОМАТЕРІАЛИ:
ЗАСТОСУВАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ»**

Голова секції – д-р. фіз.-матем. наук, проф. Погребняк О.Д.
Секретар секції – асп. Шевченко С.Т.

Початок: 21 квітня 2020 р., 12⁰⁰

1. Drift of suspended ferromagnetic nanoparticles under alternating gradient and constant uniform magnetic fields.

Authors: Stud. Myronov E.M.,
Assoc. Prof. Lyutyu T.V.,
Prof. Denisov S.I.

2. Карбідні захисні покриття на основі високоентропійних стопів.

Автор – студ. Горячев М.Д.,
Керівник – доц. Космінська Ю.О.

3. Transport of suspended ferromagnetic nanoparticles in the gradient and homogeneous magnetic fields.

Authors: Stud. Moskalenko M.M.,
Postgrad. Stud. Pavlyuk M.O.,
Assoc. Prof. Lyutyu T.V.,
Prof. Denisov S.I.

4. Analysis of the formation of relaxation zones on a solid surface under the influence of laser radiation.

Auhtors: Stud. Badalian A.Yu.,
Assist. Gres V.M.,
Assoc. Prof. Yushchenko O. V.

5. Феноменологічне дослідження процесу самозбирання ДНК мономерів в полімерні ланцюги.

Автори: студ. Грес В.М.,
доц. Ющенко О.В.

6. Дослідження вуглецевих нанотрубок методом тунельної мікроскопії та спектроскопії.

Автори: студ. Дем'янчук Л.М.,
доц. Кулик С.П.

7. Релаксація електронного збудження в парі молекул спіропіран - мероціанін.

Автори: асист. Коваленко О.А.,
проф. Кондратенко П.О.,
проф. Лопаткін Ю.М.

8. Релаксація електронного збудження в молекулі азидомалахітового зеленого.

Автори: докторант Кондратенко П.О.,
проф. Лопаткін Ю.М.,
доц. Сакун Т.М.,
доц. Марінченко Г.Є.

9. Вплив хімічного складу і температури електроліту на розмір та структуру нанокристалів сульфід кадмію, отриманих електролітичним методом.

Автори: доктор. Мороз М.В.,
доц. Нечипорук Б.Д.,
доц. Новоселецький М.Ю.,
доц. Прохоренко М.В.,
проф. Решетняк О.В.

10. Методи аналізу мікротопології поверхонь функціональних покриттів.

Автори: студ. Могильних М.А.,
студ. Григор'єва А.С.,
Керівник: асп. Кравченко Я.О.

11. Люмінісценція тонких плівок на основі наноструктур оксиду цинку у вакуумі під дією пучка.

Автори: студ. Брандіс Й.Й.,
доц. Конопльов О.М.,
наук. співроб. Кузьма В.В.,
проф. Шуаїбов О.К.

12. Вплив умов одержання на фотопровідність тонких плівок β -Ga₂O₃.

Автори: асп. Бордун Б.О.,
доц. Медвідь І.І.

13. Застосування позитронно-анігільяційної спектроскопії для дослідження матеріалів.

Автор – студ. Левченко Я.М.
Керівник – ст. викл. Багдасарян А.А.

14. Радіоіндукована сегрегація у однофазних багатокомпонентних твердорозчинних сплавах.

Автор – студ. Асєєв Д.С.,
Керівник – ст. викл. Багдасарян А.А.

СЕКЦІЯ № 3 «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО МІКРО- ТА НАНОЕЛЕКТРОНІКИ»

Голова секції – канд. фіз.-мат. наук, ст. викл. Шабельник Ю.М.
Секретар секції – інж. Логвинов А.М.

Початок: 23 квітня 2020 р., 11⁰⁰

1. Структура композитних матеріалів типу феромагнетик-діелектрик.

Автор – асп. Щоткін В.В.,
Керівник – доц. Пазуха І.М.

2. Електропровідність шаруватих структур на основі Fe та SiO.

Автори: асп. Петренко Р.М.,
студ. Доценко В.С.
Керівники: доц. Пазуха І.М.,
доц. Шкурдода Ю.О.

3. Магніторезистивні властивості шаруватих структур [Fe/SiO]₅.

Автори: асп. Петренко Р.М.,
студ. Пінчук А.С.
Керівники: доц. Пазуха І.М.,
доц. Шкурдода Ю.О.

4. Вивчення властивостей квазі-розмірних магнітних систем зі спіном 1.

Автори: студ. Данильченко П.С.,
доц. Ткач О.П.

5. Вплив магнітної підсистеми на транспорт тепла в магнітних ізоляторах.

Автор: студ. Фролов А.І.
Керівник: доц. Ткач О.П.

6. Застосування тонкоплівкових структур на основі FeNi, Co та Cu як елементів сенсорної електроніки.

Автори: магістр. Косенко О.С.,
мол. наук. співроб. Логвинов А.М.
ст. викл. Шабельник Ю.М.

7. On the possible cause of abnormally small GMR in granular film alloys.

Authors: Postgrad. Stud. Shumakova M.O.,
Stud. Rylova A.K.,

Supervisors: Prof. Protsenko I.Yu.,
Prof. Odnodvoretz L.V.

8. Особливості польових залежностей магнітоопору тришарових плівок $\text{Co/Cu/Co}_x\text{Cr}_{1-x}/\text{P}$.

Автори: асп. Бездідько О.В.,
студ. Кучменко Д.М.
Керівник – доц. Шкурдода Ю.О.

9. Магніторезистивні властивості плівкових сплавів на основі $\text{Fe}_{0,5}\text{Ni}_{0,5}$ та Cu .

Автори: студ. Лисенко О.М.,
студ. Борисенко А.М.
Керівник – доц. Шкурдода Ю.О.

10. Електропровідність плівкових сплавів $(\text{Fe}_{0,5}\text{Ni}_{0,5})_x\text{Cu}_{1-x}$.

Автори: студ. Кудрявцев Д.В.,
студ. Ващенко С.М.
Керівник – доц. Шкурдода Ю.О.

11. Розрахунок загальної концентрації атомів у плівкових системах складної архітектури.

Автори: магістр. Васюхно М.В.,
проф. Проценко І.Ю.

12. Термодинамічні властивості рівноважної з Ge суперіонної сполуки Ag_3TeBr .

Автори: докт. Мороз М.В.,
проф. Решетняк О.В.,
пров. наук. співроб. Демченко П.Ю.,
інж. Перевізник О.Б.,
зав. лаб. Рудик Б.П.,
ст. викл. Соляк Л.В.

13. Властивості лазерно-опромінених монокристалів CdZnTe.

Автори: Рашковецький Л.В.,
Пляцко С.В.,
Стрільчук О.М.,
Левицький С.М.,
Вуйчик М.В.,
Свеженцова К.В.,
Громовий Ю.С.,
Маслов В.П.,
Петрик І.С.

14. Лазерна ІЧ епітаксія щодо створення компонентів сонячних елементів на основі сполук A^2B^6 .

Автори: Громовий Ю.С.,
Пляцко С.В.,
Рашковецький Л.В.,
Сизов Ф.Ф.

15. Свічення поверхні діоксиду кремнію при іонному бомбардуванні.

Автори: студ. Сані Км А.А.,
доц. Митропольський І.Є.

16. Nonlinear forced dynamics of a ferromagnetic nanoparticle with a finite anisotropy in a viscous liquid.

Authors: Lab. Assist. Petrenko N.S.,
Postgrad. Stud. Pavlyuk M.O.,
Assoc. Prof. Lyutyu T.V.

17. Статистичні властивості систем ферромагнітних наночастинок: модель жорсткого диполя.

Автори: мол. наук. співроб. Рева В.В.,

студ. Лютий А.Т.,

доц. Лютий Т.В.

18. Розрахунок фізико-механічних властивостей нітридів багатоелементних сплавів на основі даних математичного моделювання.

Автори: студ. Погорелий М.А.;

студ. Черненко В.В.,

Керівник – ст. викл. Рогоз В.М.

19. Моделювання кристалічної структури та термодинамічних властивостей твердих розчинів систем Pb-Cd-Te.

Автори: наук. співроб. Найдич Б.П.,

ст. наук. співроб. Яворський Я.С.,

студ. Катанова Л.О.,

ст. наук. співроб. Костюк О.Б.

20. Електричні властивості плівок PbCdTe.

Автори: ст. наук. співроб. Костюк О.Б.,

наук. співроб. Волочанська Б.П.,

студ. Черкач Х.П.,

асп. Яворський Р.С.

СЕКЦІЯ № 4 «ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ»

Голова секції – д-р. фіз.-мат. наук, проф. Однодворець Л.В.

Секретар секції – асп. Шумакова М.О.

Початок: 23 квітня 2020 р., 13⁰⁰

1. Мікроконтролерні модулі як складові Web систем.

Автори: магістр. Ришкова К.О.

- Керівник – магістр. Лобода В.С.
к.ф.-м.н. Тищенко К.В.
2. Автономні системи керування на базі контролерів АТtiny.
- Автор – студ. Сімагін В.В.
Керівник – к.ф.-м.н. Тищенко К.В.
3. Сучасні носії електронної інформації.
- Автори: магістр. Москаленко В.О.
студ. Сещенко Д.І.
Керівник – к.ф.-м.н. Шабельник Ю.М.
4. Система автоматичного керування освітленістю приміщення.
- Автори: студ. Кулак А.С.,
студ. Ващенко С.М.,
доц. Ткач О.П.
5. Ultrasonic scalpel as an electronic system of surgical influence on biological tissues.
- Authors: Cand. Med. Sci. Lukavenko I.M.,
Stud. Andrienko D.O.
6. Методика вимірювання робочих характеристик світловипромінюючих діодів.
- Автори: студ. Пушкарь С.О.,
студ. Скубак Р.М.,
зав. навч. лаб. Лободюк О.С.
Керівник – проф. Одноворець Л.В.
7. Вимірювання параметрів діодних оптопар.
- Автори: студ. Баранов О.О.,
студ. Козін І.Д.
Керівник – проф. Одноворець Л.В.

8. Розрахунок параметрів волоконно-оптичних систем передачі інформації.

Автори: магістр. Гончаренко О.М.,
магістр. Толстіков Д.І.,
проф. Однодворець Л.В.

9. Оптоелектронні та голографічні системи запису і зберігання інформації.

Автор – студ. Шкарупа Т.В.
Керівник – к.ф.-м.н. Шабельник Ю.М.

10. Вивчення роботи електронних аналогових фільтрів 1-го порядку засобами моделювання в LabVIEW.

Автори: ст. викл Вітренко А.М.,
студ. Коробов Є.А.,
студ. Кругляк М.В.

11. Оптоволоконні бронхоскопи: конструктивні особливості та застосування в отоларингології.

Автори: доц. Хижня Я.В.,
студ. Євченко Д.В.,
студ. Рудика О.М.

12. Венозний сканер для візуалізації кровоносних судин.

Автори: доц. Хижня Я.В.,
студ. Ромась О.А.,
студ. Біда Ю.О.

13. Діодні лазери: принципи функціонування, застосування в медицині та електроніці.

Автори: к. мед. н. Лукавенко І.М.,
д.ф.-м.н. Однодворець Л.В.

14. Рентгенофлуоресцентна спектроскопія для МАВ-аналізу.

Автори: доц. Гребеник Л.І.,
студ. Денисенко А.П.

15. Використання інформаційної електронної системи наукової технічної бібліотеки в закладі вищої освіти.

Автори – асп. Іваськів Р.Р.
Керівник – доц. Нерода Т.В.

16. Використання формули Байеса задля вирішення доцільності вибраного виду спорту за психофізичним аналізом.

Автор – асп. Ізмалков О.М.

17. Структурно-фазовий стан плівок на основі фулериту і металів.

Автори: асп. Мартиненко І.М.,
доц. Шумакова Н.І.,
проф. Однодворець Л.В.

18. Властивості плівок германідів заліза як елементів сенсорної електроніки.

Автори: асист. Власенко О.В.,
магістр. Подопригора О.О.
проф. Однодворець Л.В.

19. Розмірний ефект в електрофізичних властивостях компонентів електронних систем на основі пермалою та срібла.

Автори: асп. Шуляренко Д.О.,
ст. викл. Пилипенко О.В.,
студ. Ромась О.В.
Керівник – доц. Пазуха І.М.

20. Розмірні та температурні ефекти в магніторезистивних властивостях електронних компонентів на основі пермалою та срібла.

Автори: асп. Шуляренко Д.О.,
ст. викл. Пилипенко О.В.,
студ. Овруцький М.С.
Керівник – доц. Пазуха І.М.

СЕКЦІЯ № 5 «ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ, ПРИЛАДИ І ЗАСОБИ КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ»

Голова секції – д-р. техн. наук, проф. Борисенко О.А..
Секретар секції – асп. Шевченко М.С.

Початок: 23 квітня 2020 р., 11⁰⁰

1. IPS та IDS системи як інструмент захисту корпоративних мереж.

Автори: студ. Коник В.М.,
ст. викл. Д'яченко О.В.,
ст. викл. Протасова Т.О.

2. Фотолюмінесцентні дослідження плівок $Zn_{1-x}Mg_xO$ нанесених спреї-піролізом.

Автори: студ. Шкиря Ю.І.,
ст. викл. Д'яченко О.В.,
проф. Опанасюк А.С.,
старш. наук. співроб. Čerškus A.

3. Автоматичний програмно-керований інкубатор.

Автори: студ. Шаповалов О.І.,
студ. Волобуєв В.В.,
доц. Колесник М.М.,
проф. Опанасюк А.С.

4. Побудова спеціалізованих біноміальних процесорів.

Автори: асп. Шевченко М.С.,
студ. Адамов Р.А.,
доц. Кулик І.А.

5. Охоронний пристрій з каналом GSM.

Автори: доц. Новгородцев А.І.,
асист. Гапич В.М.,
студ. Кулик О.І.

6. Контактний зварювальний пристрій ударного типу.

Автори: доц. Новгородцев А.І.,
студ. Євтушенко О.Ю.

7. Квазіоптимальна фільтрація детермінованих сигналів.

Автори: студ. Кашук О.О.,
доц. Кобяков О.М.

8. Особливості раманівських спектрів полікристалічних плівок $Cd_{1-x}Zn_xTe$, отриманих методом вакуумного термічного випаровування в квазізамкненому об'ємі.

Автори: ст. викл. Знаменщиков Я.В.,
студ. Погуляй О.Р.,
доц. Колесник М.М.,
проф. Опанасюк А.С.

9. Резонатор поверхневої електромагнітної хвилі на надрозмірній діелектричній підкладці.

Автори: студ. Шарашидзе Д.Д.,
асист. Малишев В.Ю.,
проф. Прокопенко О.В.

10. Застосування узгоджених фільтрів.

Автори: студ. Яковлев Є.Т.,

доц. Кобяков О.М

11. Перетворення двійкових чисел в фібоначчієві.

Автори: проф. Борисенко О.А.,
студ. Васильєв В.Р.,
студ. Литвиненко А.М.

12. Оцінка меж стиснення на основі двійкових біноміальних чисел.

Автори: доц. Кулик І.А.,
асп. Шевченко М.С.,
студ. Северин Я.В.

13. Підвищення ефективності систем передачі даних на основі площинних кодів.

Автори: асп. Шевченко М.С.,
студ. Грахольська А.В.

14. Структура, субструктура та хімічний склад нанокристалів ZnO та плівки, нанесені на гнучкі підкладки.

Автори: студ. Єрмаков М.С.,
ст. викл. Доброжан О.А.

15. Генерування біноміальних чисел на основі властивості вкладеності.

Автори: доц. Кулик І.А.,
студ. Писаний О.В.

16. Завадостійкий біноміальний лічильник.

Автори: студ. Єрмаков М.С.,
студ. Писаний О.В.,
проф. Борисенко О.А.

17. Структурні, оптичні властивості та хімічний склад нанокристалів ZnO: Mg синтезованих поліольним процесом.

Автори: студ. Данильченко П.С.,
ст. викл. Доброжан О.А.

18. Оцінка завадостійкості рівноважного кодування числових даних в телекомунікаційних системах.

Автори: проф. Борисенко О.А.,
доц. Бережна О.В.,
студ. Сиромля В.П.,
студ. Безвершенко В.В.

19. «Третє око» для людей з вадами зору.

Автори: студ. Лізунов А.О.,
ст. викл. Д'яченко О.В.,
ст. викл. Протасова Т.О.

20. Створення прототипів сонячних елементів третього покоління з конструкцією $ZnO/n-CdS/p-Cu_2ZnSnS_4/Mo$.

Автори: асп. Гузенко О.І.,
доц. Пшеничний Р.М.,
студ. Єрмаков М.С.,
проф. Опанасюк А.С.

21. Газочутливий елемент детектора, створений методом друку з використанням наночорнил Ag та ZnO.

Автори: асп. Гузенко О.І.,
асп. Кахерський С.І.,
ст. викл. Доброжан О.А.,
проф. Опанасюк А.С.

22. A numerical simulation of CuO-based solar cells.

Authors: Senior Lecturer Ivashchenko M.M.,
Assist. Diachenko O.V.

23. Вплив складу сполуки CZTSSe на величину оптичних втрат у сонячних елементах на основі гетеропереходів n -ІТО(ZnO)/ n -CdS/ p -CZTSSe.

Автори: студ. Волобуєв В.В.,
асп. Кахерський С.І.,
ст. викл. Доброжан О.А.,
проф. Опанасюк А.С.

24. Синтез наночастинок сполук CZTS, CZTSe для створення чорнил для друку гнучкої електроніки.

Автори: студ. Шаповалов О.І.,
асп. Кахерський С.І.,
доц. Пшеничний Р.М.,
доц. Опанасюк Н.М.

25. Раманівська спектроскопія наночастинок CZTS, одержаних методом поліольного синтезу.

Автори: наук. співр. Гаврилук Є.О.,
асп. Кахерський С.І.,
ст. викл. Доброжан О.А.,
доц. Пшеничний Р.М.,
проф. Опанасюк А.С.

26. Про особливості побудови адаптивних систем передачі інформації.

Автори: доц. Бережна О.В.,
ген. директор Арбузов В.В.,
студ. Сальніков О.О.,
студ. Гриненко Д.В.

27. Морфологія поверхні та раманівські спектри плівок $Zn_xCd_{1-x}S$ для використання в приладах геліоенергетики.

Автори: мол. наук. співроб. Єрмоменко Ю.С.,

студ. Шкиря Ю.О.,
проф. Опанасюк А.С.

28. Ультратонкі сонячні елементи на основі плівок сульфїду олова.

Автори: асист. Возний А.А.,
доц. Хэгглунд К.,
проф. Опанасюк А.С.,
студ. Шкиря Ю.О.

29. Пристрій комутації сигналів системи відеоспостереження.

Автори: студ. Давидов Я.О.,
доц. Гриненко В.В.

СЕКЦІЯ № 6 «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

Голова секції – канд. техн. наук, доц. Лебединський І.Л.

Секретар секції – ст. викл. Дяговченко І.М.

Початок: 23 квітня 2020 р., 15⁰⁰

1. Method for determining the conductivity of layer pollution for example of a linear plate insulator type PSD-70E.

Authors: Ass. Prof. Lebedinsky I.,
PhD Stud. Borzenkov I.,
Prof. Shevchenko S.,
Senior Lecturer Danilchenko D.

2. Ідентифікація електрофізичних характеристик об'єктів із використанням «м'яких обчислень».

Автори: доц. Тичков В.В.,
асп. Сторчак А.В.,
проф. Гальченко В.Я.,

доц. Трембовецька Р.В.

3. Програмно-апаратний комплекс для вимірювання оптичних властивостей матеріалів.

Автори: доц. Кобяков В.А.,
студ. Гришко В.А.,
доц. Грицина В.Т.

4. Оптимізації процесу навчання майбутніх інженерів.

Автори: викл. Загородня Т.М.,
студ. Гребенік А.Є.

5. Аналіз статичної стійкості синхронних генераторів в пакеті Matlab.

Автори: доц. Волохін В.В.,
студ. Фісенко О.В.,
студ. Іванова В.О.

6. Protection of contemporary electric energy meters from a strong punch.

Authors: PhD Stud. Shulumei A.,
PhD Stud. Strokin O.,
Senior Lecturer Diahovchenko I.

7. Оптимальний склад альтернативних джерел енергії для мінімізації втрат потужності та максимізації прибутку за «зеленим тарифом» в розподільчих мережах електроенергії.

Автори: студ. Зальотов В.В.,
ст. викл. Дяговченко І.М.

8. Оптимізація розподілу навантаження між блоками розподіленої генерації.

Автори: студ. Горбуль А.В.,
ст. викл. Дяговченко І.М.

9. Особливості моделювання високовольтних мереж із використанням мови програмування Python.

Автори: доц. Василега П.О.,
студ. Косенко І.М.

10. Моделювання системи грозозахисту об'єктів електроенергетики.

Автори: студ. Ніконов М.С.,
студ. Крамський І.О.,
доц. Петровський М.В.

11. Моделювання роботи сонячної панелі в Matlab Simulink.

Автори: студ. Зимогляд Ю.В.,
студ. Захарко А.Ю.,
студ. Захарченко В.В.,
ст. викл. Лебедка С.М.

12. Створення моделей для дослідження схем релейного захисту.

Автори: студ. Крамський І.О.,
студ. Ніконов М.С.,
доц. Петровський М.В.

13. Фрактальна модель пробою діелектричного проміжку з різконеоднорідним полем.

Автори: студ. Мироненко А.С.,
доц. Петровський М.В.

СЕКЦІЯ 1

**«Фізика та методика викладання
фізики»**

Features of physical experiments in distance form of education

Bondarenko Yu., *Associate Professor*;

Bondarenko M., *Associate Professor*

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

A high competition at the market of educational services in Ukraine resulted in the necessity of creation distance education system in the Cherkasy state technological university. At the same time, the situation appears more difficult with controlled education of students from distance form to such objects as: physics, electrical engineering, electronics and other natural and technical disciplines that are closely constrained with the use of actual scientific and technical equipment during realization of physical experiments in the condition of real time.

Meaningful engineering education should not be limited only by reading literature, implementation of writing works, but also using electronic training manuals. Part of employments foremost related to the laboratory practical work must happen in specialized laboratories, which brings such studying to distance form of education, where, so-called, "installation sessions" are conducted for students. As for innovations in organization of educational process in the controlled from distance system, then they are assume the clearly planned work of students with local and network digital educational resources.

The perspective in this direction is to see usage of virtual laboratory for realization of the real physical experiments. Thus a modern virtual laboratory must include the complex of the real devices and methodologies for providing fully-fledged research .

Virtual physical laboratory developed at Cherkasy State Technological University behaves to the new generation of the hybrid systems of accumulation, analysis and representation of knowledge and unites procedural and declarative models of the intelligence systems.

Purposes of developed laboratory: to provide interactive communication between the existent knowledge-intensive equipment of laboratory and users remote from it; integration with the existent virtual laboratories of physical direction for creating general base of the accumulated knowledge and association (at virtual level) of real equipment.

Thus, the necessity of creating virtual physical laboratories is reviewed, the models of their development are determined and the expediency of using such laboratories in the learning process for conducting physical experiments in remote form of education is proved.

Про поєднанні методів викладання фізики іноземним студентам підготовчого факультету

Саган В.В., *старший викладач*

Національний фармацевтичний університет, м. Харків, Україна

Труднощі, що виникають при вивченні природничо-наукових дисциплін на підготовчих факультетах для іноземних громадян, мають ряд специфічних особливостей: студенти ще недостатньо добре володіють мовою; склад групи інтернаціональний; наявність або відсутність мови-посередника; викладання багатьох тем і розділів має деякі відмінності в програмах середніх навчальних закладів на батьківщині студентів і в українській програмі і т.д., що передбачає введення ряду особливостей викладання фізики.

Завданням вивчення дисципліни «Фізика» на підготовчому факультеті для іноземних громадян є: засвоєння слухачами підготовчого відділення основних фізичних понять і визначень, заповнення прогалів в знаннях студентів, оволодіння практичними навичками і прийомами вирішення завдань, а також вільне орієнтування в науковій усній мові.

Перші заняття з фізики вводяться, коли студенти ще не мають достатнього словникового запасу української мови, а вивчення граматичного матеріалу не закінчено, тому перші заняття повинні конструюватися за принципом доступності та засвоюваності, у відповідності з рівнем знань слухачами української мови.

Перед початком занять обов'язково проводиться вхідне тестування студентів. Вхідний контроль використовується для отримання інформації про рівень знань студентів, отриманих ними на батьківщині. Результати попереднього контролю використовуються для адаптації навчального процесу до особливостей даної групи студентів.

Вивчення матеріалу на початковому етапі має починатися з введення основних слів і виразів, які використовуються на даному занятті, і їх перекладу на рідну мову. На даному етапі доцільно використовувати такі методи навчання:

– пояснення, діалогове опитування і/або бесіда з опорою на словник або лексичний мінімум; робота з підручником (робочим зошитом) під керівництвом викладача; усні вправи для формування

свідомого засвоєння законів і основних визначень фізики; письмові вправи для закріплення отриманих на занятті знань; використання на заняттях ілюстрацій, схем і таблиць.

І контролю:

– усне опитування (фронтальний або індивідуальний); перевірка письмових домашніх завдань; проведення словникових диктантів, які служать не стільки формою контролю знань, скільки засобом повторення і закріплення пройденого матеріалу; тестування з використанням альтернативних тестів (можливість відповісти так чи ні) і відкритих текстів з короткою відповіддю (слово або група слів).

Подальше вивчення предмета повинно поступово наближатися до стандартного рівня викладання фізики у ВНЗ. При цьому теоретичний матеріал ускладнюється, вводяться нові слова. На даному етапі слід використовувати такі методи навчання:

– розповідь і співбесіди; самостійна робота з адаптованим текстом; створення схем, що ілюструють матеріал заняття.

І контролю:

– переказ заданого теоретичного матеріалу з опорою на схеми або конспект; письмові звіти з практичних робіт; залікове заняття по темі; атестація творчих завдань; тестування з використанням тестів закритого (з одним або декількома правильними відповідями) і відкритого типу (з короткою відповіддю).

До кінця навчання виклад теоретичного матеріалу має даватися тільки у вигляді лекцій. На практичних заняттях доцільно використовувати коментовані вправи, які дозволяють перевірити не тільки сформовані навички, а й рівень оволодіння студентом наукового стилю мовлення. Контроль на даному етапі передбачає наявність необхідного мінімуму знань для подальшого навчання, тому краще використовувати наступні види:

– тестування з використанням закритих тестів на конструювання відповіді і тестів відкритого типу з розгорнутими відповідями,

– створення навчального проекту, написання реферату або підготовка доповіді на студентську конференцію.

Використання різних методів допомагає викладачеві підвищити рівень знань, активізувати пізнавальну активність і урізноманітнити роботу зі студентами, як при вивченні нового матеріалу, так і при перевірці вивченого.

Дидактичні можливості масових онлайн-сервісів в організації тестування студентів з фізики

Борисенко А. М., студентка
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Основна відмінність онлайн-сервісу від звичайного полягає у тому, що користувач має доступ до цифрових ресурсів та програмного забезпечення віддаленого сервера. Таким чином, за наявності підключення до мережі Інтернет є можливість використання спеціальних програм, зокрема для перевірки знань студентів у тестовій формі.

Основною метою використання масових онлайн-сервісів у навчанні фізики, як і в освіті загалом, є забезпечення нової якості організації тестового контролю знань студентів порівняно з традиційними його формами та комп'ютерними тестами. Передусім вони спрощують застосування новітніх програмних засобів в організації навчального процесу, оскільки не вимагають залучення значних матеріальних ресурсів, що дозволяє використовувати їх в організації навчальної діяльності учнів з фізики більш широко, ніж локальні технології.

До специфічних переваг масових онлайн-сервісів можна віднести такі їхні можливості:

1) увійти в середовище онлайн-сервісу студент може навіть з власного гаджету як на занятті, так і вдома, після того, як уведе цифровий ключ, який отримав від викладача;

2) на виконання онлайн-тестів виділяється обмежений час, а питання тесту автоматично перемішуються, тобто в один і той самий час кожен студент має різні питання, що не дозволить скористатися відповідями інших;

3) тести, створені в середовищі онлайн-сервісу, мають функцію автоматичної перевірки та оцінювання навчальних результатів, що дозволяє контролювати засвоєння студентами матеріалу чи не на кожному занятті. Позитивно, що студент відразу отримує об'єктивну оцінку своїх знань.

У «діалозі» із сервісом студент одержує завдання, виконує його, результат вводить у цифровому вигляді, вибираючи одну із запропонованих відповідей. Якщо результат негативний, то програма надає роз'яснення щодо зробленої помилки.

Деякі сервіси надають можливість фіксувати тривалість роботи кожного студента над завданнями, що важливо, коли робота виконується самостійно вдома.

Тестування у цифровому вигляді зручно проводити під час тематичного та модульного контролю.

Перевагою масових онлайн-сервісів для проведення тестування з фізики, є можливість використання у завданнях графічного матеріалу. Це можуть бути формули, графіки, рисунки, фотографії, фрагменти анімації чи відеофрагменти – будь-які матеріали, які унаочнюють сутність запитання. Така можливість онлайн-сервісів дозволяє включати у тести різноманітні завдання, відповіддю на які є, наприклад, аналітичний вираз або графік, що встановлює істотно вищий рівень якості як самих тестових завдань з фізики, так і перевірки знань студентів в цілому.

Серед масових онлайн-сервісів, передбачених для організації тестового контролю лідером беззаперечно є Google Forms. Окрім традиційного опитувальника ресурс має функцію створення тестових завдань з автоматичною їх перевіркою. Досить велику популярність має й LearningApps – сервіс, призначений для розробки та зберігання інтерактивних завдань з різних предметних дисциплін для перевірки закріплення знань. Менш відомим є Quizalize – онлайн конструктор інтерактивних тестів. Останнім часом з'явилося багато простих сервісів, що не потребують тривалої підготовки і дають змогу вчителям збирати дані у реальному часі з учнівських смартфонів (Plickers, Kahoot).

Таким чином, використання масових онлайн-сервісів сприяє створенню умов для активної співпраці викладача та студентів, забезпечує мобільність суб'єктів навчального процесу. Візуалізація навчального матеріалу, доступність у будь-якому місці та в будь-який час, забезпечує розвиток навичок роботи з даними, а також сприяє формуванню як предметних, так і інформаційних компетентностей студентів.

Керівник: Пасько О.О., канд. пед. наук

Використання віртуальних лабораторій при вивченні фізики

Коваленко О.А., *інженер*; Шкурдода Ю.О., *доцент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Експериментальні роботи є важливою частиною процесу вивчення фізики, а відсутність сучасних та обладнаних лабораторій є однією з головних причин необхідності використання віртуальної лабораторії. Віртуальна лабораторія є змодельованою версією традиційних лабораторій. Вона надає студентам матеріали та лабораторні прилади для виконання роботи та можливість виконувати її в будь-якому місці у будь-який час. Використання віртуальних лабораторій може запропонувати студентам можливість досліджувати ситуації, які неможливо перевірити в режимі реального часу шляхом прискорення або уповільнення часу [1]. Також віртуальні лабораторії є корисними у вивченні сучасних концепцій, для яких експериментальна перевірка не може бути реалізована в традиційних лабораторних умовах.

Віртуальні лабораторії надають студентам можливість самостійного навчання, аналізу, синтезу та оцінки їх знань. У таких лабораторіях можна сміливо проводити небезпечні експерименти. Фізичні процеси у віртуальному середовищі описуються за допомогою тексту, формул, графіків. Показ анімації динамічної системи та прив'язка її до діаграми чи графіку може допомогти студентам розвинути навички використання різних представлень.

Незважаючи на всі переваги, у віртуальних лабораторіях є і певні недоліки, такі як відсутність практичного підходу до студентів. Таким чином, краще засвоєння студентами матеріалу, можна досягти за допомогою змішаного навчання. Тобто віртуальну фізичну лабораторію потрібно використовувати разом з традиційним методом, обираючи, яку з лабораторних робіт краще провести віртуально, а яку - традиційно. За допомогою віртуальної лабораторії можна посилити вміння учнів інтерпретувати графічну інформацію, але навчитися працювати з отриманими результатами краще традиційними методами. Отже, для досягнення найкращого засвоєння матеріалу, корисним буде поєднання віртуальних та традиційних лабораторій та використання їх переваг.

1. Aldrich C. *Learning by doing: A comprehensive guide to simulations, computer games, and pedagogy in e-Learning and other educational experiences* (San Francisco, CA: Wiley, Pfeiffer: 2005).

Методика вивчення фізики мікросвіту у курсі фізики закладів середньої освіти

Лебединська Ю. С., *вчитель фізики та математики*
Великобобрицька ЗОШ І-ІІІ ст. Верхньосироватської сільської ради,
с. Великий Бобрик, Сумська область, Україна

Дане дослідження присвячене методиці вивчення деяких питань фізики мікросвіту в курсі фізики ЗСО. Після психолого-педагогічного аналізу стану вивчення питань фізики мікросвіту у шкільному курсі, запропоновано можливі способи подолання виявлених методичних труднощів. Встановлено, що існує необхідність у проведенні узагальнюючих занять з досліджуваних питань, спрямованих на формування в учнів цілісних уявлень про Стандартну модель фізики елементарних частинок як завершену й доказову фізичну теорію. Запропоновано методику введення деяких основних понять з фізики мікросвіту та дібрано відповідні цифрові моделі з метою кращого засвоєння учнями навчального матеріалу. Так, термін «частинка» пропонується використовувати лише для опису елементарних частинок. Складні частинки можуть бути точно означені як системи частинок. Введення «ядерного простору» разом з стандартним вживанням дефініції «ядро» значно полегшує формування сучасних наукових уявлень про модель атома. Аналогічно, введення ключового терміну «орбітальний простір» виявилось дуже корисним для розуміння учнями моделі атома.

Щоб експериментально перевірити ефективність впровадження запропонованої методики вивчення деяких питань фізики мікросвіту, а також для оцінки результативності й педагогічної доцільності її використання, було заплановано та проведено педагогічний експеримент у Великобобрицькій ЗОШ І-ІІІ ст.

З метою виявлення стану розуміння школярами компонентів змісту курсу фізики, що стосуються питань фізики мікросвіту та систем їх істотних ознак нами було проведене письмове тестування учнів.

За результатами аналізу відповідей учнів було встановлено, що більшість школярів засвоюють навчальний матеріал формально та фрагментарно - на рівні окремих фактів та фрагментів визначень. Учні здебільшого можуть вказати 1-2 окремі істотні ознаки та не мають цілісних уявлень про одиниці навчального змісту.

На заключному етапі експерименту було перевірено педагогічну доцільність та результативність запропонованої методики вивчення питань фізики мікросвіту.

Структура даного етапу педагогічного експерименту передбачала проведення навчальних занять в експериментальному класі у відповідності до запропонованої методики навчання. Заключний зріз знань учнів по завершенні експерименту засвідчив наступне:

1) для питань, що стосуються вивчення елементарних частинок, спостерігається зростання кількості правильних відповідей в експериментальній групі на 4,6 %;

2) для питань, що стосуються вивчення будови та принципу роботи прискорювачів елементарних частинок було зафіксоване збільшення на 4,1%.

Наочно співвідношення між рівнями навчальних досягнень учнів експериментальної і контрольної груп по закінченні експерименту подано на діаграмі (Рис. 1)

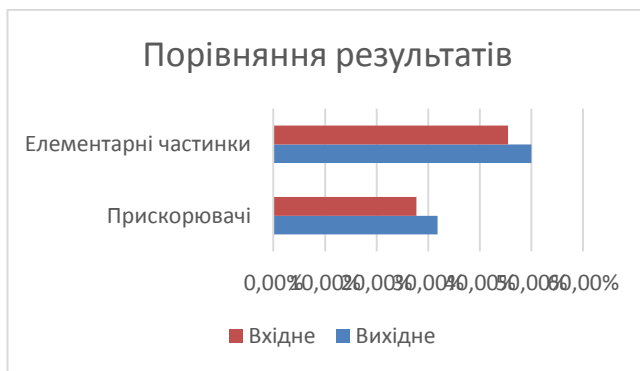


Рисунок 1 – Діаграма показників кількості правильних відповідей з фізики в учнів контрольних та експериментальних класів

Отже, у цілому, підвищення показників засвоєння дозволяє стверджувати, що вивчення деяких питань фізики мікросвіту за умови корегування навчального змісту окремих питань, доповнення демонстраційного експерименту новими дослідженнями та обґрунтованим доповненням навчання використанням відкритих даних з ресурсу OpenData засвідчує свою результативність.

Узагальнення теорії польової електронної емісії на релятивістський випадок

Лебединський С.О., науковий співробітник

Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми, Україна

Дослідження явища польової електронної емісії, як самостійного напрямку експериментальних та теоретичних досліджень, бере свій початок з 20-х років минулого століття, що пов'язано зі зростанням експериментальних можливостей отримання високих струмів та необхідністю створення теорії «холодної» емісії. Польова емісія має велике застосування і в даний час: польова електронна мікроскопія, польова електронна спектроскопія, польові джерела електронів та електронні гармати, холодні катоди, вакуумна наноелектроніка. Тому, виявлення нових властивостей польової емісії електронів є, безумовно, актуальним завданням теоретичної фізики, незважаючи на глибоке дослідження цього питання.

Зі зростанням експериментальних потужностей, з'явилась змога використовувати екстремально високі значення напруженостей електричного поля, внаслідок чого рух електрона може ставати релятивістським, але наявні теоретичні дослідження не враховують вплив релятивістських факторів на процес польової емісії електронів. Також польова емісія електронів у присутності надзвичайно сильного електричного поля відбувається і з полярної області замагнічених нейтронних зірок.

Разом з цим, польова емісія може бути негативним чинником у процесі прискорення, викликаючи вакуумний пробій всередині прискорювальної структури. Експерименти на макетних установках прискорювальних структур компактного лінійного електрон-позитронного прискорювача в проєкті CLIC (Compact Linear Collider) показали, що при введенні потужності високочастотного електромагнітного поля, яка забезпечує напруженість електричного поля на осі прискорювальної структури величину порядку 100 МВ/м, на поверхні прискорювальної структури виникають високочастотні високовакуумні пробіи.

У рамках співробітництва Інституту прикладної фізики Національної академії наук України та Європейської організації з ядерних досліджень було проведено теоретичні дослідження з метою підвищення стійкості високоградієнтних прискорювальних структур до вакуумних пробіїв.

Показано, що у випадку достатньо сильних електричних полів та відносно великих міжелектродних відстаней рух електрона в міжелектродному вакуумному проміжку може бути релятивістським, тому з'являється необхідність врахування релятивістської поправки до квантової теорії польової емісії. Виконано узагальнення на релятивістський випадок рівняння польової емісії електронів, яке справедливе як для лабораторних параметрів протікання польової емісії, так і для емісії з замагнічених нейтронних зірок.

Знайдено ефект релятивістського стиснення потенціального бар'єру на межі метал-вакуум. Під час зменшення ширини бар'єру збільшується коефіцієнт проходження, чим можна пояснити отримане збільшення коефіцієнта проходження у випадку присутності електричного поля.

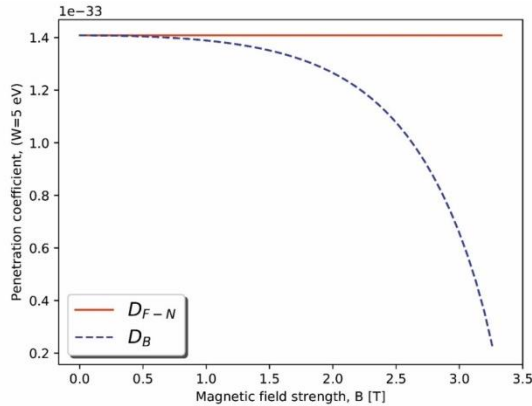


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта проходження потенціального бар'єру від величини магнітного поля. Суцільною лінією показано коефіцієнт прозорості D_{F-N} у відсутності магнітного поля, пунктирною (D_B) – у присутності магнітного поля, паралельного поверхні.

Отримано узагальнення теорії польової емісії на випадок присутності зовнішнього магнітного поля B , перпендикулярного електричному E , у випадку $E > cB$. Та надано рекомендації по запобіганню виникнення високовакуумного високоградієнтного пробою шляхом прикладення магнітного поля більшого за відсікаюче $B > B_{cutoff}$ (декілька тесла).

СЕКЦІЯ 2

«Наноматеріали: властивості та застосування»

Drift of suspended ferromagnetic nanoparticles under alternating gradient and constant uniform magnetic fields

Myronov E.M., *Student*; Lyutyty T.V., *Associate Professor*;
Denisov S.I., *Professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

The application of the gradient magnetic field is the standard way to manipulate the motion of suspended ferromagnetic nanoparticles. Recently, we have predicted that such particles subjected to the gradient and uniform magnetic fields exhibit four regimes of directed transport [1]. Here, we present evidence that directed transport of ferromagnetic nanoparticles can occur even if the gradient magnetic field changes periodically with time.

Our starting point is a set of balance equations describing the rotational and translational coupled dynamics of ferromagnetic particles considering as magnetic dipoles. It is assumed that these dipoles are under the action of both the uniform, $\mathbf{H}_\perp = H_\perp \mathbf{e}_y$, and gradient, $\mathbf{H}_g = gR_x \sin(\Omega t + \phi) \mathbf{e}_x$, magnetic fields, where $H_\perp > 0$ is the strength of \mathbf{H}_\perp , $g > 0$ is the gradient of \mathbf{H}_g , $R_x(t)$ is the x component of the dipole position, Ω and ϕ are the frequency and initial phase of \mathbf{H}_g , and $\mathbf{e}_{x,y}$ are the unit vectors along the corresponding coordinate axes. We assume also that the displacement $\Delta X_n = R_x(nT) - R_x((n-1)T)$ of the particle during the n -th time period $T = 2\pi/\Omega$ is small compared to the particle radius a . Then, introducing the representation $t = (n-1)T + t'$ with $n = 1, 2, \dots$ and $t' \in [0, T]$, it can be shown that the angle $\varphi_n = \varphi_n(t')$ of particle rotation satisfies the equation

$$\frac{d}{dt'} \varphi_n - \omega_\perp \cos \varphi_n + \omega_g r_{n-1x} \sin \varphi_n \sin(\Omega t' + \phi) = 0, \quad (1)$$

where $\omega_\perp = MH_\perp/6\eta$, M is the particle magnetization, η is the dynamic viscosity of liquid, $\omega_g = Mga/6\eta$, and $r_{n-1x} = R_x((n-1)T)/a$. Since in this approximation $\Delta X_n = (4\omega_g a/3) \int_0^T \cos \varphi_n(t') \sin(\Omega t' + \phi) dt'$ and $\varphi_n(0) = \varphi_n(T)$, from Eq. (1) it follows that

$$\Delta X_n = \frac{4\omega_\perp a}{3r_{n-1x}} \int_0^T \frac{\cos^2 \varphi_n(t')}{\sin \varphi_n(t')} dt'. \quad (2)$$

Thus, $\Delta X_n \neq 0$, i.e., directed transport of nanoparticles exists, if $H_\perp \neq 0$.

1. S.I. Denisov, T.V. Lyutyty, M.O. Pavlyuk, *arXiv*: 2003.08498.

Карбідні захисні покриття на основі високоентропійних стопів

Горячев М.Д., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Високоентропійні стопи є актуальною областю досліджень протягом багатьох років. Вони являють собою тверді розчини щонайменше п'яти елементів у приблизно еквімолярних композиціях. Кожен основний елемент повинен міститися у концентрації від 5 до 35% ат. Вважається, що стопи з високою ентропією стабілізуються за рахунок високої ентропії змішування, що сприяє твердій фазі розчину замість суміші інтерметалічних фаз. Ідея стабілізації твердих розчинів з багатьма елементами останнім часом була розширена до нітридів, боридів, оксидів, карбідів, а також покриттів на їх основі. Високоентропійні матеріали володіють комбінацією функціональних властивостей, таких як високотемпературна міцність, висока стійкість до окислення, хороші корозійні властивості, висока радіаційна стійкість і т.д.

У цій роботі досліджується формування багатокомпонентних карбідних покриттів на внутрішній поверхні труби малого діаметру для застосування їх як захисних покриттів широкого за призначенням спектру труб. Для нанесення покриття використовується магнетронне розпилення на постійному струмі в унікальній конфігурації на основі пустотілого катоду. Розпилювальна мішень складалася з таких елементів як Al, C, Cr, Hf, Mo, Ta, Ti, W. На внутрішній поверхні труби розташовувалися зйомні підкладки, покриття на яких досліджувалося на структуру, морфологію поверхні, розподіл елементного складу, мікротвердість.

Керівник: Космінська Ю.О., доцент

Transport of suspended ferromagnetic nanoparticles in the gradient and homogeneous magnetic fields

Moskalenko M.M., *Student*; Pavlyuk M.O., *Postgraduate Student*;
Lyutyty T.V., *Associate Professor*; Denisov S.I., *Professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Suspended ferromagnetic nanoparticles have interesting physical properties and many potential applications, including cell separation and drug delivery. In order to manipulate and control the particle motion in these and other applications, the gradient magnetic field is usually used. However, in spite of this fact, a complete analysis of directed transport of such nanoparticles subjected to the gradient and homogeneous magnetic fields has not been provided so far.

Here, we present analytical and numerical results on the transport properties of these objects. Considering them as magnetic dipoles and keeping in the balance torque and force equations only the driving and frictional torques and forces, the coupled rotational and translational dynamics of nanoparticles is described by the following set of equations:

$$\begin{aligned} d\varphi(t)/dt - \omega_{\perp} \cos \varphi(t) + \omega_g r_x(t) \sin \varphi(t) &= 0, \\ r_x(t) &= r_x(0) + (4/3)\omega_g \int_0^t \cos \varphi(t') dt'. \end{aligned} \quad (1)$$

Here, $\varphi(t)$ is the angle of particle rotation, ω_{\perp} and ω_g are the characteristic frequencies that correspond to the homogeneous magnetic field (directed along the y axis) and the gradient magnetic field (directed along the x axis), respectively, and $r_x(t)$ is the dimensionless x component of the particle position. Solving Eqs. 1 analytically and numerically, we have established that, depending on the initial particle position $r_x(0)$, there exist four regimes of directed transport of nanoparticles. The particle velocity in the first regime increases with time and then saturates, in the second regime decreases and then increases to the saturated value, in the third regime decreases to zero, and in the fourth regime decreases to zero, changes sign and saturates again. It has been shown that the external homogeneous magnetic field significantly changes the intervals of the initial particle positions, where these regimes occur. We have also proposed to use these properties for controllable separation of suspended nanoparticles.

Analysis of the formation of relaxation zones on a solid surface under the influence of laser radiation

Badalian A.Yu., *Assistant*; *Gres V.M.*, *Student*;
Yushchenko O.V., *Associate Professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Various methods of obtaining nanoscale structural objects on the surface of solids are of great interest for physic-chemical mechanics, materials science, and solid-state physics. Often, such structures are realized by laser irradiation of the material and are usually localized in the surface layer of solids. At the same time, they affect the different properties of the material. Such nano-coatings are widely used in electronics and electrical engineering, spectroscopy and optics, in the chemical industry, etc. for a variety of tasks. That is, in our time, the development of new approaches to the physical basis of structuring, which lead to the formation of nanoscale reliefs on the surface of superhard ceramic materials, diamond films, metals and alloys, polymers and biomaterials, becomes relevant.

In our work, we investigated the conditions when the formation of nanostructures on the surface of a solid under the influence of laser radiation is possible. At the same time, we took into account both external and internal parameters of the system. As a basis for considering the transition to the state of formation of relaxation zones (nanostructuring of the solid surface), we chose the residual deformation through the mesoscopic parameter or the relaxation process field. As a result, the system was represented by a self-consistent evolution of three quantities: the field of the relaxation process, the field of external stresses, and the concentration of relaxation zones. The proposed model took into account: attenuation of the relaxation process; the decay of the formed relaxation zones, and the relaxation of stress in a linear approximation when their mutual influence is absent. Considering the effects of self-organization, the generation of the relaxation field due to the origin of the relaxation zones by nonlinear relations of the basic parameters of the system was also taken into account. As a result, we obtained the stationary dependences of the stress field and the concentration of relaxation zones. Within the adiabatic approximation, the dependence of the effective potential of the system on the relaxation parameter was also obtained for different modes of relief formation.

**Феноменологічне дослідження процесу самозбирання
ДНК мономерів в полімерні ланцюги**

Грес В.М., студент; Ющенко О.В., доцент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Основна концепція нанотехнологій на основі ДНК почала привертати широкий інтерес в середині 2000-х років. Такі технології включають в себе розробку і виробництво штучних структур з нуклеїнових кислот, які служать не носіями генетичної інформації, а структурними елементами небіологічної наноінженерії. Будівництво нанорозмірних об'єктів відбувається шляхом спонтанного самозбирання молекулярних комплексів в стійкі структури із заданими фізичними і хімічними властивостями. При цьому за таким механізмом вже створені нанотрубки, багатогранники, кристалічні решітки та інші статичні структури.

Особливий випадок самозбирання відбувається, коли анізотропія взаємодій між мономерами сприяє утворенню лінійних ланцюгів. Відомо [1], що концентровані розчини коротких ДНК-мономерів перетворюються в нематичні рідкокристалічні фази через взаємодію основ мономерів, що і сприяє їх агрегації в полідисперсні ланцюги.

У даній роботі для розрахунку ізотропно-нематичних фаз розвинений феноменологічний підхід Ландау для вільної енергії квазіциліндричних мономерів, які об'єднуються в рівноважні ланцюги. При цьому для врахування числової щільності ланцюгів заданої довжини за основу була взята модель, запропонована в [1], яка ґрунтувалася на експериментах з агрегації коротких мономерів ДНК в нематичні фази з досить високими концентраціями. В результаті отриманий нами підхід має загальний характер і не обмежений конкретними формами мономерів, проте дозволяє описати перехід між ізотропною та нематичною фазами в якісному узгодженні з експериментом. Також розвинена в нашій роботі модель дозволяє знайти умови, коли нематична та ізотропна фаза можуть співіснувати в розчині мономерів.

1. C. De Michele, T. Bellini, F. Sciortino, *Macromolecules* **45**, 1090(2012).

Дослідження вуглецевих нанотрубок методом тунельної мікроскопії та спектроскопії

Дем'янчук Л.М., студентка; Кулик С.П., доцент
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
м. Київ, Україна

Розвиток існуючих і поява нових нанотехнологій ґрунтується на використанні нових фізичних явищ і властивостей нанорозмірних структур різного типу [1]. Серед таких наносистем унікальні властивості мають вуглецеві наноструктури, зокрема фулерени, графен, вуглецеві нанотрубки (ВНТ) тощо [1–3]. Завдяки своїм механічним та електронним властивостям ВНТ широко використовуються в оптиці, електроніці, медицині тощо [2, 3]. Одночасно з цим, дослідження ВНТ на поверхнях різних твердих тіл також залишаються вельми актуальними [2, 3].

У даній роботі за нормальних умов досліджено структурні та електронні властивості ВНТ, нанесених на поверхню товстої плівки заліза. Дослідження подібних систем є цікавими з точки зору створення магнітокерованих пристроїв з ВНТ, які можуть працювати в умовах атмосферного середовища.

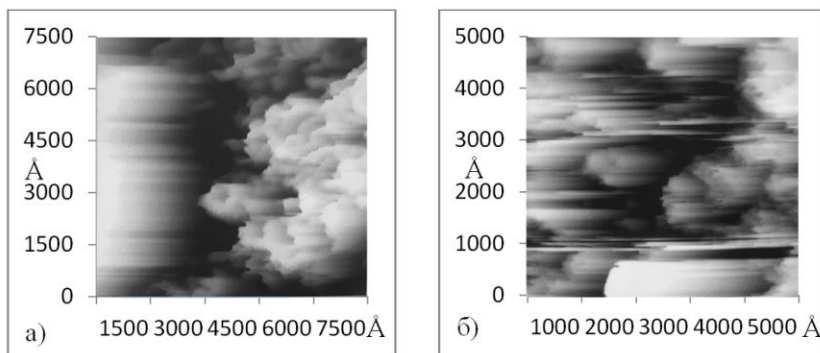


Рисунок 1 – Зображення поверхні залісної плівки з нанесеними ВНТ, отримані за допомогою повітряного СТМ, для першого (а) та другого (б) зразків.

Дослідження двох металевих зразків на яких вирощені вуглецеві нанотрубки проводились методом скануючої тунельної мікроскопії

(СТМ) в атмосферному середовищі. СТМ працював у режимі сталого струму. На рис. 1 показано СТМ-зображення двох досліджених зразків, отриманих за тунельної напруги 3 В.

З рис. 1 видно, що розміри нанооб'єктів на поверхні зразків, лежать в межах від десятків до декількох сотень нанометрів. На зображеннях можна побачити, що нанооб'єкти мають виражений напрямок росту. Крім того, на рис. 1 можна побачити, що на СТМ-зображеннях наявні шуми, викликані присутністю забруднень на поверхні зразка. Наявність вказаних забруднень різного хімічного складу помітно впливає на точність вимірювання вольт-амперних характеристик зразків.

Дослідження вольт-амперних характеристик зразків показало, що наноструктури на основі ВНТ, створені на металевій підкладці, мають напівпровідникові властивості. Зокрема, було встановлено, що для першого зразка (рис. 1а) ширина забороненої зони системи "плівка заліза – ВНТ" складала 1,1 еВ, а для другого зразка – 2,3 еВ. Отримані результати свідчать, що незважаючи на наявні значні складнощі проведення СТМ-досліджень зразків з ВНТ в атмосферному середовищі, подібні системи в перспективі можуть бути використані для створення магнітокерованих наносистем, працюючих без додаткового захисного шару, нанесеного на шар з ВНТ.

Робота виконана за підтримки Міністерства освіти і науки України (бюджетна тема 19БФ052–01).

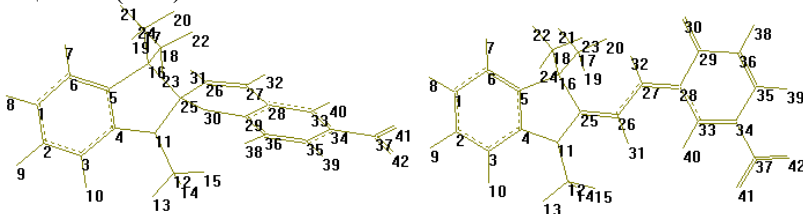
1. В. Bhushan (Ed.), *Springer Handbook of Nanotechnology* (Springer, 2017).
2. M.J. O'Connell (Ed.), *Carbon Nanotubes: Properties and Applications* (CRC Press, 2018).
3. I.A. Kinloch, J. Suhr et al., *Science* **362**, 547 (2018).

Релаксація електронного збудження в парі молекул спіропіран - мероціанін

²Коваленко О.А., асистент; ¹Кондратенко П.О., професор;
²Лопаткін Ю.М., професор

¹Національного авіаційний університет, м. Київ, Україна
²Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В роботі проведені квантовохімічні дослідження процесів релаксації електронного збудження в парі молекул спіропіран (Sp) - мероціанін (Mer):



В дослідженнях проведені дослідження енергетичної структури збуджених станів вказаних молекул та процесів релаксації електронного збудження молекул на шляху від молекули Sp до Mer і навпаки. Перетворення $Sp \leftrightarrow Mer$ відбувається за рахунок розриву і відновлення зв'язку C(25)-O(30).

В роботі показано, що при збільшенні відстані $R_{C_{Spiro-O}}$ до 2,375 Å відбувся фазовий перехід, спричинений повільною зміною гібридизації АО спіроатома C(25) і миттєвою зміною гібридизації АО атома N(11) (фазовий перехід I роду). В результаті суттєво змінилася структура молекули, а також величини всіх двограних кутів між атомами C(25) і C(28) (рис.1).

Показано, що S_1 - стан збудженої молекули Sp є дисоціативним з великим градієнтом енергії з відстанню $R_{C_{Spiro-O}}$. Крім того показано, що з потенціальною поверхнею S_1 -стану перетинається потенціальна поверхня T_2 - стану, що в умовах низької симетрії молекул забезпечує високу швидкість інтерконверсії.

Показано, що енергетична поверхня S_1 -стану для ТТТ і ТТС конфігурацій молекули Mer має мінімум, наявність якого забезпечує зменшення відстані $R_{C_{Spiro-O}}$ (рис. 2).

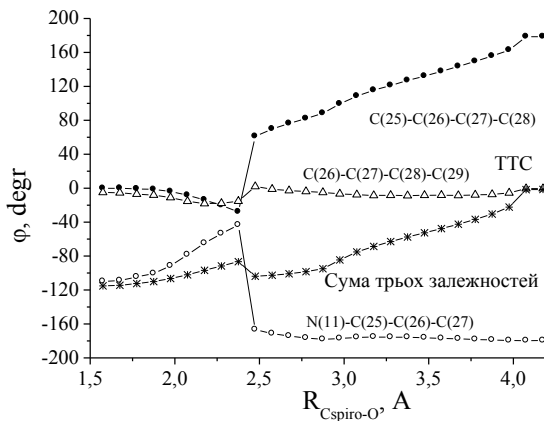


Рисунок 1 – Зміна величини двогранних кутів між атомами C(25) і C(28) при збільшенні відстані $R_{C_{spiro-O}}$

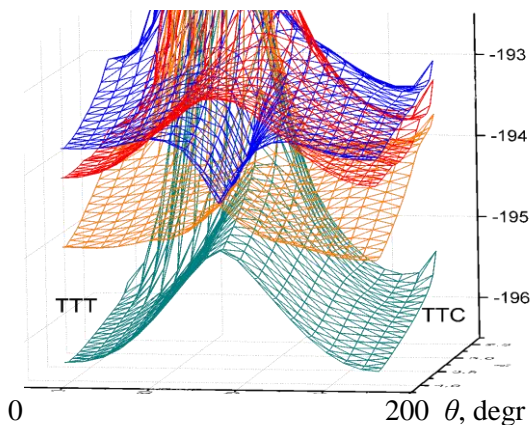


Рисунок 2 – Потенціальні поверхні молекули.

Остаточна причина фотоперетворення $Sp \rightarrow Me_g$ пов'язана з конверсією синглетного збудження молекули Sp в основний стан молекули Me_g . Причина фотоперетворення $Me_g \rightarrow Sp$ пов'язана з конверсією синглетного та триплетного збудження молекули Me_g в основний стан молекули Sp . Обидва процеси відбуваються в області фазового переходу.

Релаксація електронного збудження в молекулі азидомалахітового зеленого

¹Кондратенко П.О., професор; ²Лопаткін Ю.М., професор;

¹Сагун Т.М., доцент; ¹Марінченко Г.Є., доцент

¹Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

²Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Експериментальні дослідження процесів релаксації електронного збудження в молекулах азидомалахітового зеленого (АМЗ) показали незвичну залежність величини квантового виходу фотодисоціації N-N-зв'язку від довжини хвилі збудження (рис.1).

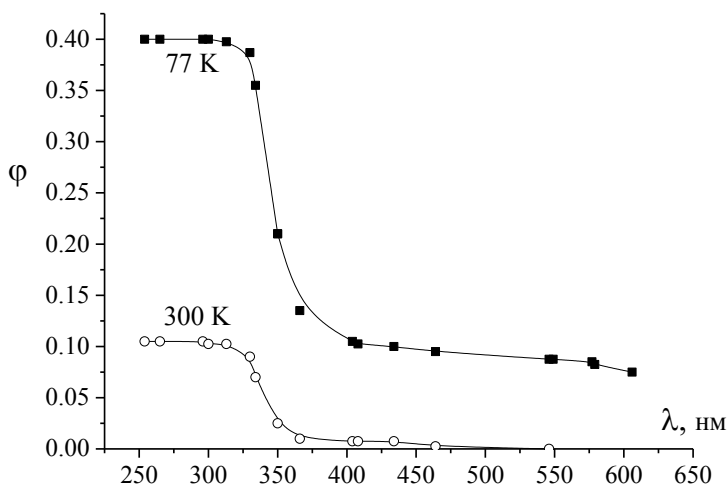


Рисунок 1 – Залежність величини квантового виходу ϕ фотодисоціації N-N-зв'язку від довжини хвилі збудження

Для вирішення проблеми були проведені квантово-хімічні розрахунки АМЗ (рис.2), які дозволили показати, що відповідні синглетний і триплетний стани молекули характеризуються дисоціативними енергетичними поверхнями.

Отже, існують два канали фотодисоціації молекули АМЗ. Показано, що процеси релаксації збудження молекули АМЗ, які відбуваються з залученням високочастотних коливань С-Н-зв'язків,

локалізованих на фенільних кільцях, протікають як квазірівноважні процеси, при яких час життя молекули в збуджених станах молекули помітно перевищує період коливань С-Н-зв'язків.

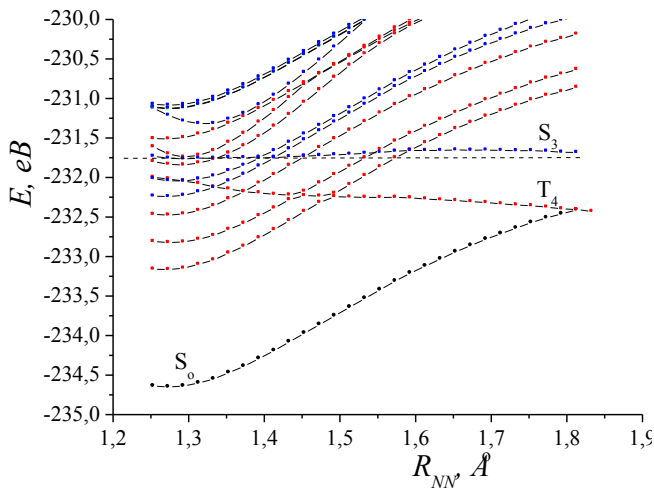


Рисунок 2 – Потенціальні поверхні AM3 при зміні довжини N-N-зв'язку

Цей факт забезпечує можливість протікання процесів дисоціації молекули з відповідних енергетичних станів [1-3]. З підвищенням температури від 77 К до 300 К суттєво підвищується роль високочастотних коливань С-Н-зв'язків в безвипромінювальних процесах, що приводить до значного зменшення квантового виходу фотодисоціації AM3 як з синглетного так і з триплетного дисоціативних станів.

1. П.О. Кондратенко, *Фотохімічна дія світла* (Київ: Видавничо-поліграфічний центр „Київський університет”: 2005).
2. П.О. Кондратенко, Ю.М. Лопаткін, Т.М. Сакун, *Фізика і хімія твердого тіла* **8**, №1, 100 (2007).
3. П.О. Кондратенко, Ю.М. Лопаткін, Т.М. Сакун, *Ж. нано-електрон. фіз.* **4**, № 2, 02017 (2012).

Вплив хімічного складу і температури електроліту на розмір та структуру нанокристалів сульфід кадмію, отриманих електролітичним методом

²Мороз М.В., докторант; ¹Нечипорук Б.Д., доцент;

¹Новоселецький М.Ю., доцент; ³Прохоренко М.В., доцент;

²Решетняк О.В., професор

¹Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне, Україна

²Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів,
Україна

³Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна

Нанокристали сульфід кадмію (CdS) отримано електролітичним методом в скляному електролізері з кадмієвими електродами [1]. В якості електроліту використано розчини $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, Na_2SO_3 та Na_2S в дистильованій воді. Концентрації розчинів розраховували так, що масова частка сірки в усіх випадках була однаковою. Встановлено, що температура електроліту впливає на хімічний склад синтезованих наночастинок. Сульфід кадмію, як однофазний продукт реакції, отримано з розчинів $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ та Na_2S при $T=371$ К. При використанні інших електролітів та температур окрім CdS отримуються додаткові фази. Розмір синтезованих наночастинок, їхню кристалічну структуру визначено за даними рентгенівського дифракційного аналізу з використанням формул Дебая-Шеррера і Вільямсона-Холла. Для аналізу експериментальних дифрактограм кожний рефлекс описували функцією Гауса для отримання інформації про кутове положення 2θ , півширину рефлексу β (ширина на половині висоти), інтегральну інтенсивність I . Досліджено спектри комбінаційного розсіювання світла нанокристалів сульфід кадмію, отриманих з розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Встановлено наявність смуг розсіювання з частотним положенням 302 см^{-1} , 603 см^{-1} і 900 см^{-1} , інтенсивність котрих монотонно зменшується. Відпал нанокристалів CdS при $T=773$ К спричиняє фазовий перехід сфалерит-вюрцит. Детально проаналізовано отримані експериментальні результати та опубліковані літературні дані.

1. N.V. Danilevska, M.V. Moroz, et al., *J. Nano- Electron. Phys.* **11**, 01015 (2019).

Методи аналізу мікротопології поверхонь функціональних покриттів

Могильних М.А., студент; Григор'єва А.С., студент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

При розробці нових покриттів або модернізації вже існуючих однією з головних проблематик є опис або аналіз їх морфології поверхні, що на пряму пов'язано з прогнозування фізико-механічних властивостей останніх

Розглянемо декілька методів опису поверхонь на покриттях серії TiAlSiY, отриманих за допомогою метода вакуумно-дугового осадження на холодному катоді (або CA-PVD). Для дослідження морфології покриттів було використано метод скануючої електронної мікроскопії. Отримано їх елементний склад та представлено у вигляді EDS-спектрів а також побудована тривимірна модель поверхні зразка, що представлено на рисунку 1.

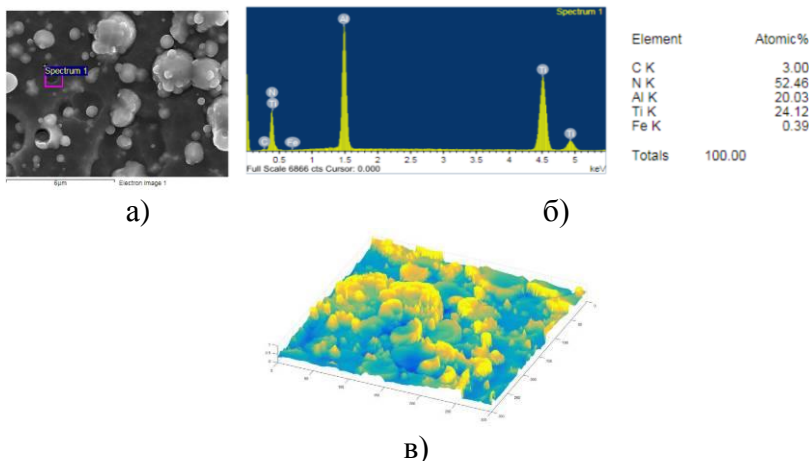


Рисунок 1 – Електронная мікрофотографія поверхні та EDS – спектри TiAlSiY покриття (а, б), тривимірні моделі поверхні зразка (в).

Керівник: Кравченко Я.О., аспірант

Люмінесценція тонких плівок на основі наноструктур оксиду цинку у вакуумі під дією пучка

Брандіс Й.Й., студент; Конопльов О.М., доцент; Кузьма В.В., науковий співробітник; Шуаїбов О.К., професор
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», м. Ужгород,
Україна

Останнім часом значно зріс інтерес до оксиду цинку в зв'язку з можливістю застосування цього матеріалу для детекторів газу, різного типу фото- і оптоелектронних пристроїв та ін. [1, 2]. Залишається актуальним розробка нових фізичних методів синтезу таких наноструктур та дослідження їх оптичних характеристик.

Дослідження люмінесценції кристалу NaCl та з напиленими на його поверхню наноструктури ZnO при енергії первинних електронів 600 еВ в діапазоні довжин хвиль 200-580 нм. Тиск залишкових газів не перевищував 10^{-9} Тор. Плівка з наноструктур ZnO осідала на підкладці, що була встановлена на віддалі 3 см від центру розрядного проміжку, за допомогою перенапруженого наносекундного розряду в повітрі атмосферного тиску [3].

В спектрах електрон-фотонної емісії NaCl виявлено неперервне випромінювання з поверхневого шару мішені з максимумом при $\lambda \sim 400$ нм (рекомбінаційне свічення, яке виникає внаслідок збудження електрон-діркових пар електронної підсистеми NaCl і наявністю дефектів типу F-центрів в об'ємі кристала) та характеристичне випромінювання збуджених розпорощених атомів Na. При опроміненні NaCl+ZnO зросла інтенсивність смуги випромінювання, причому максимум її змістився в область $\lambda \sim 380$ нм (пов'язано з рекомбінацією вільних екситонів) та почався ріст інтенсивності випромінювання з 520 нм (виникає при випромінювальних переходах через глибокі рівні). Також спостерігаються лінії випромінювання збуджених розпорощених атомів Zn.

1. Jayathilake, DSY, *SF J. Mater. Chem. Eng.* **1**, №1, 1004 (2018).
2. A. Kołodziejczak–Radzimska, *Materials* **7**, №4, 2833 (2014).
3. О.К. Шуаїбов, А.Й. Міня та ін., *Укр. фіз. журн.* **63**, № 9, 790 (2018).

Вплив умов одержання на фотопровідність тонких плівок $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$

Бордун Б.О., аспірант; Медвідь І.І., асистент
ЛНУ імені Івана Франка, м. Львів, Україна

Дослідження останніх років виявили низку цікавих властивостей плівок $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$, одержаних різними методами. Залежно від методу одержання і легуючої домішки, такі плівки використовуються як фотолюмінофори, катодолюмінофори і електролюмінофори.

В роботі досліджувалися тонкі плівки $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ одержані методом ВЧ іонно-плазмового розпилення, який є оптимальним для одержання однорідних напівпровідникових і діелектричних плівок. Після нанесення плівок здійснювалась їх термообробка в кисні або в аргоні при 1000–1100°C, а також у водні при 600–650°C. Проведені дослідження показують, що на спектрах фотопровідності відпалених плівок $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ незалежно від складу атмосфери термообробки, у спектральній області 220–270 нм спостерігаються по дві смуги фотопровідності, які перекриваються між собою. Порівняння спектрів фотопровідності, збудження люмінесценції і ширини забороненої зони показує, що фотопровідність у тонких плівках $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ зумовлена зона-зонними переходами з утворенням вільних носіїв заряду в зоні провідності. Це так звана власна оптична генерація і, відповідно, власна фотопровідність. Відповідно до розрахунків електронної структури $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ [1] такі електронні переходи здійснюються із $2p$ -станів O, які формують верхній заповнений рівень валентної зони, у дно зони провідності, утворене гібридизованими $2p$ -станами O і $4s$ -станами Ga. Загальна енергія, потрібна для такого електронного переходу на віддалі r_0 , згідно з [2], визначалась із співвідношення

$$h\nu = \varepsilon_+ + \varepsilon_- - e^2/r_0 + \chi(\text{O}^{2-}) - I(\text{Ga}^{2+}) - \psi_{\text{pol}}, \quad (1)$$

де ε_+ і ε_- – величини електростатичних енергій галієвої і кисневої підгратки відповідно, χ – киснева електронна спорідненість, I – потенціал іонізації іона Ga^{2+} і ψ_{pol} – енергія поляризації диполя, утвореного переносом заряду.

1. M. Michling, D. Schmeißer, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **34**, 012002 (2012).
2. H.H. Tippins, *Phys. Rev.* **140**, A316 (1965).

Застосування позитронно-анігіляційної спектроскопії для дослідження матеріалів

Левченко Я.М., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На даний час до захисних матеріалів висувають підвищені вимоги, що до надійності та довговічності. Будь то корпус реакторів, космічних апаратів, або пластини сонячних батарей, всі вони знаходяться в «екстремальних умовах» тобто в умовах радіаційного випромінювання, при підвищеній температурі та навантаженні. Створюючи ці матеріали, ми повинні бути впевнені, що вони максимально довго відпрацюють свій термін служби без руйнування. Тому для цього необхідно проводити лабораторні випробування по дослідженню зміни структури та властивостей матеріалів, під дією опромінення і при підвищених, або понижених температурах. Надійним методом контролю матеріалів може стати позитронно-анігіляційна спектроскопія (ПАС).

Суть (ПАС) полягає в імплантації в досліджуваній зразок позитронів і подальшої реєстрації характеристик їх анігіляційного гамма-випромінювання. (середнього часу життя позитронів, доплерівське розширення анігіляційної лінії та ін.). (ПАС) є методом вивчення структури матеріалів, що використовує позитрон в якості зонда наступних властивостей навколишнього середовища: електронна структура речовини (топология поверхні Фермі); створення нанокластерів під дією опромінення; розподіл вільного об'єму (пористість); фізико-хімічні процеси радіолізу середовища. Однак найбільше цей метод використовується для дослідження механізмів та динаміки виникнення, перетворення та анігіляції дефектів у напівпровідникових матеріалів на різних стадіях технологічного процесу їх отримання. У металах позитронна анігіляція використовується для дослідження наступних характеристик: розподіл електронів за імпульсами, кількість вільних електронів, який приходить на 1 атом, та їх концентрацію в зоні провідності. Ці характеристики, як відомо, визначають механічні, електричні і магнітні властивості металів.

Об'єктами дослідження можуть бути: конструкційні матеріали (метали, сплави); напівпровідникові та діелектричні матеріали

(кремній, різні полімери); рідкі середовища (водні розчини, з метою вивчення радіолітичного процесу).

Висновок: таким чином, (ПАС) є перспективним методом контролю структури матеріалів, що застосовуються в різних галузях науки і техніки. Подальше дослідження в області (ПАС) і використання його в зв'язці з іншими методами, дозволить з високою точністю прогнозувати поведінку матеріалів, які знаходяться в «екстремальних умовах», що в майбутньому допоможе в розробці нових матеріалів.

Керівник: Багдасарян А.А., *старший викладач*

1. V.I. Grafutin, E.P. Prokopev, *Phys.-Usp.* **45**, 59 (2002).
2. P. Hautojarvi *Positrons in Solids* (Berlin: Springer-Verlag, 1979).

Радіоіндукована сегрегація у однофазних багатокомпонентних твердорозчинних сплавах

Асєєв Д. С., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Останнім часом велику увагу привернув новий клас матеріалів, який називається однофазними багатокомпонентними твердорозчинними сплавами, включаючи високоентропійні сплави (ВЕС). На відміну від традиційних сплавів, такі сплави містять два або більше основних елементів в рівних або майже рівних молярних відносинах. Ці елементи утворюють тверді розчини з ГЦК або ОЦК кристалічними структурами, які надають матеріалам виняткові властивості, такі як високий поріг протікання, висока термостійкість і твердість, жароміцність, зносостійкість, а також відмінна корозійна стійкість.

Примітно, що подібні сплави також демонструють чудову радіаційну стійкість, як показали теоретичні і експериментальні дослідження. Завдяки цим властивостям такі сплави розглядаються як потенційні кандидати для застосування в реакторах ділення та синтезу. Високе спотворення решітки та складність хімічного зв'язку можуть змінити процес розсіювання енергії і сприяти відновленню радіаційного пошкодження на самих ранніх стадіях опромінення. Так, наприклад, Zhang і співавт. виявили, що хімічний безлад в бінарному сплаві NiFe ефективно зменшував довжину вільного пробігу електронів, електричну і теплопровідність, що значно уповільнювало розвиток дефектів при іонному опроміненні при кімнатній температурі. А в роботі Lu і співавт. показали, що при кімнатній температурі дефектні кластери мігрували повільніше, ніж в нікелі без домішок і NiCo. Використовуючи поперечну просвічувану електронну мікроскопію (ПЕМ), Kumar і співавт. виявили, що неоднорозчинний твердорозчинний FeNiMnCr (27% Fe - 28% Ni - 27% Mn - 18% Cr) сплав виявляв хорошу мікроструктурну стабільність і механічну поведінку при високотемпературному (від кімнатної до 700 °C) опроміненні іонами Ni з енергією 3-5,8 MeV.

На сьогоднішній день існує близько 30000 робіт по вивченню матеріалів, які є радіаційно стійкими. Незважаючи на постійне зростання наукових публікацій, присвячених дослідженню радіаційної

стійкості багатокomпонентних матеріалів, необхідні подальші дослідження для вивчення розвитку дислокаційних петель і локальної хімічної сегрегації, особливо залежно від хімічного складу сплавів. Зростання кількості складових елементів призводить до сповільнення зростання дислокаційної петлі. Практично, у всіх досліджених сплавах спостерігалися як завершені так і розірвані міжвузельні дислокаційні петлі. При чому частка розірваних петель збільшувалася зі збільшенням складності хімічного складу.

Керівник: Багдасарян А.А., старший викладач

1. Chenyang Lu, Taini Yang, Ke Jin, et al., *Acta Mater.* **127**, 98 (2017).
2. Matheus A. Tunes, Hoang Le, Graeme Greaves, et al., *Intermetallics* **110**, 106461 (2019).
3. N.A.P. Kiran Kumar, C. Li, K.J. Leonard, H. Bei, S.J. Zinkle, *Acta Mater.* **113**, 230 (2016).

СЕКЦІЯ 3

**«Матеріалознавство мікро- та
наноелектроніки»**

Структура композитних матеріалів типу ферромагнетик/діелектрик

Щоткін В.В., *аспірант*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Для формування композитних матеріалів типу ферромагнетик/діелектрик, як правило, використовуються різні методи, що дозволяють реалізувати одночасне осадження на підкладку металевій та діелектричній компоненти (магнетронне, іонно-променево, резистивне тощо), а також такі методи як зол-гель та іонна імплантація.

При формуванні композитних матеріалів типу ферромагнетик-діелектрик на основі Co та SiO у даній роботі був обраний метод одночасної електронно-променевої конденсації з двох незалежних джерел у вакуумі приладу ВУП-5М (тиск газів залишкової атмосфери $p \sim 10^{-4}$ Па). Швидкість конденсації для Co та SiO змінювалася у межах від 0.5 до 1 нм/с. Загальна товщина зразків контролювалася методом кварцового резонатора та становила 50 нм. Була отримана серія зразків з концентрацією $c_{Co} = 40-90$ ат.%. Хімічний склад і співвідношення концентрацій елементів контролювалися методом енергодисперсійного аналізу (прилад Tescan VEGA3). Точність визначення концентрації компонент становила $\pm 1\%$. Дослідження кристалічної структури зразків проводилося методом електронної мікроскопії (прилад ПЕМ-125К). Було показано, що структура отриманих зразків складається із наногранул Co, між якими формуються канали з SiO. Середній розмір зерен магнітної компоненти, які розподілені у матриці діелектричного матеріалу, становить близько 6 нм. Причина сегрегації SiO на поверхні гранул Co згідно з [1] полягає у зменшенні енергії системи внаслідок того, що поверхнева енергія SiO менша, ніж Co.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0119U100777.

Керівник: Пазуха І.М., *доцент*

1. Guojian Li, Jianhao Wang et al., *J. Magn. Magn. Mater.* **441**, 448 (2017).

Електропровідність шаруватих структур на основі Fe та SiO

Петренко Р.М., *аспірант*; Доценко В.С., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Електрична провідність тонких металевих плівок буде визначатися не лише композиційним складом, а й характером кристалічної структури. При цьому у випадку острівцевих або гранульованих плівок проявляються електрофізичні властивості, що значно відрізняються не тільки від властивостей масивних металевих матеріалів, але й від суцільних тонкопліткових. Характерна для них величина питомого опору (ρ) може бути на декілька порядків більша за питомий опір тонких суцільних плівок, а термічний коефіцієнт опору (β) може мати як додатне, так і від'ємне значення.

У даній роботі проведені дослідження електропровідності шаруватих структур $[\text{Fe}/\text{SiO}]_5/\text{П}$ з ефективними товщинами $d_{\text{Fe}} = 5\text{-}10$ нм та $d_{\text{SiO}} = 1\text{-}2$ нм. Показано, що для всіх свіжосконденсованих зразків реалізується металевий характер провідності в інтервалі температур 290-500 К. Це свідчить про те, що шари феромагнітного металу Fe електрично суцільні для всього досліджуваного діапазону ефективних товщин. У той же час діелектричні прошарки можуть бути структурно не суцільними внаслідок їх малої ефективної товщини. Таким чином формується кластерна структура з металевих острівців, що дотикаються один до одного, що й призводить до значного зростання ефективності процесів електроперенесення, а залежності $\rho(T)$ мають типовий для металів характер.

Залежності ρ від d_{Fe} носять монотонний характер і питомий опір лише зменшується при збільшенні ефективної товщини металічних шарів Fe. Причиною цього є прояв розмірних ефектів у пліткових матеріалах. Основними факторами, які зумовлюють розмірні залежності ρ та β , є внесок додаткового розсіяння носіїв заряду на зовнішніх поверхнях плівки та міжзеренних межах.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0119U100777.

Керівники: Пазуха І.М., *доцент*; Шкурдода Ю.О., *доцент*

Магніторезистивні властивості шаруватих структур [Fe/SiO]₅

Петренко Р.М., *аспірант*; Пінчук А.С., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Шаруваті плівкові структури [Fe/SiO]₅/П були отримані методом пошарової конденсації у вакуумі за кімнатної температури. Ефективна товщина магнітних та діелектричних шарів становила: $d_{\text{Fe}} = 5\text{-}10$ нм та $d_{\text{SiO}} = 1\text{-}2$ нм. Отримані системи проходили температурну обробку при 400 та 500 К. Експериментальне дослідження магніторезистивних властивостей було проведено для зразків до та після відпалення у поздовжній та поперечній геометріях вимірювання у зовнішньому магнітному полі з індукцією $B = \pm 0,6$ Тл.

Аналіз отриманих результатів показав, що магнітоопір (МО) для зразків до та після термообробки має анізотропний характер. Амплітуда магніторезистивного поздовжнього і поперечного ефекту незначна (0,05%). Причиною цього є те, що феромагнітні метали у плівковому стані при формуванні їх за кімнатної температури та достатньо великих швидкостях осадження хоча і залишаються магнітними, однак їх намагніченість суттєво менша за намагніченість масивних металевих зразків. Зменшення намагніченості й спричиняє падіння амплітуди АМО ефекту. Зазначимо, що шари Fe при $d_{\text{Fe}} = 5\text{-}10$ нм осаджені на поверхню аморфної ситалової підкладки, як правило, є структурно несучільними. У даному випадку можна створити умови, за яких вплив анізотропії МО буде не суттєвий, домінуючим же ефектом буде ізотропний МО, зумовлений спін-залежним тунелюванням електронів між феромагнітними острівцями. При зазначених d_{Fe} може бути реалізована суперпозиція спін-орбітального розсіювання та спін-залежного тунелювання електронів [1]. У нашому випадку, внаслідок досить малої ефективної товщини діелектричного прошарку ($d_{\text{SiO}} = 1\text{-}2$ нм), вже у процесі конденсації відбувається утворення кластерної структури із металічних острівців, які дотикаються один до одного. Як наслідок, домінуючим є вплив анізотропного МО. Після термообробки до 400 та 500 К характер магнітоопору і його величина залишаються не змінними.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0119U100777.

Керівники: Пазуха І.М., *доцент*; Шкурдода Ю.О., *доцент*

1. О.І. Товстолигін, М. О. Боровий, В.В. Курилюк та ін. *Фізичні основи спітроніки* (Вінниця: Нілан-ЛТД, 2014).

Вивчення властивостей квазірозмірних магнітних систем зі спіном 1

Данильченко П.С.^{1,2}, студент; Ткач О.П.¹, доцент;

¹ Сумський державний університет, м. Суми, Україна

² Університет П.Й. Шафарика, м. Кошице, Словаччина

Фрустровані магнітні сполуки базуються на координаційному компоненті, та блоку лігандів, головною метою яких є формування просторових розшарувань. Вивчення магнітних властивостей таких систем, зі спіном 1, приваблює велику кількість наукових спільнот протягом довгого часу, внаслідок поєднання ефектів квантових флуктуацій та геометричних розшарувань. Один з прикладів фрустрованої молекулярної системи зі спіном 1, може бути система з координаційним компонентом якої є Ni (II).

Для розширення знань щодо поведінки фрустрованих магнітів, що базуються на іоні Ni (II), були експериментально синтезовані та досліджені дві сполуки Ni[(C₄H₂O₄)(C₁₂H₈O₂)] (нікель (II) фумарато, 1,10 – фенантролін) та [Ni(C₄H₃O₄)₂(H₂O)₄] (нікель (II) тетрааквабіс (водень малеато)). Кристали вирощували з розчину сполуки у воді повільним випаровуванням.

Згідно з вимірними даними теплоємності, магнітної сприйнятливості, а також з теоретичними розрахунками можна визначити систему Ni[(C₄H₂O₄)(C₁₂H₈O₂)] в якій потенційно реалізується феромагнітний димер з параметрами $D/k_B = -11,5$ К, $E/k_B = -3,4$ К та обмінною взаємодією $J/k_B = 2,5$ К. У відповідності з отриманими моделями можна стверджувати, що в сполуках Ni[(C₄H₂O₄)(C₁₂H₈O₂)] та [Ni(C₄H₃O₄)₂(H₂O)₄] відіграє домінуючий вплив кристалічного поля та слабкий вплив обмінної взаємодії, і для останньої ще додатково вплив спін-орбітального зв'язку. Для даних парамагнітних солей можна спостерігати закруглений максимум питомої теплоємності при 2–7 К та монотонне збільшення при вищих температурах 10–40 К. Низькотемпературна область магнітної теплоємності Ni(C₄H₂O₄)(C₁₂H₈O₂) вказує на наявність фазового переходу в упорядкований стан десь нижче 0,4 К. Теоретичний аналіз магнітокалоричного ефекту показав, що наявність феромагнітного зв'язку підвищує його значення і становить 5,8 К ($\Delta S_{max} = -8,2$ Дж/кг⁻¹К¹ при $\Delta B = 7$ Т).

Вплив магнітної підсистеми на транспорт тепла в магнітних ізоляторахФролов А.І.^{1,2}, студент¹Сумський державний університет, м. Суми, Україна²Університет П.Й. Шафарика, м. Кошице, Словаччина

Димолібдати рідкоземельних елементів широко використовуються в лазерній техніці та квантовій електроніці. В роботі були проведені дослідження шаруватого кристалу зі структурою типу $\text{KAl}(\text{MoO}_4)_2 - \text{CsGd}(\text{MoO}_4)_2$ з геометричною формою максимально наближеною до склоподібного правильного прямокутного паралелепіеду. Модель Дебая для теплоємності твердого тіла досить чітко описує поведінку транспорту тепла в кристалічних системах. Вона пояснює вплив таких систем як фонон-фононне розсіювання, магнітної підсистеми та кристалічного поля на теплоємність і теплопровідність. Беручи до уваги всі вище перераховані фактори, можна створити універсальну формулу моделі теплоємності для певного зразка. Дана модель представлена в рівнянні (1) [1]

$$C = \frac{k_B}{2\pi^2 v} \left(\frac{k_B}{\hbar}\right)^3 T^3 \int_0^{\Theta_D/T} \frac{x^4 e^x \tau(\omega, T)}{(e^x - 1)^2} dx \quad (1)$$

де k_B та \hbar – сталі Больцмана та Планка відповідно, v – швидкість звуку в зразку, Θ_D – температура Дебая, $\tau(\omega, T)$ – функція, що залежить від температури T та частоти фононів ω і включає фонон-фононове розсіювання, а $x = \frac{\hbar\omega}{k_B T}$.

В процесі експериментальних досліджень були проведені вимірювання теплоємності та теплопровідності зразка $\text{CsGd}(\text{MoO}_4)_2$. Всі вимірювання проводилися в діапазоні температур 2 – 300°K. На отриманих залежностях чітко спостерігався екстремум близько $T = 10$ °K. Дана величина відповідає найвищому значенню енергії фононів $\hbar\omega \sim 3,8 k_B T$, отримано згідно виразу (1).

Аналіз теплопровідності зразку $\text{CsGd}(\text{MoO}_4)_2$ показав, що домінуючими носіями тепла є фонони, які розсіюються критичними флуктуаціями магнітної підсистеми.

Керівник: Ткач. О.П., доцент

1. V. Tkáč, R. Tarasenko, A. Orendáčová, M. Orendáč, V. Sechovský, A. Feher, *Physica B* **536**, 401 (2018).

Застосування тонкоплівкових структур на основі FeNi, Co та Cu як елементів сенсорної електроніки

Косенко О.С., магістрант; Логвинов А.М., молодший науковий співробітник; Шабельник Ю.М., старший викладач
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Все більшого і більшого використання в сучасному приладобудуванні набувають датчики, чутливі елементи яких виготовляються із тонкоплівкових структур. Такі датчики використовуються у автомобілебудуванні, при виробництві електронних компасів, комп'ютерів та периферійних пристроїв [1]. Найбільш розповсюдженими датчиками на основі таких матеріалів є сенсори магнітного поля, наприклад, датчики Холла чи Віганда. Головною особливістю магнітних датчиків є швидкодія та можливість виявлення та вимірювання безконтактним способом. Як матеріали для таких датчиків широко використовуються магнітні та благородні матеріали та їх комбінації у вигляді мультишарів, твердих розчинів чи гранульованих сплавів, наприклад, FeNi, Co та Cu або Ag [2]. В даній роботі представлені дані стосовно закономірностей впливу умов термообробки на магніторезистивні властивості тонкоплівкових структур на основі FeNi, Co та Cu.

Під час виконання роботи використовувалися методи резистометрії в умовах високого безмасляного вакууму та впливу зовнішніх магнітних полів та прилади: ВУП-5М, установка для проведення термообробки та дослідження магніторезистивних властивостей.

У результаті проведених досліджень встановлено, що для свіжосконденсованих та термостабілізованих за температури 400 К тришарових функціональних елементів датчиків магнітного поля Fe_{0,6}Ni_{0,4}/Cu/ Fe_{0,6}Ni_{0,4} фіксуються ізотропні польові залежності. Величина від'ємного магнітоопору складає 0,1-0,3 %. Після термостабілізації за температури 550 К спостерігається анізотропний характер магнітоопору. Величина поздовжнього магнітоопору складає 0,5 % – поперечного 0,05 %. Після термостабілізації за температури 700 К величина поздовжнього і поперечного магнітоопору складає 0,3-0,4 %.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0117U003925.

1. L. Bruno Chandrasekar, K. Gnanasekar, M. Karunakaran, *Superlattice. Microst.* **136**, 106322 (2019).
2. Yu.O. Shkurdoda, L.V. Dekhtyaruk, A.G. Basov, et al., *Eur. Phys. J. B* **91**(12), ID 300 (2018).

On the possible cause of abnormally small GMR in granular film alloys

Shumakova M.O., *Postgraduate Student*; Rylova A.K., *Student*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Experimental studies of magnetoresistance in granular film alloys (see, for example, the author's reviews [1, 2]) indicate that magnetoresistance (MR) in nanodimension films (up to 70 nm thickness) with all signs of giant or anisotropic magnetoresistance (GMR and AMR respectively). The literature data analysis, as well as the results of our own studies, allow you to conclude that very often in granular films based on non-magnetic (Ag, Au) and ferromagnetic (α -Fe, Co, Ni) metals the GMR effect with an abnormally small amplitude (from 0,01 to (0,5-0,7)%) is realized.

The purpose of this work was to determine the possible physical cause of such a GMR small amount. For this purpose, we have used elements of classical theory [3] for the so-called magnetic resistivity (ρ_m), which is realized by scattering of spin-polarized electrons at magnetic moments (spin) of granules (S):

$$\rho_m(T, B) = a \left[S - \left(S + \frac{1}{2} \right) \coth \frac{(2S+1)g\mu_B B}{2kT} + \frac{1}{2} \coth \frac{g\mu_B B}{2kT} \right], \quad (1)$$

where B – magnetic field induction; a – a normalization factor; $g \cong -2$ – gyromagnetic ratio; μ_B – Bohr magneton.

Authors [3] ρ_m was calculated as $\rho_m = \rho_{\text{exp}} - \rho_c$, where ρ_{exp} – experimental value of resistivity for granular film, ρ_c – calculated according to the Debye ratio:

$$\rho_c(T) = a_1 \cdot \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^3 \int_0^{\frac{\Theta_D}{T}} \frac{x^2 dx}{e^x - 1},$$

where Θ_D – Debye temperature; a_1 – a normalization factor.

It should be noted that the Debye theory was constructed for massive samples of pure metals, so its application by the authors [3] was not entirely correct.

Because the normalization factor a in (1) it is not always possible to calculate, and the resistivity is measured with a large margin of error, then we have made the transition from ρ_m to magnetic coefficient $MC\rho_m$, which is designated as β_{mB} :

$$\beta_{mB} = \frac{d \ln \rho_m}{dB} = \frac{-0,5(2S+1) \frac{1}{\sinh^2[(2S+1)x]} \frac{(2S+1)x}{B} + \frac{0,5}{\sinh^2 x} \cdot \left(\frac{x}{B}\right)}{S - 0,5(2S+1)\coth(2S+1)x + 0,5\coth x}, \quad (2)$$

where x is a value $\frac{g\mu_B B}{2kT}$.

If you calculate β_{mB} at the $T=300K$, $B=1T$ and keep in mind that when $x \ll 1$ $\coth[(2S+1)x] \cong \frac{1}{(2S+1)x}$; $\coth x \cong \frac{1}{x}$;

$\sinh^2[(2S+1)x] \cong [(S+1)x]^2$ and $\sinh^2 x \cong \frac{x^2}{4}$, then ratio (2)

simplified to the following:

$$\beta_{mB} \cong \frac{-0,5 \cdot \frac{(2S+1)}{(S+1)} \cdot \frac{B}{x} + \frac{2B}{x}}{S - 0,5(2S+1) \cdot \frac{B}{x} + \frac{4B}{x}}. \quad (2')$$

The calculations were made β_{mB} depending on S gave the following results: $\beta_{mB} = -27 \cdot 10^{-2} T^{-1}$ ($S=5$); $-11,5 \cdot 10^{-2} T^{-1}$ ($S=10$); $-2,1 \cdot 10^{-2} T^{-1}$ ($S=50$) and $-1,6 \cdot 10^{-2} T^{-1}$ ($S=100$). The results obtained are largely consistent with the data of different authors: for films Pd $\beta_{mB} = -1,4 \cdot 10^{-2} T^{-1}$ [4] and for multilayers $[Fe/Cu/Fe]_n$ /Substrate ($n=3-9$) $\beta_{mB} = -(3,0-8,7) \cdot 10^{-2} T^{-1}$ [5], but these results are irrelevant to GMR.

If it is correct to calculate the value β_{mB} for granular films based on atoms Ag or Au and Fe or Co, in which there is an MR with GMR signs, then it has an order $10^{-3} T^{-1}$. The calculated values are quantitatively consistent with $\beta_{mB} \cong 10^{-3} T^{-1}$ only with unlikely values of spin granules (it is about $S > 100 \mu_B$).

We conclude that abnormally small GMR values are realized as a result of inefficient spin-dependent electron scattering on the imperfect granule system and a large contribution to the overall resistance of the ohmic

component, along with the contribution of low-ohm and high-ohm spin channels. Note that about the same situation applies to TCR, the value of which in the granular film alloys is relatively small (near 10^{-3} K^{-1}).

The work was performed under the State Grant 0119U100777.

1. L.V. Odnodvoretz, I.Yu. Protsenko, Yu.M. Shabelnyk, M.O. Shumakova, O.P. Tkach, *J. Nano- Electron. Phys.* **8** No 3, 03034 (2016).
2. I.V. Cheshko, L.V. Odnodvoretz, M.O. Shumakova, O.P. Tkach, *J. Nano- Electron. Phys.* **8** No 4, 04028 (2016).
3. M. Csontos, J. Balogh, D. Kaptas, L.F. Kiss, A. Kovacs, G. Mihaly, *Phys. Rev. B.* **73**, 184412 (2006).
4. О.А. Гричановська, К.Г. Карпенко, Л.В. Однедворець, І.Ю. Проценко, *ФІП* **13** № 3, 363 (2015).
5. О.В. Синашенко, Е.П. Ткач, И.П. Бурый, Л.В. Однедворец, С.И. Проценко, Н.И. Шумакова, *ВАНТ* № 6, 169 (2009).

Supervisors: Protsenko I.Yu., *Dr. Sci., Professor*
Odnodvoretz L.V., *Dr. Sci., Professor*

Особливості польових залежностей магнітоопору тришарових плівок $\text{Co/Cu/Co}_x\text{Cr}_{1-x}/\text{P}$

Бездідько О.В., аспірант; Кучменко Д.М., студент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Теоретично показано, що можлива інверсія (зміна знаку) ефекту гігантського магнітоопору (ГМО) за умови, якщо спінова асиметрія в розсіюванні електронів протилежна в суміжних феромагнітних шарах. Тому метою даної роботи було дослідження особливостей магніторезистивних властивостей асиметричних тришарових структур на основі сплаву $\text{Co}_x\text{Cr}_{1-x}$ ($x \geq 0,7$), Co та Cu.

Для свіжосконденсованих плівок $\text{Co/Cu/Co}_x\text{Cr}_{1-x}/\text{P}$ з $x \geq 0,7$, $d_F = 20 - 30$ нм, $d_N = 3 - 10$ нм спостерігається нетиповий (для анізотропного та гігантського магнітоопору) характер поведінки польових залежностей магнітоопору. При зменшенні індукції зовнішнього магнітного поля від поля насичення B_S до 0 величина електричного опору спочатку слабко зростає, а далі різко падає. Потім після зміни напрямку зовнішнього магнітного поля опір досягає мінімального значення та різко зростає, досягаючи свого максимального значення при подальшому збільшенні індукції магнітного поля. Подальше збільшення індукції магнітного поля приводить до різкого зменшення величини магнітоопору. Зауважимо, що пояснити описаний хід польових залежностей магнітоопору суперпозицією спін-залежного розсіювання електронів та спін-орбітальною взаємодією неможливо. Як правило, вплив анізотропного магнітоопору в структурах зі спін-залежним розсіювання електронів провідності проявляється в різній величині магнітоопору в полях більших за поле насичення при поперечній та повздовжній геометріях вимірювання. Причиною появи додаткових мінімумів на польових залежностях магнітоопору, на нашу думку, можуть бути різні значення коефіцієнтів спінової асиметрії феромагнітних шарів a ($a < 1$ для сплаву $\text{Co}_x\text{Cr}_{1-x}$ та $a > 1$ для Co). При зниженні температури вимірювання до 120 К характер польових залежностей магнітоопору суттєво не змінюється.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0119U100777 та НДР (2020-2022 рр.).

Керівник: Шкурдода Ю.О., доцент

**Магніторезистивні властивості плівкових сплавів на основі
 $\text{Fe}_{0,5}\text{Ni}_{0,5}$ та Cu**

Лисенко О.М., *студент*; Борисенко А.М., *студентка*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Плівкові сплави $(\text{Fe}_{0,5}\text{Ni}_{0,5})_x\text{Cu}_{1-x}$ були отримані методом одночасного випаровування металів у вакуумі (Cu – з вольфрамової стрічки, $\text{Fe}_{0,5}\text{Ni}_{0,5}$ – з електронно-променевої гармати). Вимірювання поздовжнього і поперечного магнітоопору та термомагнітна обробка плівок проводились у спеціальній установці в умовах надвисокого безмасляного вакууму (10^{-6} - 10^{-7}) Па у магнітному полі з індукцією до $B = \pm 0,2$ Тл.

Розглянемо результати дослідження магніторезистивного ефекту в плівках сплаву $(\text{Fe}_{0,5}\text{Ni}_{0,5})_x\text{Cu}_{1-x}$ товщинами $d = 20$ - 50 нм і $x = 0,5$ - $0,9$. Як для свіжосконденсованих, так і для відпалених за температури 700 К зразків фіксується анізотропний характер польових залежностей магнітоопору (позитивний поздовжній та негативний поперечний магнітоопір). Спільним для всіх польових залежностей магнітоопору (МО) із анізотропним характером є різка зміна МО в інтервалі полів $-2 - 2$ мТл і тенденція до насичення в більш сильних полях. Причиною анізотропного магнітоопору у феромагнетиках є взаємодія електронів провідності із зовнішніми електронами, спінові моменти яких спричиняють спонтанну намагніченість. Зауважимо, що магніторезистивний ефект у магнітних полях з індукцією до 200 мТл фіксується лише для плівкових сплавів з концентрацією міді менше 50 ат.%. Це, на нашу думку, зумовлено зниженням температури Кюрі плівкового сплаву із вмістом Cu більше 50 ат.% нижче температури вимірювання МО.

Слід зазначити, що величина як поздовжнього, так і поперечного МО для відпалених за температури 700 К зразків є концентраційно залежною при $0,5 < x$. Поздовжній та поперечний магнітоопір лише збільшується при зменшенні вмісту міді. Такий хід залежностей зумовлений збільшенням спонтанної намагніченості плівкових сплавів при зменшенні вмісту Cu.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми (2020-2022рр.).

Керівник: Шкурдода Ю.О., *доцент*

Електропровідність плівкових сплавів $(\text{Fe}_{0,5}\text{Ni}_{0,5})_x\text{Cu}_{1-x}$

Кудрявцев Д.В., студент; Ващенко С.М., студент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Плівкові сплави $(\text{Fe}_{0,5}\text{Ni}_{0,5})_x\text{Cu}_{1-x}$ товщиною шарів (1-50) нм та $x = 0,4-0,9$ отримували у вакуумній камері при тиску газів залишкової атмосфери 10^{-4} Па. Одночасна конденсація плівок здійснювалася в результаті випаровування металів із незалежних джерел (Cu – із вольфрамової стрічки, $\text{Fe}_{0,5}\text{Ni}_{0,5}$ – із електронно-променевої гармати). Термомагнітна обробка плівок та дослідження їх електропровідності проводились у спеціальній установці в умовах надвисокого безмасляного вакууму ($10^{-6}-10^{-7}$) Па.

Для свіжосконденсованих плівок питомий опір становить $(10-30) \cdot 10^{-7}$ Ом·м залежно від товщини та концентрації компонент. Ці значення майже в 10 разів перевищують значення для масивного пермалою даного складу ($\rho_0 = 3,5 \cdot 10^{-7}$ Ом·м). Великий питомий опір свіжосконденсованих плівок порівняно з масивними зразками пояснюється як утворенням високоомних твердих розчинів (FeNi , Cu), так і зовнішнім розмірним ефектом, значною дефектністю плівок та малими розмірами кристалітів.

У процесі відпалювання, внаслідок заліковування дефектів кристалічної будови та збільшення розмірів кристалітів, спостерігається необоротне зменшення питомого опору в процесі відпалювання. Після відпалювання за температури 700 К питомий опір плівок становить $\rho = (5-10) \cdot 10^{-7}$ Ом·м.

На залежностях $\rho(T)$ для плівок з $0,6 < x$ ніяких особливостей не спостерігається. Проте для плівок із $x < 0,5$ помітний злам залежності, який можна пов'язати з температурою Кюрі. Ймовірно, у даних плівкових сплавах відбувається зменшення температури Кюрі, зумовленого концентраційним (присутність Cu) і розмірним ефектами. Слід зазначити, що згаданий злам при збільшенні концентрації Cu зміщується в область нижчих температур. Подібні зміщення температури Кюрі при збільшенні концентрації Cu спостерігаються і для бінарних плівкових сплавів $\text{Ni}_x\text{Cu}_{1-x}$.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми (2020-2022рр.).

Керівник: Шкурдода Ю.О., доцент

Розрахунок загальної концентрації атомів у плівкових системах складної архітектури

Васюхно М.В., *магістрант*; Проценко І.Ю., *професор*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

При дослідженні фізичних властивостей плівкових систем різної архітектури (дво- або багатошарові плівкові системи, у яких зберігається індивідуальність окремих шарів або формуються обмежені чи необмежені тверді розчини (т.р.); плівкові системи, в яких окремі шари представляють собою хімічні сполуки, інтерметаліди, гранульовані плівкові сплави або т.р.) завжди залишається актуальним питання про загальну концентрацію окремих елементів. У даній роботі на прикладі трикомпонентної плівкової системи $Me_1/(Me_2)_x(Me_3)_{1-x}/\Pi$ (Π – підкладка) отримані співвідношення для концентрації атомів в ат.% (відмітимо, що вагові та молярні % менш зручні для аналізу поняття). У випадку багатошарової плівки, кожний шар якої відповідає певному елементу (ми будемо розглядати лише метали), загальна концентрація такого елементу розраховується за очевидним співвідношенням:

$$C_i = \frac{d_i \rho_i \mu_i^{-1}}{\sum_{i=1}^n d_i \rho_i \mu_i^{-1}}, \quad (1)$$

де d , ρ та μ – товщина окремого шару, густина та молярна маса елементів.

У випадку вказаної вище трикомпонентної двошарової плівки $Me_1(d_1)/(Me_2)_x(Me_3)_{1-x}(d_2)/\Pi$ співвідношення (1) трансформується до вигляду:

$$C_i = \frac{d_i \rho_i \mu_i^{-1}}{d_1 \rho_1 \mu_1^{-1} + d_2' \rho_2 \mu_2^{-1} + d_2'' \rho_3 \mu_3^{-1}}, \quad (1')$$

де d_2' і d_2'' – ефективні товщини шарів Me_2 і Me_3 .

Для розрахунків ефективних товщин необхідно користуватися співвідношенням (1) стосовно двокомпонентної системи у вигляді:

$$\frac{C_{Me_2}}{C_{Me_3}} = \frac{d_2' \rho_{Me_2} \mu_{Me_2}^{-1}}{d_2'' \rho_{Me_3} \mu_{Me_3}^{-1}} = \left(\frac{d_2'}{d_2''} - 1 \right) \cdot \frac{\rho_{Me_2} \mu_{Me_2}^{-1}}{\rho_{Me_3} \mu_{Me_3}^{-1}}, \quad (2)$$

де враховано, що $d_2 = d_2' + d_2''$.

Із (2) отримуємо співвідношення, наприклад, для ефективної товщини третьої компоненти:

$$d_{Me_3}'' = d_2 \left(1 + \frac{C_{Me_2}}{C_{Me_3}} \cdot \frac{\rho_{Me_3} \mu_{Me_3}^{-1}}{\rho_{Me_2} \mu_{Me_2}^{-1}} \right)^{-1}, \quad d_{Me_2}' = d_2 - d_{Me_3}'', \quad (3)$$

де C_{Me_2} і C_{Me_3} – відомі концентрації елементів у двокомпонентній плівці, наприклад, в пермалогах Fe_xNi_{1-x} , Co_xNi_{1-x} , т.р., хімічних з'єднаннях.

Після розрахунків ефективних товщин за співвідношенням (3) можна здійснити розрахунок загальної концентрації окремих елементів у плівковій системі за співвідношенням (1').

Не дивлячись на макроскопічний характер співвідношення (3), воно добре узгоджується із експериментальними значеннями концентрацій, і можуть бути використані при аналізі електрофізичних властивостей плівкових систем різної архітектури.

Робота виконана в рамках держбюджетної тематики № 0118U003580 (2018-2020 рр.).

**Термодинамічні властивості рівноважної з Ge суперіонної сполуки
Ag₃TeBr**

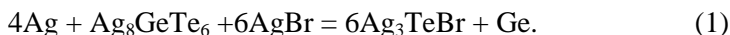
Мороз М.В.¹, *докторант*; Решетняк О.В.¹, *професор*;
Демченко П.Ю.¹, *провідний науковий співробітник*;
Перевізник О.Б.¹, *інженер*; Рудик Б.П.², *завідувач лабораторіями*;
Соляк Л.В.², *старший викладач*

¹ Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів,
Україна

² Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне, Україна

Суперіонні сполуки Ag₃SI, Ag₃SBr та Ag₃TeBr утворюють розупорядковані структури вже при кімнатній температурі. Практичне використання сполук передбачає контакт із металами, елементарними та більш складними напівпровідниками. Взаємна дифузія атомів при $T > 400$ К може суттєво змінювати фізичні властивості триелементних сполук. В даній роботі порівнюються термодинамічні властивості нелегованої та рівноважної з Ge сполуки Ag₃TeBr.

Положення фазової області Ag₈GeTe₆–AgBr–Ag₃TeBr–Ge системи Ag–Ge–Te–Br відносно точки срібла використане для запису рівняння потенціал-визначальної реакції:



Реакція (1) здійснена в інтервалі $T=(455\text{--}510)$ К в електрохімічній комірці $\text{C} | \text{Ag} | \text{скло Ag}_2\text{GeS}_3 | \text{D} | \text{C}$, де скло Ag₂GeS₃ – мембрана з суто іонною (Ag⁺) провідністю, D – суміш фаз Ag₈GeTe₆, AgBr, Ag₃TeBr та Ge. Враховуючи температурну залежність ЕРС комірки, в наближенні $\Delta C_p = \text{const}$, розраховано термодинамічні властивості сполуки Ag₃TeBr рівноважної з Ge. Значення ентальпії та енергії Гіббса (в кДж·моль⁻¹) становлять: $-(143,2 \pm 0,7)$ та $-(152,4 \pm 0,5)$, відповідно. Відносна різниця значень енергії Гіббса нелегованої та рівноважної з германієм сполуки Ag₃TeBr складає ~12%. Значна розчинність германію обумовлена малими розмірами його іонів, що заповнюють порожнечі кристалічної ґратки Ag₃TeBr.

Властивості лазерно-опромінених монокристалів CdZnTe

Рашковецький Л.В., Пляцко С.В., Стрільчук О.М., Левицький С.М.,
Вуйчик М.В., Свеженцова К.В., Громовий Ю.С., Маслов В.П.,
Петрик І.С.¹

Інститут фізики напівпровідників НАН України, м. Київ, Україна

¹Інститут хімії поверхні НАН України, м. Київ, Україна

Методами АСМ, низькотемпературної фотолюмінесценції (ФЛ) та оптичної спектроскопії в області 0.2-25 мкм досліджено вплив опромінення одиничними імпульсами другої гармоніки неодимового лазера ($\lambda = 0.53$ мкм, $\tau_{\text{имп}} = 7 \cdot 10^{-9}$ с) в діапазоні густини потужностей 30 – 100 мДж/см² при $T = 300$ К на оптичні характеристики монокристалічних пластин Cd_{1-x}Zn_xTe ($x = 0.05$) розмірами 10 × 10 мм².

В результаті досліджень було виявлено:

1. Зниження інтенсивності ФЛ опромінених зразків.
2. Зміна співвідношення інтенсивностей ФЛ домішково-дефектної $I_{\text{Д}}$ та екситонної I_{D0x} смуг.
3. Зсув максимуму випромінювання домішково-дефектної смуги в область низьких енергій та зменшення її напівширини за рахунок дислокаційної складової.
4. З ростом потужності лазерного опромінення співвідношення $I_{\text{Д}}/I_{\text{D0x}}$ значно зростає (Рис. 1), що пов'язане зі збільшенням густини дислокацій та дефектів в опроміненій області [1].

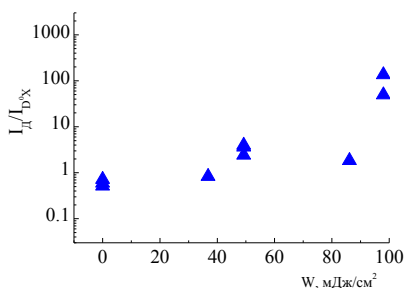


Рисунок 1 – Залежність співвідношення інтенсивностей домішково-дефектної смуги та екситонної $I_{\text{Д}}/I_{\text{D0x}}$ від потужності лазерного опромінення $T_{\text{вим}}=77$ К

Утворені дислокаційно-дефектні комплекси можуть діяти як центри безвипромінювальної рекомбінації і, таким чином, знижувати інтенсивність ФЛ опромінених кристалів CdZnTe.

5. Зростання оптичного пропускання в ІЧ-області (Рис. 2), практично до теоретичної межі, що зумовлено утворенням в забороненій зоні лазерно-індукованих глибоких рівнів з густиною станів на них достатньою для зменшення концентрації вільних носіїв при $T = 300$ К і, як наслідок, зменшення ними оптичного поглинання.

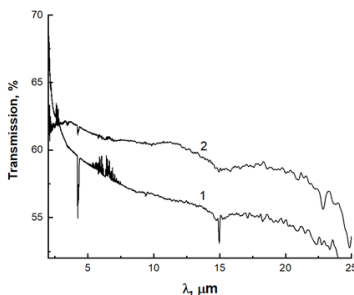


Рисунок 2 – Спектри оптичного пропускання неопроміненого (1) і опроміненого (2) зразка ($W = 97.98$ мДж/см²).

6. АСМ дослідження неопроміненої поверхні зразків показали, що вона є атомарно-гладкою, з нерівномірно розподіленими на ній структурами висотою 20-60 нм. Лазерне опромінення з $W = 97.98$ мДж/см² призводить до значного зменшення середньоквадратичної шорсткості поверхні. При менших потужностях опромінення зміни поверхні зразків не спостерігалися.

Отже, опромінення кристалів Cd_{1-x}Zn_xTe ($x = 0.05$) лазерним випромінюванням з області фундаментального поглинання призводить до: а) підвищення концентрації дислокаційних дефектів у опроміненій області;

б) генерації значної концентрації глибоких дефектів не тільки в приповерхневій області, а й в об'ємі кристалу;

в) перекристалізації поверхневого шару на глибині ~1 мкм.

1. Guoqiang Li, Xiaolu Zhang, Wanqi Jie, *Semicond. Sci. Technol.* **20**, 86 (2005).

Лазерна ІЧ епітаксія щодо створення компонентів сонячних елементів на основі сполук A^2B^6

Громовий Ю.С., Пляцко С.В., Рашковецький Л.В, Сизов Ф.Ф.
Інститут фізики напівпровідників НАН України, м. Київ, Україна

Лазерне осадження (ЛО) шарів CdS та CdTe проводилось в одному циклі у вакуумі 10^{-7} - 10^{-6} Торр. Спектральна область лазерного випромінювання вибиралася значно нижче краю власного поглинання CdS(Te), що дає змогу позбавитись деструктивного впливу високоенергетичної іонізованої частини ерозійного потоку при температурі росту $T \leq 150$ °С. В залежності від густини потужності лазерного випромінювання на джерелі CdS, CdTe можливо реалізувати режими розвинутого випаровування і отримувати на підкладках, з попередньо нанесеним прозорим шаром ІТО (SnO_2 , In_2O_3), шари заданої товщини з морфологією та електрофізичними параметрами, що визначаються параметрами лазерного випромінювання, температурою вирощування та швидкістю росту.

З даних AFM виявлено щільно упаковані кристаліти від 100 до 25 нм як на аморфній поверхні, так і на полікристалічній поверхні ІТО.

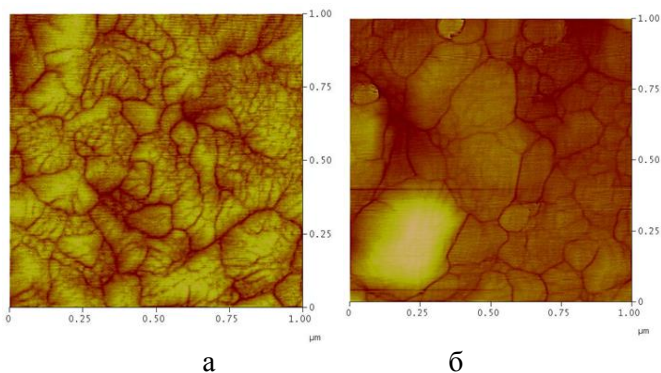


Рисунок 1 – AFM-зображення морфології CdS плівок, отриманих на SnO_2 /glass(a) In_2O_3 /glass (б) при одних і тих же умовах

Ці результати показують, що осадження з лазерних ерозійних потоків призводить до кристалізації плівок безпосередньо в процесі росту і не вимагає додаткового післяростового термічного відпалу.

Додатковим фактором може бути лазерно-стимульований фотохімічний механізм кристалізації на підкладках, оскільки ерозійний лазерний потік на 90 % складається з окремих складових компонент джерела CdS(Te).

Провідність плівок є оптимальною для нанесення фронтального контакту сонячного елемента (СЕ) в межах тиску $5 \cdot 10^{-3} \leq P \leq 2 \cdot 10^{-2}$ Торр і температурі росту $25 \leq T \leq 200$ °С, що є визначальним для створення послідовної або паралельної архітектури СЕ.

Особливість конструктивного рішення ЛО полягає в тому, що для забезпечення повного циклу росту, завдяки багатоджерельній системі є можливість використовувати сполуку CdCl₂, яка використовується не для отримання заданої концентрації носіїв струму, а для більш однорідної структури полікристалічних плівок CdS, CdTe. Показано, що при лазерному випаровуванні джерел складових сонячних комірок шари CdS є суцільними при товщинах на порядок менших, ніж в традиційних методах отримання (~40 nm), а шари CdTe, які вирощені на CdS, є також суцільними і мають добре розвинуту морфологію, що дозволяє запобігти негативному фактору шнурування струму.

Концентрація носіїв в шарах CdS не залежала від густини потужності лазерного випромінювання на джерелі та від температури підкладки. В технологічному циклі, який є оптимальним для отримання сонячних комірок, шарам CdS була характерна електронна провідність, яка визначається мілкими донорними центрами в забороненій зоні з густиною станів на рівнях $N_d \leq 1 \cdot 10^{17} \text{см}^{-3}$. При нанесенні CdCl₂ на поверхню CdTe у високому вакуумі з наступною термообробкою при температурі $200 \leq T \leq 300$ °С, питомий опір плівок CdTe зменшується від 10^8 ом·см до 10^5 ом·см в залежності від температури відпалу при деякому зростанні кристалітів, а при лазерному імпульсному відпалі *in-situ* питомий опір плівок CdTe спадає до 10^2 - 10^3 Ом·см в залежності від потужності лазерного випромінювання, і без значної зміни в мікроструктурі плівок, що свідчить про внесок в провідність підсистеми власних та домішкових дефектів, а не мікроструктури кристалітів плівок.

Свічення поверхні діоксиду кремнію при іонному бомбардуванні

Сані Км А.А., *студент*; Митропольський І.Є., *доцент*
ДВНЗ «Ужгородський національний університет», м. Ужгород,
Україна

Розробка конструкційних матеріалів для елементів радіо-, мікро-, а також наноелектронних пристроїв - один з перспективних напрямків сучасного матеріалознавства. Основу відповідних матеріалів складають діелектричні та напівпровідникові твердотільні структури, серед яких діоксид кремнію (ДК) займає особливе місце, що в першу чергу пов'язано з унікальними властивостями SiO_2 , які забезпечили можливість розробки планарної технології. Застосування кремнієвих структур в оптоелектронних приладах стимулює вивчення їх люмінесценції при кімнатній температурі в широкій області спектру. Внесок в свічення SiO_2 дають як власні, так і домішкові дефекти та їх асоціації. Незважаючи на велику кількість робіт по вивченню центрів випромінювання, його природа в УФ і видимому діапазоні спектру є дискусійною. На вирішення цієї проблеми спрямована дана робота.

Зразки ДК, які за інформацією постачальника було отримано шляхом окислення поверхні монокристалічного Si з утворенням гетероструктур, досліджувалися методом іон-фотонної спектроскопії [1]. Спектр іон-фотонної емісії (ІФЕ) SiO_2 при бомбардуванні іонами K^+ з енергією $E = 6-15$ кеВ в області 200-800 нм містить наступні компоненти: 1) спектральні лінії атомів матеріалу мішені, первинного пучка; 2) вузькі смуги радикалів OH і CH; 3) смуги в широкому діапазоні. Встановлено, що джерелом широких смуг є безпосередньо бомбардована поверхня ДК (іонолюмінесценція). На рис.1 приведена, з урахуванням чутливості реєструючої техніки, неперервна складова спектру ІФЕ ДК при бомбардуванні K^+ під кутом 60° . В спектрі спостерігаються декілька широких смуг, інтенсивність і положення максимуму яких залежить від умов дослідження. Спектр 1 відповідає випадку бомбардування мішені іонами з $E = 10$ кеВ після її встановлення у вакуумну камеру і досягнення вакууму 10^{-6} Тор. Для нього характерні дві смуги: інтенсивна УФ-смуга з максимумом 290 нм (4.27 еВ), і друга у видимій області з максимумом 455 нм (2.72 еВ), а також від 600 нм (2.01 еВ) хвіст довгохвильової смуги. Спектр 2

одержано після 45 хвилинної неперервної дії іонного пучка з $E = 5$ кеВ на поверхню ДК. Інтенсивність смуг зменшується. Для УФ-смуги спостерігається зсув максимуму в бік коротких хвиль (285 нм). Максимум блакитної смуги також зміщується.

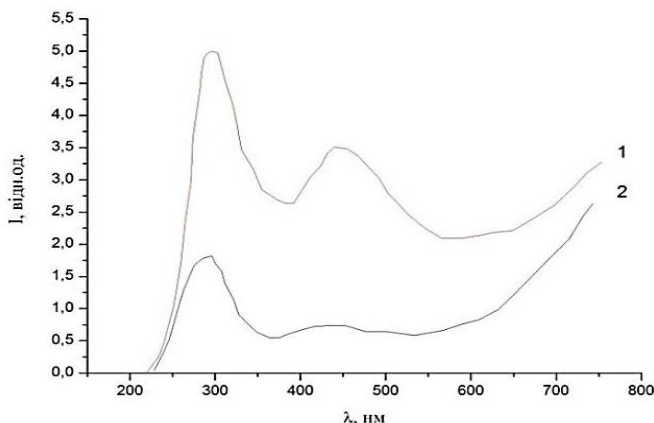


Рисунок 1 – Іонолюмінесценція діоксида кремнію при бомбардуванні іонами K^+ з енергією: 1 – $E = 10$ кеВ, 2 – $E = 5$ кеВ

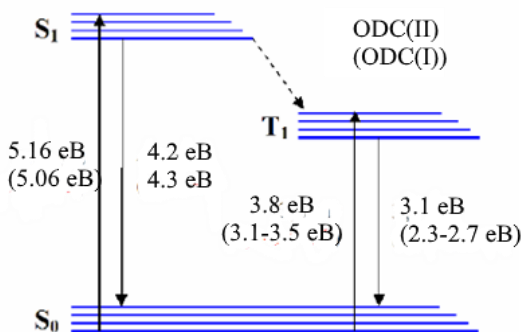


Рисунок 2 – Схема енергетичних рівнів ODC(I) і ODC(II) в забороненій зоні SiO_2 . В дужках наведені енергії переходів ODC(I)

Залежність інтенсивності смуг іонолюмінесценції від часу взаємодії іонного пучка із зразком різна: вихід фотонів для УФ смуги спадає, а для блакитної – зростає.

При взаємодії іонного пучка з ДК в першу чергу відбувається зменшення частки власних дефектів, пов'язаних з надлишком кисню. Відповідальні за піки люмінесценції SiO_2 переходи відбуваються між локалізованими енергетичними рівнями, створюваними дефектними центрами, зокрема нейтральними діамагнітними дефектами, пов'язаними з дефіцитом кисню (oxygen-deficiency center): типу нейтральної моновакансії кисню – ODC(I) і дивакансії кисню - ODC (II). Хоча ODC(I) і ODC(II) мають різну структуру, вони створюють однотипну серію енергетичних рівнів в забороненій зоні ДК.

Результати спектральних і кінетичних вимірювань показують, що в структурі ДК присутні два типи киснево-дефіцитних центрів. Смоги в околі 2.7-3.1 eV можна ідентифікувати як триплет-синглетні випромінювальні переходи ($T_1 \rightarrow S_0$), а смоги 4.3-4.4 eV - синглет-синглетні ($S_1 \rightarrow S_0$) в ODC-дефектах [2]. Основну роль в процесах випромінювання світла грають основний синглетний стан S_0 , перший збуджений триплетний стан T_1 і перший збуджений синглетний стан S_1 . Для переходу $S_0 \rightarrow S_1$ достатньо невеликої енергії (5 eV) і він супроводжується швидкою (час життя порядку 10^{-9} с) випромінювальною релаксацією $S_1 \rightarrow S_0$ з енергіями в інтервалі 4-4,5 eV (280-310 нм). Перехід $T_1 \rightarrow S_0$ призводить до слабшого і повільнішого (час життя порядку 10^{-3} с) випромінювання, оскільки в загальному випадку заборонений правилами відбору за спіном, хоча заборона знімається за рахунок спин-орбітальної взаємодії. Слід зазначити, що енергія переходу $T_1 \rightarrow S_0$ в структурі рівнів ODC(I) дуже сильно залежить від відстані між атомами кремнію і змінюється в межах 2,3-2,7 eV (460-540 нм) [3]. Тому смуга іонолюмінесценції, яка відповідає вказаному переходу, є більш широкою в порівнянні з УФ-смугою (рис.1). Можна заключити, що неперервне іонне бомбардування стимулює цей процес. Взаємозалежна зміна інтенсивності випромінювальної релаксації різних збуджених станів ODC вказує на перерозподіл енергії збудження між ними.

1. Н.В. Плешивцев, А.И. Бажин, *Физика воздействия ионных пучков на материалы* (М.: Вузовская книга: 1998).
2. D. Jimenez-Rey, O. Peña-Rodríguez, et al., *Nucl. Instrum. Meth. B* **273**, 282 (2012).
3. S. Yin, Z. Chong-hong, et al., *Nucl. Instrum. Meth. B* **326**, 68 (2014).

Nonlinear forced dynamics of a ferromagnetic nanoparticle with a finite anisotropy in a viscous liquid

Petrenko N.S., *Laboratory Assistant*; Pavlyuk M.O., *Postgraduate Student*; Lyutyi T.V., *Associate Professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

The relationship between mechanical rotation and the intrinsic magnetic dynamics of the nanoparticle is an important point in the microscopic description of the behavior of the ferrofluid interacting with an external field. The problem was investigated based on the following system of equations

$$\dot{\mathbf{n}} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{n}, \quad (1)$$

$$J\dot{\boldsymbol{\omega}} = \gamma^{-1}V\dot{\mathbf{M}} + V\mathbf{M} \times \mathbf{H} - 6\eta V\boldsymbol{\omega}, \quad (2)$$

$$\dot{\mathbf{M}} = -\gamma(\mathbf{M} \times \mathbf{H}_{\text{eff}}) + \alpha M^{-1} \left[\mathbf{M} \times (\dot{\mathbf{M}} - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{M}) \right],$$

here \mathbf{n} is the vector defines the easy axis position, $\boldsymbol{\omega}$ is the vector of the nanoparticle angular velocity, $J (= 8\pi\rho R^5/15)$ is the inertia momentum, ρ is the nanoparticle mass density, R is the nanoparticle radius, γ is the gyromagnetic ratio, V is the nanoparticle volume, $\mathbf{M}(|\mathbf{M}| = M = \text{const})$ is the nanoparticle magnetisation, \mathbf{H} – is the field acts on the particle, η is the liquid viscosity, \mathbf{H}_{eff} is the effective field accounts the nanoparticle anisotropy ($\mathbf{H}_{\text{eff}} = \mathbf{H} + H_a M^{-1}(\mathbf{M}\mathbf{n})\mathbf{n}$), α is the damping coefficient. The external field is defined as $\mathbf{H} = \mathbf{e}_x H \cos \Omega t + \mathbf{e}_y H \sigma \sin \Omega t$, where $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y$ are the Cartesian unit vectors, H i Ω – the field amplitude and frequency respectively, t – time, a $\sigma (= \pm 1)$ – coefficient defines the polarization type.

The finite anisotropy gives an additional degree of freedom, which leads to the emergence of a chaotic regime, and another deterministic regimes characterized by oscillations performed synchronously or asynchronously with the external field. Special attention is paid to the chaotic regime[^] to its character and generation condition. A deep understanding of the nature of the movement allows us to control the process of heating during hyperthermia – a method of cancer therapy. In particular, the results show that even a slight change in the frequency of the field can lead to a nonlinear increase in the heating rate. This effect can be used, or, conversely, counteracted for better control.

Статистичні властивості систем феромагнітних наночастинок: модель жорсткого диполя

Рева В.В., молодший науковий співробітник; Лютий А.Т., студент;
Лютий Т.В., доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В рамках дослідження вивчався відгук системи феромагнітних наночастинок, які зважені у в'язкій рідині та збуджується зовнішнім періодичним полем. Ми зосередились на таких актуальних та нетривіальних з наукової точки зору задачах. По перше, розглядався вплив теплових флуктуацій та далекодіючої диполь-дипольної взаємодії між частинками на обертові траєкторії та на величину енергії, яка поглинається наночастиною від поля та переходить у тепло. По друге визначається вплив термостату на транспортні властивості частинок, зумовлені ефектом Магнуса. Частинки при цьому знаходяться під синхронізованою дією періодичної сили та поля, вектор якого здійснює коливання з визначеною амплітудою. Особливістю транспорту є той факт, що кожен з двох перерахованих факторів має нульове середнє значення, а ненульове зміщення викликає саме їх сукупна дія.

Використовується аналітичний апарат, що базується на рівняннях Ланжевена, Фоккера-Планка та концепції ефективного рівняння Ланжевена, що дозволяє оптимізувати процедуру подальшого числового моделювання. Сама техніка моделювання заснована 1) на паралельних обчисленнях за допомогою графічних процесорів та технології CUDA і 2) застосуванні алгоритму Барнса-Хата для наближеного обчислення дипольних полів. Аналітичні і чисельні результати показують, що дія термостату призводить до зниження потужності втрат, однак для малих частот це зниження є суттєвим, а для великих – практично ні. Взаємодія ж завдяки декільком механізмам коригує дію термостату як у сторону збільшення так і у сторону зменшення потужності втрат.

З використанням ефективного рівняння Ланжевена перевіряється побудована статистична теорія дрейфу наночастинок, що враховує як температурну залежність в'язкості рідини, так і тепловий шум. Описується цікавий ефект, за якого зміна температури призводить до зміни напрямку впорядкованого руху частинок на протилежний. Обговорюється можливість практичного застосування зазначеного ефекту для прецизійної сепарації наночастинок.

Розрахунок фізико-механічних властивостей нітрідів багатоелементних сплавів на основі даних математичного моделювання

Погорелий М.А. *студент*; Черненко В.В, *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Тензор еластичності – (тензор механічного напруження) – це тензор другого рангу, який описує механічну пружність в довільній точці навантаженого тіла, які в свою чергу виникають при деформації тіла в цій точці. При розрахунку об'ємного тіла тензор записується у вигляді матриці:

$$\sigma = \begin{bmatrix} T^{e_1} \\ T^{e_2} \\ T^{e_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & T_{xy} & T_{xz} \\ T_{yx} & \sigma_y & T_{yz} \\ T_{zx} & T_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

де T^{e_n} – вектор механічної напруги, що діє на поверхню (e_n)

У даній роботі з використанням програмного забезпечення Quantum espresso проведено моделювання тензору еластичності бінарних та тернарних нітрідів вогнетривких металів. На основі результатів моделювання розраховані фізико-механічні властивості багатоелементних нітрідів (рис. 1).

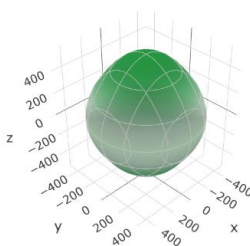


Рисунок 1 – Просторова залежність модуля Юнга від напрямку для NbN

Виходячи з даних моделювання були розраховані модулі пружності для систем NbN, TiN, MoN, TiNbN, TiMoN, побудована просторова залежність модуля Юнга від напрямку для даних композитів (рис. 1).

Керівник: Рогоз В.М., *старший викладач*

Моделювання кристалічної структури та термодинамічних властивостей твердих розчинів систем Pb-Cd-Te

Найдич Б.П.¹, науковий співробітник; Яворський Я.С.¹, старший науковий співробітник; Катанова Л.О.¹, студент; Костюк О.Б.^{1,2}, старший науковий співробітник

¹ ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», м. Івано-Франківськ, Україна
² Івано-Франківський національний медичний університет, м. Івано-Франківськ, Україна

Халькогеніди другої і четвертої груп широко використовуються в якості функціональних матеріалів для оптико-електронних приладів, детекторів X – та γ – випромінювання, термо – і фотоелектричних перетворювачів [1-3]. Тверді розчини на їх основі володіють суттєво відмінними параметрами, керувати якими можна змінюючи вміст компонентів. Близькість фізико-хімічної природи атомів Cd та Pb сприяє добрій розчинності сполук, особливо при незначному вмісті кадмій телуриду (не більше 15 %). Такий твердий розчин однофазний і кристалізується в структурі NaCl.

На основі кристалічної та електронної будови твердого розчину $Pb_{0,9}Cd_{0,1}Te$, а також його фізико-хімічних властивостей запропоновано кластерні моделі і граничні умови для розрахунку термодинамічних параметрів. Для моделювання сполуки $Pb_{0,9}Cd_{0,1}Te$ використано модельний кластер, що складається з 29 атомів свинцю, 3 атомів кадмію і 32 атомів телуру (рис. 1), що відтворює кристалічну структуру досліджуваного твердого розчину. Атоми кадмію розміщені в трьох-, п'яти- та шести координованих позиціях плюмбуму. Розрахунки проводились з використанням програмного пакету PC Gamess [4] з використанням гібридного базисного набору V3LYP.

Утворення твердого розчину характеризується зменшенням сталої кристалічної ґратки від 6,426 нм для аналогічного за розмірами кластера PbTe до 6,395 нм у модельованій структурі.

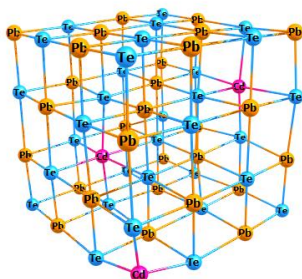
Із перших принципів отримано значення термодинамічних параметрів твердого розчину $Pb_{0,9}Cd_{0,1}Te$ у широкому температурному інтервалі. Із отриманих температурних залежностей (рис.1, б) розраховано аналітичні вирази, які були апроксимовані за допомогою

математичного пакету Maple. Для області температур (50–1000 К) аналітичні вирази наступні:

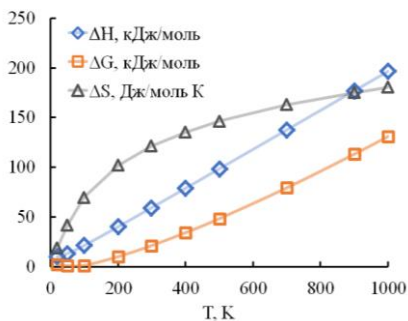
$$\Delta H(T) = 0,193T + 3,237; \quad (1)$$

$$\Delta G(T) = 0,064T - 2,784; \quad (2)$$

$$\Delta S(T) = 43,022 \ln(T) - 121,13. \quad (3)$$



а



б

Рисунок 1 – Кластерна модель (а) та розрахункові температурні залежності термодинамічних параметрів: ентальпії ΔH , енергії Гіббса ΔG , ентропії ΔS (б) твердого розчину $Pb_{0,9}Cd_{0,1}Te$.

Розраховані значення термодинамічних параметрів зростають у всьому температурному діапазоні, що властиво твердим тілам у кубічній фазі. В області низьких температур ентальпія ΔH визначається в більшій мірі енергією Гіббса ΔG , а при зростанні температури істотнішим стає вплив ентропії ΔS .

1. F. Gao, Q. Lu, *Nanoscale Res. Lett.* **4**, 371 (2009).
2. A.S.Z. Lahewil, Y. Al-Douri, et al., *Procedia Eng.* **53**, 217 (2013).
3. S. Ahmad, S.D. Mahanti, et al., *Phys. Rev. B* **74**, 155205 (2006).
4. M.S. Gordon, M.W. Schmidt *Theory and Applications of Computational Chemistry: The First Forty Years* (Amsterdam: Elsevier: 2005).
5. G. Tan, X. Zhang, et al., *ACS Appl. Mater. Interface.* **11**, 9197 (2019).

Електричні властивості плівок PbCdTe

Костюк О.Б.^{1,2}, старший науковий співробітник; Волочанська Б.П.¹,
науковий співробітник; Черкач Х.П.¹, студент;

Яворський Р.С.¹, аспірант

¹ ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя
Стефаника», м. Івано-Франківськ, Україна

² Івано-Франківський національний медичний університет, м. Івано-
Франківськ, Україна

Напівпровідникові плівки матеріалів на основі А4В6 застосовуються в якості активних елементів оптоелектронних пристроїв в інфрачервоному діапазоні оптичного спектра та для термоелектричних мікрогенераторів. На даному етапі розвитку напівпровідникового матеріалознавства доцільно модифікувати властивості даних сполук шляхом легування та створення твердих розчинів на їх основі. Твердий розчин PbCdTe цікавий тим, що ширина заборонених зон складових значно відрізняється ($E_g \approx 0,32$ eV для PbTe та $E_g \approx 1,5$ eV для CdTe при 300K [1]). Створення тернарної сполуки $Pb_{1-x}Cd_xTe$ дозволяє контролювати ширину забороненої зони напівпровідника. Зі збільшенням вмісту Cd ширина забороненої зони зростає [2]. Ці зміни суттєво впливають на електричні параметри плівки.

Плівки отримували методом випаровування у вакуумі наперед синтезованого матеріалу PbTe та $Pb_{0,9}Cd_{0,1}Te:Pb$ (3 ат.%) на підкладки із слюди-мусковіт. Вимірювання електричних параметрів плівок проводилося у вакуумі та у постійному магнітному полі, перпендикулярному до поверхні плівок, при індукції 1,2 Тл.

Механізми електронного переносу можуть бути якісно і кількісно описані шляхом вимірювання холівської рухливості носіїв заряду μ . З рис. 1 видно, що μ швидко зменшується з температурою. Розраховані коефіцієнти нахилу прямих $\ln\mu$ від $\ln T$ становили $p = -2,49$ та $-2,59$ для PbTe та $Pb_{0,9}Cd_{0,1}Te:Pb$. Коефіцієнти нахилу дуже близькі до $-5/2$. Для невиродженої статистики носіїв заряду рухливість носіїв μ завдяки розсіянню на довгохвильових акустичних коливаннях визначається за формулою [3]

$$\mu_a \sim m^{-5/2} T^{-3/2} \quad (1)$$

Слід врахувати, що для досліджуваного діапазону температур 300–400 К ефективна маса PbTe також збільшується з ростом температури за законом $m^{0,4}$ [3]. Тому отримуємо показник степеня $-5/2$. Тобто домінуючим механізмом розсіювання носіїв струму є розсіювання на акустичних фононах. Відхилення для плівки складу $Pb_{0,9}Cd_{0,1}Te:Pb$ може визначатися також розсіюванням на домішках та поверхні плівки.

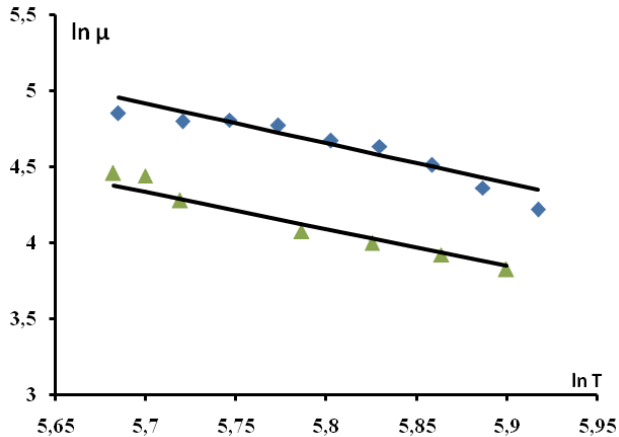


Рисунок 1 – Залежність логарифма холівської рухливості $\ln \mu$ від $\ln T$ для плівок складу: \blacktriangle – PbTe, \blacklozenge – PbCdTe:Pb на свіжих сколах (0001) слюда-мусковіт. Точки – експеримент, лінії – апроксимація за формулою (1)

Для досліджуваних плівок спостерігається також ріст термоелектричної потужності $S^2\sigma$ та коефіцієнта Зеєбека S з ростом температури. Причому, плівки складу PbCdTe:Pb мають більшу термоелектричну добротність при температурах 300–350К за рахунок високих значень провідності порівняно з чистим плюмбум телуридом, тому можуть бути використані для термоелектричного перетворення енергії в цьому діапазоні.

1. K. Koike, et al., *J. Crystal Growth* **257**, 212 (2003).
2. M. Bułafa, P. Sankowski, R. Buczko, P. Kasman, *Phys. Rev. B* **86**, 085205 (2012).
3. H.A. Lyden, *Phys. Rev.* **135**, A514 (1964).

СЕКЦІЯ 4

«Інформаційні електронні системи»

Мікроконтролерні модулі як складові Web систем

Ришкова К.О., *магістрант*; Лобода В.С., *магістрант*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розробка інформаційних систем та сервісів для інтернету речей тісно пов'язана із застосуванням складних рішень, які можуть забезпечити високий ступінь їх автономності у поєднанні з можливістю забезпечення комунікації з мережевими сервісами. Так, популярним рішенням для автономних систем є застосування мікроконтролерів сімейства AVR, як обчислювальних блоків. Вони характеризуються прийнятною розрахунковою потужністю і забезпечують простий цикл розробки модульної автоматизованої системи. Також AVR мікроконтролери мають фізичні аналогові входи, що дає змогу без додаткових схем узгодження підключати велику кількість датчиків фізичних величин. Великим недоліком цих мікроконтролерів є неможливість побудови систем, що надають мережеві сервіси.

Загальноприйнятим підходом сьогодні вважається комунікація і надання інформації з використанням Web сервісів. Так мікроконтролери ESP мають вбудований Wi-Fi контролер, що забезпечує просте його підключення до мережі. Також вони мають потужний процесор і відносно великий об'єм вбудованої пам'яті, що дозволяє проектувати на їх базі інтернет сервери. Стандартними засобами розробки можна інтегрувати Web сайт у пам'ять мікроконтролера, і надавати кінцевому користувачеві через браузер можливість моніторингу та керування віддаленою інформаційною системою. Проте мікроконтролери ESP мають лише один аналоговий вхід, що значно обмежує його використання як системи збору даних. Суттєво розширити можливості Web системи можна об'єднавши в одну розрахункову одиницю мікроконтролери ESP та AVR за допомогою одного із стандартних протоколів (I²C, SPI, UART). У такому випадку один із модулів бере на себе функцію системи збору даних, а як інший використовується як сервер із підключенням до мережі. Описаний підхід дозволяє створити бюджетну інформаційну систему для віддаленого моніторингу та керування через інтернет та Web браузер.

Керівник: Тищенко К.В., *к.ф.-м.н.*

Автономні системи керування на базі контролерів ATtiny

Сімагін В.В., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

При розробці автоматизованих систем керування досить часто виникає потреба розробки пристроїв із високим ступенем автономності. Такий підхід хоч і не дає можливості віддаленого контролю, та забезпечує роботу приладу за наперед заданим алгоритмом. Автономні системи можуть працювати при повній відсутності фізичного та віртуального доступу до них.

Мікроконтролери побудовані на чипі ATtiny, наприклад Digispark, мають малий розмір готового модуля із всією апаратною обв'язкою (1,5 × 1,5 см), що дає змогу використовувати їх в досить мініатюрних системах. Так, вони чудово підходять для побудови носимих електронних пристроїв, наприклад використовуватись у розумному одязі. Ще одним фактором, який додає популярності контролерам ATtiny є можливість їх програмування мовою C++ із використанням середовища Arduino IDE. Окрім зручності і зрозумілості таке рішення ще й дає доступ до великої кількості готового, вільнорозповсюдженого спільнотою розробників програмного коду та бібліотек. Цим також обумовлено високий ступінь сумісності із модулями розширення, призначених для Arduino.

Нами було розроблено систему автоматичного керування освітленням в місцях загального користування. До її складу увійшли датчик освітлення (фоторезистор), п'єзоелектричний датчик руху та релейний модуль із оптичною розв'язкою. Програмно було реалізовано наступну логіку роботи системи: світло вмикається при наявності сигналу із датчика руху, якщо рівень освітленості, вимірний фоторезистором, менше певного порогового рівня. Реалізація зміни порогового рівня спрацювання здійснювалась за допомогою двох апаратних кнопок у межах 10 кроків. Розроблена система може досить довго працювати автономно (близько 1 місяця) від 3-х батарейок типу АА. Концепція може бути розвинута для реалізації інших проектів, а автономність підвищена за рахунок використання сонячних перетворювачів енергії.

Керівник: Тищенко К.В., к.ф.-м.н.

Сучасні носії електронної інформації

Москаленко В.О., *магістрант*; Сещенко Д.І., *студент*;
Шабельник Ю.М., *к.ф.-м.н.*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розвиток комп'ютерних технологій сприяє розробці сучасних носіїв цифрової інформації. У відомих світових ІТ-компаніях як IBM, Intel, Samsung та багато інших працюють цілі підрозділи, головне завдання яких є розробка нових носіїв інформації. На зміну жорстким дискам прийшли SSD-диски, які мають в 2-2,5 рази більшу швидкість зчитування/запису (до 250-300 Мб/с), на порядок менший середній час доступу (0,12-0,18 мс), низьке енергоспоживання, повну безшумність, високу надійність і стійкість до механічних впливів завдяки повній відсутності рухомих частин.

Поряд з цим розробляються і інші технології, такі як SONOS (Silicon-Oxide-Nitride-Oxide-Silicon) – відрізняється від класичної флеш-пам'яті тим, що плаваючий затвор осередку виконаний не з полікристалічного кремнію, а з нітриду кремнію (Si_3N_4), що має більш однорідну молекулярну структуру і тому здатного краще утримувати заряд, PRAM-технологія (Phase Change Random Access Memory) – пам'ять з довільним доступом на основі фазового переходу. Цікаві варіанти довгострокової пам'яті можливі і на молекулярному рівні. Наприклад, пам'ять FeRAM (Ferroelectric RAM – ферроелектрична, або сегнетоелектрична, пам'ять з довільним доступом) заснована на можливості змінювати розподіл (поляризацію) атомів в ферроелектричних матеріалах за рахунок програми зовнішнього електричного поля [1].

Цікаві дослідні варіанти розробила компанія IBM – «Racetrack Memory», яка не має рухомих частин, як жорсткі диски, і практично не зношується, як флеш-пам'ять. Чутливий елемент такої пам'яті виготовляється з тонкої плівки пермалою товщиною 200 нм. Ще одним класом приладів є активні елементи інтегральної електроніки на основі спінових діодів і транзисторів, які також застосовуватися в носіях цифрової інформації.

1. A. Hirohata, K. Yamada, Y. Nakatani, L. Prejbeanu, B. Diény, P. Pirro, V. Hillebrands, *J. Magn. Magn. Mater.* 166711 (2020).

Система автоматичного керування освітленістю приміщення

Кулак А.С., студент; Ващенко С.М., студент;
Ткач О.П., к.ф.-м.н., доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В основі сучасних інформаційних технологій лежать принципи автоматизованих систем керування фізичними параметрами. На сьогодні створена велика кількість готових рішень, які користувач може використовувати або підлаштовувати під свої потреби.

У рамках дисципліни «Функціональна електроніка» був розроблений лабораторний стенд для автоматизованого керування освітленістю в приміщенні. Як датчик освітленості використовувався фоторезистор, принцип дії якого ґрунтується на ефекті фотопровідності. Його підключення в схемі було реалізовано як дільник напруги: вхідна ($U_{вх}$) і вихідна ($U_{вих}$) напруги пов'язані між собою коефіцієнтом передачі (k) та визначаються рівністю $U_{вих} = U_{вх} \cdot k$, де $0 \leq k \leq 1$. Використовуючи такий підхід маємо, що одне плече змінюється від рівня освітленості, а друге – подає напругу на аналоговий вхід А0 до плати Arduino Uno. Таким чином в умовах темряви подається живлення на світлодіод. Поточні дані вихідної напруги ланцюга та її значення в люксах виводилися в «монітор порта» програмного середовища Arduino IDE. Показники освітленості були переведені в люкси, використовуючи один з мобільних додатків та отримана градувальна залежність. Даний метод не дає високої точності, але для розуміння принципів роботи його достатньо.

Алгоритм роботи програми лабораторного стенду наступний:
1. Визначаємо рівень сигналу з аналогового піна.
2. Порівнюємо $U_{вих}$ (залежить від опору фоторезистора) з граничним значенням – максимальне значення буде відповідати темряві, мінімальне – максимальній освітленості. Цифрове граничне значення вибираємо рівним 300 ($\sim 1,5$ В), в процесі тестування програми його корегуємо.
3. Якщо $U_{вих}$ менше граничного – темно, потрібно включати світлодіод, інакше – вимикаємо світлодіод. Для забезпечення плавного вмикання світлодіода застосовуємо широтно-імпульсну модуляцію, величина прогальності залежить від $U_{вих}$ та перераховується функцією $\text{map}()$.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми №0117U003925.

Ultrasonic scalpel as an electronic system of surgical influence on biological tissues

Lukavenko I.M., *Candidate of Medical Sciences*;
Andrienko D.O., *Student*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Ultrasound surgery is a modern field of experimental and clinical surgery. The principle of operation of the ultrasonic scalpel in the frequency working range from 22 to 60 kHz is based on the ultrasonic waves properties at a considerable intensity (several hundred W/cm²) to destroy the objects with simultaneous penetration into the depth of living tissues without damaging them. The use of ultrasound energy allows for atraumatic dissection of tissues and hemostasis with minimal adverse effect on the tissue. The work purpose was to analyze and describe the clinical use of ultrasonic scalpel in surgery.

Due to the high-frequency oscillation ultrasonic scalpel has 3 effects on biological tissue [1]: dissection, coagulation and cavitation. Cavitation is caused by the formation of gas bubbles at body temperature due to the rapid change in tissue volume and intracellular fluid under vibration. Cavitation is caused by the formation of gas bubbles at body temperature due to the rapid change in tissue volume and intracellular fluid under vibration. The influence of ultrasound oscillations leads to fragmentation of proteins, which causes the adhesion of collagen molecules at low temperature, that is the coaptation occurs at temperatures (37-63)°C. Under the local influence of the energy of the ultrasound wave for a long time, the temperature rise leads to protein denaturation - coagulation, at a maximum temperature of 150°C.

The principle of operation of the ultrasonic scalpel «HARMONIC ETHICON ENDO-SURGERY» (Germany) is based on the transformation of electrical energy of the generator into mechanical energy, due to the piezoceramic elements in the element handle. High-frequency mechanical vibrations are transmitted to the blade of the nozzle, resulting in the tip of the working nozzle moves in exactly one parallel direction at a frequency 55 kHz.

The ultrasonic scalpel consists of an ultrasound generator, a piezoceramic transducer (Fig.1) and a wide range of instruments for open and minimally invasive surgery. The device allows for very precise manipulation in a confined space and the safe selection of anatomical structures near vital organs.

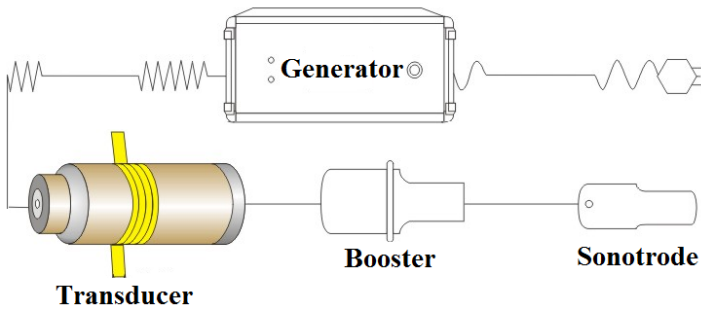


Fig.1 – Constructive scheme of the ultrasonic scalpel

Ultrasound reduces the degree of charring and drying of the tissues, and the absence of fume provides good visualization. Minimal thermal tissue damage within a radius of not more than 50 μm from the contact area accelerates the repair period by reducing the frequency of adhesions and scarring in the postoperative period.

With high-frequency vibration due to the combined action of tension and pressure, there is a rapid stretching of the tissues, which are easily crossed by a sharp blade of a piezoceramic ultrasound scalpel converter. Electric energy produced by a high-frequency generator is converted into mechanical energy by a piezoelectric scalpel system. The displacement of the blade of the nozzle in length can be from 25 to 100 μm and is regulated by changing the generator power. There are 5 levels of blade motion amplitude change. Thus, the power of the device depends on the blade movement amplitude, its sharpness (geometry), the degree of tissue density, the pressure et al. The device is actuated by using the foot pedal or by a manual actuator.

The ultrasound method is effectively used in the treatment of benign breast tumors, in which the ultrasound surgical influence on the soft tissue occurs at a constant speed near 0.9 mm/s.

1. I.M. Lukavenko, V.V. Andryushchenko, O.V. Yazykov, *J. Nano-Electron. Phys.* **11** No 3, 03008 (2019).

Методика вимірювання робочих характеристик світловипромінюючих діодів

Лободюк О.С., зав. навч. лаб.; Пушкар С.О., студент;
Скубак Р.М., студент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Світловипромінювальний діод (СД) – малоінерційні напівпровідникові джерела випромінювання, які працюють при прямій нарузі. По мірі зростання щільності струму через р-п-перехід електрони і дірки інжектується в заборонену зону, збільшується концентрація дірок і електронів, які можуть рекомбінувати з випромінюванням. Колір світіння СД залежить від хімічного складу напівпровідника. На відміну від ламп розжарювання класичні СД випромінюють світло певної довжини хвилі і в певному напрямі. Світлодіоди були розвинені до лазерних діодів, які функціонують на тому ж принципі, але направлено випромінюють когерентне світло.

Для побудови вольт-амперних характеристик (ВАХ) світлодіодів різного кольору світіння були проведені вимірювання напруги при зміні прямого струму від 0 до 4 мА на лабораторному стенді, до схеми якого входять: світлодіоди різних типів; вузол комутації, виконаний на перемикачах; вимірювальні прилади (мультиметри типу DT-830A); змінний резистор типу ППБ-1А з опором 2,2 кОм; імпульсне джерело живлення на базі Push-down генератора з напругою до 10 В.

З використанням розробленого лабораторного стенду проведені дослідження параметрів і робочих характеристик СД різних типоміналів. До основних характеристик СД відносяться такі: яркісна, світлова, спектральна, вольт-амперна характеристики; діаграма напрямленості випромінювання, яка визначається конструкцією світлодіода, наявністю лінзи і її розташуванням.

Узагальнення результатів вимірювань вольт-амперних характеристик світлодіодів показує, що при зростанні напруги від 2,0 до 3,0 В величина прямого струму експоненціально зростає від 0 до 5,78 – 6,50 мА (СД зеленого, білого, блакитного і синього кольорів світіння) та від 0 до 2,72 мА (СД червоного кольору світіння).

Керівник: Однодворець Л.В., д.ф.-м.н., професор

Вимірювання параметрів діодних оптопар

Баранов О.О., студент; Козін І.Д., студент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Оптрон - напівпровідниковий прилад, в якому конструктивно об'єднані джерело та приймач випромінювання, пов'язані між собою оптичним зв'язком. У джерелі випромінювання електричні сигнали перетворюються в світлові, які діють на фотоприймач та створюють у ньому знову ж електричні сигнали. Якщо оптрон має тільки один випромінювач та один приймач випромінювання, то його називають оптопарою. Як елемент електричного кола оптопара описується чотирма групами параметрів або характеристик: вхідними (номінальній струм і напруга, ємність); вихідними (максимально припустимі пряма і зворотна напруги, залишкова напруга, вихідна ємність); передаточними (коефіцієнт передачі струму $k_1 = I_{\text{вих}}/I_{\text{вх}}$, час зростання вихідного струму, швидкодія оптрона t); параметрами, що характеризують ізоляцію (опір ізоляції і прохідна ємність). Мета роботи полягала у освоєнні методики вимірювання робочих параметрів і характеристик діодних оптопар.

Для визначення коефіцієнта передачі струму k був застосований лабораторний стенд на основі діодної оптопари АОД101Б, в якій джерело випромінювання – світлодіод на основі GaAs і Al, а приймач випромінювання – Si фотодіод. Оптопари такого типу призначені для гальванічної розв'язки електричних ланцюгів між якими здійснюється інформаційний зв'язок. Граничними експлуатаційними даними оптопари є: вхідний постійний струм – 20 мА; вхідний імпульсний струм при $\tau_i = 100$ мкс – 100 мА; вхідна зворотна напруга – 3,5 В; вихідна зворотна напруга – 100 В. Лабораторний стенд складався із оптопари, джерела живлення, з'єднаного послідовно з резистором змінного опору та міліамперметра.

Результати експериментальних вимірювань показали, що коефіцієнт передачі діодних оптопар має величину $k = 0,6 - 0,9 \%$ при зміні величини вхідного струму $\Delta I = 0 - 20$ мА. Максимальне значення коефіцієнту передачі спостерігалось при величині вхідного струму 7,5 мА.

Керівник: Однорець Л.В., *д.ф.-м.н., професор*

Розрахунок параметрів волоконно-оптичних систем передачі інформації

Гончаренко О.М., *магістрант*; Толстіков Д.І., *магістрант*;
Однодворець Л.В., *д.ф.-м.н., професор*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Область можливих застосувань волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) досить широка – від лінії міських та сільських ліній зв'язку та бортових комплексів (літаки, ракети, кораблі) до систем зв'язку на великі відстані з високою інформаційною ємністю [1]. На основі ВОЛЗ розвивається єдина інтегральна мережа багатоцільового призначення. Оптиковолоконні системи широко застосовуються в системах передачі сигналів. Вони забезпечують високу якість зображення і суттєво розширюють можливості інформаційного обслуговування абонентів. Мета роботи полягала у вивченні конструктивно-технічних характеристик ВОЛЗ та впливу зовнішніх фізичних полів на робочі параметри ліній.

Показано, що сучасна транспортна система передачі даних має гнучку модульну структуру і широкі перспективи в галузі інформаційних технологій і послуг. ВОЛЗ за своїми характеристиками перевершують усі традиційні системи передачі сигналів. Оптиковолоконні лінії мають ряд переваг: оптичне волокно не проводить електрику, ультрафіолетові та інфрачервоні промені; має здатність проводити великі світлові потоки при мінімальному діаметрі кабелю; джерело світла знаходиться на відстані від місця світіння; можливість контролю зміну кольору або світло ефектів; мале споживання енергії; великий термін експлуатації кабелю.

Проведені розрахунки параметрів ВОЛЗ і заземлюючих пристроїв на основі оптичного кабелю марки ОКЛ-3ДА3-3x4E-0,40/3,5-0,3/19-12/0. Установлено, що опір заземлювачів для лінії довжиною 200 км становить 102 Ом (для вертикального) і 55 Ом (для горизонтального); ймовірність пошкодження оптичного кабелю блискавкою 3,4 – 4,0% залежно від наявності і кількості металевих елементів; радіус іскрової зони не перевищує 1,75 м.

1. В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, *Волоконно-оптичні системи передачі: навч. посібник* (Вінниця: ВНТУ, 2005).

Оптоелектронні та голографічні системи запису і зберігання інформації

Шкарупа Т.В., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

До перспективних оптичних технологій, що застосовуються в комп'ютерній техніці потрібно віднести флуоресцентні диски та голографічну систему запису та зберігання інформації. Використання флуоресценції для зчитування інформації з цифрових оптичних дисків дозволяє виключити з їх конструкції відбиваючі шари. До переваг флуоресцентних дисків можна віднести багат шаровість запису інформації (до 300 шарів), некогерентність випромінювання, мінімалізація розсіяного світла. Також є можливість використання форматів сумісних з DVD. Існують як серійні зразки, так і експериментальні. На сьогоднішній день успішно застосовуються флуоресцентні багат шарові диски типу HyperCDROM, FMD та DMD (до 100 ГБ). Вже проходять тестування 300-шарові диски FMD ємністю до 1 ТБ.

Пошук нових можливостей збільшення інформаційної щільності запису і швидкості вибірки інформації ведеться зараз багатьма ІТ-компаніями у декількох напрямках, в тому числі і в області голографії. Голографічний принцип запису полягає в реєстрації одночасно об'єктної і опорної хвиль. Реєстрація інтерференційної картини двох променів в об'ємі фоточутливого шару голографічного оптичного диску, що приводить до запису голограми. Об'єм диску становить до 1 ТБ, а щільність запису до 515 Гбіт/дюйм². До недоліків такої системи зберігання даних потрібно віднести високу вартість диску та приводу для зчитування інформації.

Як матеріал для робочого шару диску використовується двокомпонентна полімерна плівкова система. Один із її компонентів формує сітку, в якій розчинений інший світлочутливий компонент. Під дією світла він полімеризується, внаслідок чого виникає градієнт концентрації неполімеризованого компонента та формується структура структури зі змінним коефіцієнтом відбивання, що і забезпечує перенесення записаної інформації.

Керівник: Шабельник Ю.М., к.ф.-м.н.

Вивчення роботи електронних аналогових фільтрів 1-го порядку засобами моделювання в LabVIEW

Вітренко А.М., старший викладач; Коробов Є.А., студент;
Кругляк М.В., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Електронні фільтри – це схеми, які пропускають сигнали бажаних частот і послабляють інші сигнали. Вони містяться в будь-яких електронних системах: блоках живлення, акустичних системах, мобільних телефонах, пристроях накопичення інформації, системах широкосмугового доступу до інтернету тощо. Розрізняють фільтри аналогові й цифрові, активні й пасивні. Аналогові пасивні фільтри складаються з резисторів, конденсаторів та індукторів. Мета даної роботи – створити в LabVIEW віртуальний стенд для навчальних досліджень роботи аналогових пасивних фільтрів, що містять єдиний реактивний компонент (ємнісний або індуктивний).

Розглядаються послідовні RC- або LR-кола, з'єднані з джерелом постійної або змінної напруги. Для моделювання фізичних процесів в них використовується звичайне диференціальне рівняння 1-го порядку для відгуку кола $x(t)$ – миттєвої напруги на конденсаторі або миттєвої сили струму в індукторі. Диференціальне рівняння чисельно розв'язується різницевим методом Ейлера. Для його реалізації в LabVIEW застосовуються цикл For Loop, структури Feedback Node та відповідні арифметичні функції. Лицьова панель стенда містить: графічний індикатор XY Graphs для відображення графіків напруги або сили струму; елементи керування Numeric Control, Pointer Slide для задання параметрів електричних кіл, зовнішніх джерел і різницевого рівняння; принципові електричні схеми для наочності.

Створений віртуальний стенд дозволяє досліджувати: перехідні процеси – заряджання і розряджання конденсатора, замикання і розмикання котушки індуктивності; проходження гармонічних сигналів через фільтри низьких і високих частот. Отримані результати добре узгоджуються з аналітичними розрахунками. Отже, стенд можна використовувати як електронний засіб навчального призначення (інтерактивну демонстрацію, віртуальну лабораторну роботу). В цьому полягає актуальність і практична цінність даної роботи.

Оптоволоконні бронхоскопи: конструктивні особливості та застосування в отоларингології

Хижня Я.В., *к. мед. н., доцент*; Євченко Д.В., *студент*;
Рудика О.М., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Бронхоскопія – це метод безпосереднього візуального дослідження голосового апарату (гортані) та дихальних шляхів за допомогою зонду з оптичною системою (бронхоскоп).

Основними елементами конструкції оптоволоконних гнучких бронхоскопів (Рис.1) є: тонка гнучка трубка з довжиною робочої частини 60–80 см і діаметром 3–4 мм, рукоятка управління, тубус з внутрішніми каналами. Гнучкий бронхоскоп підключається до відеопроцесора та джерела світла через роз'єм світловода. Таким чином здійснюється передача світлового потоку через оптоволокно до дистальної частини приладу, а відбувається подача або відведення рідини через канали аспірації або подачі повітря і води.

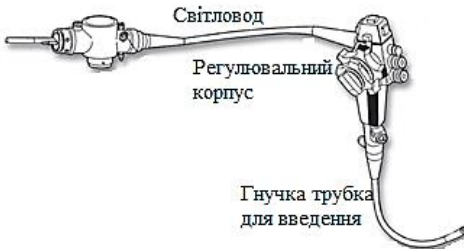


Рис.1 – Конструкція гнучкого бронхоскопу

На корпусі управління розташовані програмовані кнопки, рукоятки поворотів кутів нахилу дистального кінця. З рукоятки виходить тубус, усередині якого розташовані інструментальні канали для забезпечення доступу інструментів для виконання різних медичних процедур.

Переваги застосування в отоларингології оптоволоконних бронхоскопів полягають у наступному: обстеження і маніпуляції проводяться під місцевим знеболенням, хворий в свідомості; метод має меншу травматичність у порівнянні з жорстким бронхоскопом; прилад може проникати навіть в нижні відділи бронхіального дерева; широко застосовується в педіатричній практиці і має найменшу кількість ускладнень.

Венозний сканер для візуалізації кровоносних судин

Хижня Я.В., *к.мед.н., доцент*; Ромась О.А., *студент*;
Біда Ю.О., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Венозний сканер (веноскоп) – електронна система, яка застосовується для пункції периферичних кровоносних судин. Кільцева форма головки з відкритим контуром забезпечує додаткову фіксацію вен. Невелика вага і зручна рукоятка дозволяють легко маніпулювати приладом при ін'єкції або заборі крові.

Основний конструктивний елемент приладу – освітлювальна система (Рис.1) на основі 24 світловипромінюючих діодів (СД) нового покоління: 12 СД висококонтрастного оранжевого кольору і 12 СД темно-червоного кольору. Світлодіоди різного спектру можуть працювати окремо і разом. Помаранчеві діоди використовують для виявлення поверхневих вен, червоні - для глибоких вен і темних типів шкіри. Комбіноване використання світлодіодів різного кольору дають можливість досягти оптимальної візуалізації кровоносної судини незалежно від віку пацієнта, статі та кольору шкіри.

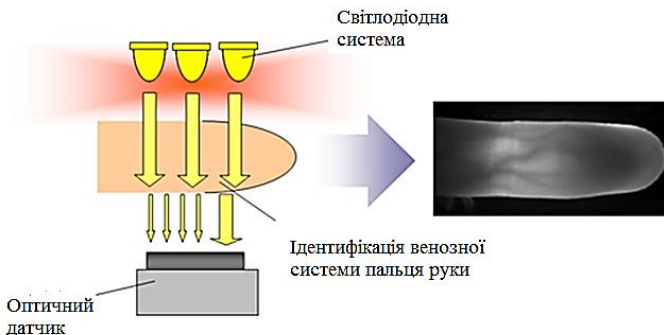


Рис.1 – Схема роботи венозного сканера

Загальна комплектація приладу: основний блок веноскопа з вбудованим акумулятором; двохкольорова світлодіодна система; зарядний пристрій; 50 одноразових захисних покриттів; захисний ковпачок та педіатричний адаптер.

Діодні лазери: принципи функціонування, застосування в медицині та електроніці

Лукавенко І.М., к.мед.н.; Однодворець Л.В., д.ф.-м.н.
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Діодний лазер – сучасний напівпровідниковий лазер на основі матриць з лазерних діодів, який випромінює світло певної довжини хвилі. Коефіцієнт корисної дії діодного лазера є одним з найвищих і становить до 30%. Введення світла здійснюється з використанням лазерного діода як джерела випромінювання уздовж осі сердечника оптоволокна. Принцип функціонування лазерних діодів заснований на трьох фізичних процесах, зумовлених переходами носіїв: поглинанням, спонтанною емісією і стимульованим випромінюванням. Конструктивно лазерний діод складається з двох напівпровідникових пластин з різними типами провідності, які стикаються одна з одною. Пропускання електричного струму в прямому напрямку стимулює переміщення електронів з пластини n в область p , де електрони зіштовхуються з атомами і вивільняють фотони. Цей процес йде лавиноподібно до тих пір, поки не сформується лазерний промінь.

Лазерні діоди мають дві конструктивних відмінності: розташування випромінюючого елемента в керуючій рукоятці, а не в самому пристрої, що забезпечує мінімальні втрати енергії і не потребує використання системи дзеркал або світловодів для доставки випромінювання, та високі робочі струми накачування, що дозволяє при перевищенні порогового значення струму $I = 30\text{--}250$ мА, отримати режим індукованого випромінювання з високою когерентністю (ширина спектра лазерного діода $\Delta\lambda_1 = 1\text{--}2$ нм порівняно із світлодіодом $\Delta\lambda_2 = 30\text{--}50$ нм).

Діодні лазери знайшли широке застосування в електроніці (оптичні пристрої зберігання даних, лазерні принтери і факси, зчитувачі штрих-кодів та ін.) і медицині (діагностичні прилади, терапевтичні та хірургічні інструменти, у т.ч. лазерні скальпелі).

Дія лазерного скальпеля заснована на тому, що енергія монохроматичного когерентного світлового пучка різко підвищує температуру на обмеженій ділянці живої тканини і призводить до її миттєвого згоряння і випаровування. Тепловий вплив на навколишні тканини при цьому поширюється на дуже невелику відстань, оскільки діаметр сфокусованого пучка становить 0,01 мм. Під впливом

лазерного випромінювання також відбувається вибухове руйнування тканини та миттєвий перехід тканинної рідини в газоподібний стан.

При температурі понад 43°C відбувається денатурація білкових молекул і термічна коагуляція тканини; при $T > 100^{\circ}\text{C}$ починається випаровування води; при $T > 300^{\circ}\text{C}$ – горіння з виділенням продуктів згоряння і осадженням їх на поверхні кратера. Руйнування тканини шляхом формування кратера, отвору або розрізу називається абляцією, а умови, при яких вона відбувається, – абляційним режимом роботи лазера. При низькій потужності випромінювання і короткочасній експозиції нагрівання тканини відносно невелике і відбувається лише її коагуляція (субабляційний режим роботи лазера). Лазерне випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 980\text{--}1064$ нм може проникати у тканину на глибину до 7 мм. На рис. 1 наведена залежність глибини розрізу м'якої тканини від діаметру лазерного променя (лазерний скальпель «Ліка-хірург»). Отримано, що зменшенні діаметру променя від 0,6 до 0,1 мм глибина проникнення зростає від 0,2 до 3,0 мм.

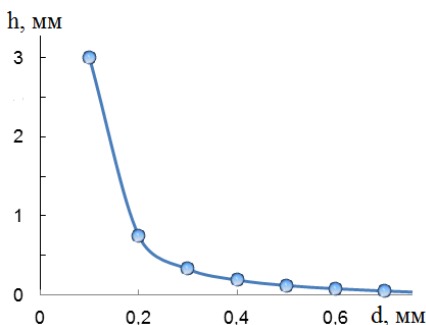


Рис.1 – Залежність глибини розрізу м'якої тканини від діаметру лазерного променя для скальпеля «Ліка-хірург» при часі опромінення 5 с

До переваг діодних лазерів в амбулаторній хірургії можна віднести [1]: безконтактність і безкровність методу; загоєння ран без утворення рубців; мінімум або відсутність больових ефектів як під час операції, так і в післяопераційний період; швидкі терміни загоєння; висока стерильність; виражений ефект коагуляції та мінімальне руйнування прилеглих тканин.

1. I.M. Lukavenko, *J. Nano- Electron. Phys.* **12** No 1, 01014 (2020).

Рентгенофлуоресцентна спектроскопія для МАВ-аналізу

Гребеник Л.І., *к.б.н., доцент*; Денисенко А.П., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Рентгенофлуоресцентна спектроскопія – це один з сучасних експресних методів елементного аналізу рідких та твердофазних зразків, який базується на отриманні рентгенофлуоресцентних (РФ) спектрів після дії на зразок рентгенівського випромінювання.

В сучасних спектрометрах для рентгенофлуоресцентного аналізу (РФА) джерелом первинного рентгенівського випромінювання, яке забезпечує збудження атомів зразка, є рентгенівська трубка. Наприклад, у спектрометрі Elvax light (Україна) використовується родієва трубка з номінальним режимом: 40 кВ, 0,4 мА, потужністю до 4 Вт.

Для визначення окремих елементів використовують різні сили струму та напруги у трубці. Для легких елементів достатнім є напруга в межах 10 – 12 кВ, для середніх – 20–30 кВ, для важких – 40–60 кВ. Прилади для РФА містять джерело рентгенівських променів, тримач зразків та спектрометр (рис.1). Спектрометр вимірює довжину хвилі (або енергію) та інтенсивність флуоресцентного випромінювання. Реєстрація спектрів відбувається за допомогою спеціального детектора, спектральна роздільна здатність якого суттєво впливає на якість детекції окремих елементів.

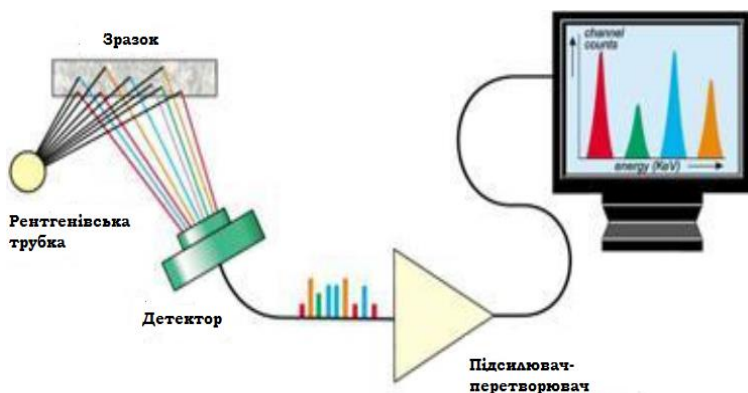


Рисунок 1 – Принципова схема РФ-аналізатора

Мультиелементний аналіз волосся (МАН-аналіз) – це дослідження волосся на вміст макро- та мікроелементів. Він використовується для оцінки акумуляції окремих елементів в організмі людини за певний проміжок часу. Відомо, що концентрація мінералів у волоссі корелює з їх вмістом у тканинах всього організму. На рис. 2 зображена послідовність етапів МАН-аналізу з використанням РФА.

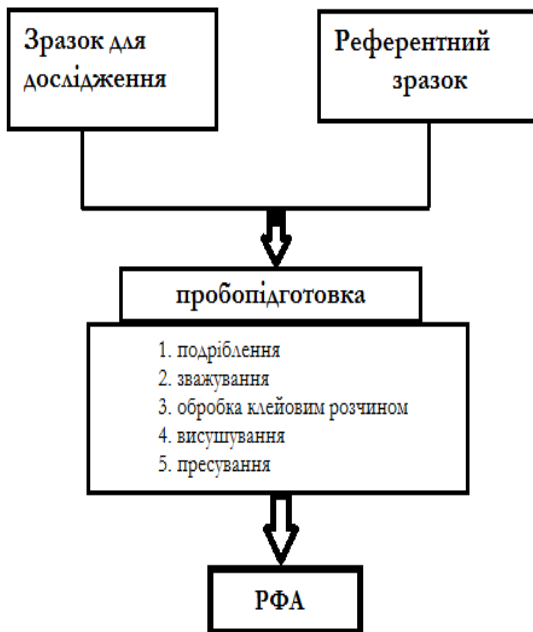


Рисунок 2 – Алгоритм дослідження зразка волосся на кількісний вміст окремих елементів з використанням РФА

Результати МАН-аналізу використовують з діагностичною метою для експрес оцінки вмісту окремих мінералів в організмі людини та для моніторингу корекції порушень мінерального обміну в процесі лікування.

Використання інформаційної електронної системи наукової технічної бібліотеки в закладі вищої освіти

Іваськів Р.Р., *аспірант*

Українська академія друкарства, м. Львів, Україна

Використання комп'ютеризованої системи адміністрування освітнього простору SmartAcademy дозволяє збільшити продуктивність навчання, а також надає можливість забезпечити зв'язок між студентом та викладачем у випадку неможливості вербального спілкування. Основною складовою системи є база студентів закладу вищої освіти, де містяться відомості такі як прізвище, ім'я, спеціальність навчання та дані про студентське посвідчення студента. Завдяки цим даним формується персональний кабінет студента. В персональному кабінеті розміщується інформація про спеціальність студента, розклад занять та план занять кожної дисципліни, слухачем яких є цей студент в поточному семестрі. Також у студента є доступ бібліотечних фондів з використовуючи інтеграцію в SmartAcademy модулів бібліотечної системи *KIBiC*, а саме *KIBiC.catalog* та *KIBiC.terminal* для пошуку та перегляду бібліотечних фондів відповідно. Для забезпечення студента та викладача інформацією про дисципліну, семестру початку семестру (року) здійснюється занесення такої інформації про предмет як кількість годин та план кожного заняття дисципліни зі списком літератури та джерел необхідних для підготовки до заняття. Використовуючи цю інформацію стає можливим формування розкладу та розподілу занять по навчальних аудиторіях закладів вищої освіти, з наступним формуванням відповідних особистих розкладів студента, викладача, аудиторії. Забезпечення спілкування викладача, студента та академічної групи здійснюється з використанням підсистеми чатів, яка забезпечує авторизоване, ізольоване та захищене надсилання результатів виконання реперних точок.

Таким чином, використання системи адміністрування освітнього простору SmartAcademy дозволяє забезпечити можливості дистанційного навчання, пришвидшити обмін інформацією між викладачем та студентом, зменшити паперовий документообіг.

Керівник: Нерода Т.В., *к.т.н., доцент*

Використання формули Байеса задля вирішення доцільності вибраного виду спорту за психофізичним аналізом

Ізмалков О.М., *аспірант*

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
м. Дніпро, Україна

У сучасному житті велика кількість людей стикаються з проблемою правильного вибору виду спорту. Вирішення цієї проблеми вимагає тривалих психофізичних досліджень, які займають багато часу та потребують фінансових витрат. Мета роботи полягала у можливості використання формули Байеса для вирішення доцільності вибраного виду спорту за психофізичним аналізом людини.

Для вирішення необхідно класифікувати види спорту за психологічними і фізичними якостями (індикаторами).

Класифікація видів спорту за психологічними особливостями:

- контактні види спорту. Основний їх функціонал полягає в конкуренції. Основна мета - перемогти опонента і добитися переможного результату, вираження в голах, очках, балах (B11).

- види спорту, виражає необхідність перемогти опонентів через важкість деталей та рухів, розраховується в балах. Бали призначаються відповідно до типу спорту. Такі види є художніми (B12).

- види спорту, де результат отримується в кількісному еквіваленті, вимірюється в кілометрах, та секундах. Такі види є рекордні (B13).

Класифікація видів спорту за фізичними особливостями:

1. Швидкісні силові види, такі де основною метою є максимальна потужність та інтенсивність тренувань (плавання, спринт, і т. п.) (TL1).

2. Види спорту які поділяються на витривалість циклічного характеру, (напівмарафон, марафон, довгі дистанції т. п.) (TL2).

3. Види спорту які поділяються на координацію рухів за добре спланованою програмою (акробатика, гімнастика, аеробіка) (TL3).

4. Види спорту які поділяються на координацію рухів змінної фізичної активності такі як (кікбоксинг, дзюдо, карате) (TL4)

У першу чергу необхідно виділити основні фізичними і психологічними індикатори, що приведені вище. Позначимо психологічні індикатори B_{ik} , а фізичні T_{ij} , де k, j - порядковий номер

індикаторів. Далі необхідно побудувати графічну модель, тому що її простіше інтерпретувати (рис. 1)

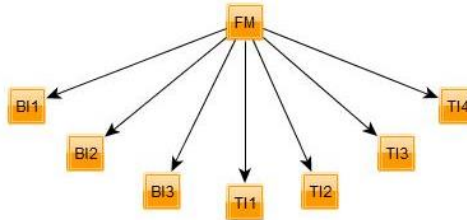


Рисунок 1 – Мережа Байеса для вирішення доцільності обраного виду спорту

На рисунку 1 вершині FM відповідає апріорне значення ймовірності доцільності обраного виду спорту та відповідність індикаторам. Індикатори умовно залежні один від одного, але між собою не пов'язані. Така побудова мережі називається простим дивергентним з'єднанням. Передбачається, що всі індикатори при такому способі побудови умовно незалежні між собою, але в реальності це не так.

Припустимо, що спостерігались тільки контактні види спорту (BI1) та швидкісні силові види (TI1). Значить, значення змінних:

$$\begin{aligned}
 BI1 &= TI1 = True \\
 BI2 &= BI3 = TI2 = TI3 = TI4 = False
 \end{aligned}$$

Тоді ймовірність доцільності обраного виду спорту обчислюється за співвідношенням:

$$\begin{aligned}
 &P(FM | BI1, \dots, BI3, TI1, \dots, TI4) = \\
 &= \frac{P(BI1 | FM) * \dots * P(BI3 | FM) * P(TI1 | FM) * \dots * P(TI4 | FM) * P(FM)}{\sum_{i,j=1}^{i=3,j=4} P(BIi | FM) * P(TIj | FM) * P(FM) + \sum_{i,j=1}^{i=3,j=4} P(BIi | \overline{FM}) * P(TIj | \overline{FM}) * P(\overline{FM})}
 \end{aligned}$$

У роботі представлений метод вирішення доцільності обраного виду спорту із застосуванням мереж Байеса. Розроблена навчальна математична модель на основі байєсівської мережі для вирішення доцільності обраного виду спорту. У подальших дослідженнях буде реалізований метод із застосуванням сучасних інструментів моделювання, а також проведений аналіз інших математичних методів придатних для вирішення поставленого завдання, і оцінка результатів їх застосування.

Структурно-фазовий стан плівок на основі фулериту і металів

Мартиненко І.М., *аспірант*; Шумакова Н.І., *к.ф.-м.н., доцент*;
Однорець Л.В., *д.ф.-м.н., професор*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Фулерени – одна з алотропних модифікацій карбону, сучасні функціональні матеріали електроніки з унікальними фізико-хімічними, механічними, електричними та оптичними властивостями у плівковому стані [1]. Мета даної роботи полягала у дослідженні структурно-фазового стану тонких плівок фулериту, сконденсованих на плівки Cu або Ni, отриманих на вуглецевих підкладках, та електрофізичних властивостей при конденсації на ситалові підкладки.

Конденсація фулеренів проводилась термічним методом: в тигель додавали сажу із вмістом фулерену, над нею фіксовано розміщували плівки Cu/C або Ni/C, а тигель нагрівали в діапазоні температур 600-700°C у вакуумі 10^{-4} Па протягом 40 хвилин. Після подальшого підвищення температури до 900°C конденсували фулерени.

Аналіз кристалічної структури і фазового складу проводився з використанням електронного мікроскопу високої розрізняювальної здатності ПЕМ-125К. Установлено, що у плівках $C_{60}(70)/Cu(15)/C$ (в дужках-товщина в Å) після відпалювання спостерігається збільшення параметра решітки від $a_1 = 3,657$ Å (осадження) до $a_2 = 3,695$ Å (після відпалювання). Після осадження фулерену C_{60} і відпалювання протягом трьох циклів «нагрів ↔ охолодження» спостерігалися зміни фазового складу: утворення фази, що відповідає певній модифікації вуглецю з міжплощинними відстанями $d_{hkl} = 2,799$ і $2,444$ Å для плівкової системи $C_{60}(70)/Ni(15)/C$ і $d_{hkl} = 2,868$ і $2,507$ Å в $C_{60}(70)/Ni(35)/C$.

Установлено, що шар фулериту зменшує величину питомого опору двошарової плівки на основі C_{60} і Cu, що можна пояснити переходом вільних електронів із шару фулериту в плівку Cu. Залежність опору для систем на основі C_{60} і острівцевої плівки Ni має напівпровідниковий характер, що пов'язано інжекцією електронів з острівців Ni в фулеритову плівку.

1. І.Ю. Проценко, Н.І. Шумакова, *Наноматеріали і нанотехнології в електроніці: підручник* (Суми: СумДУ, 2017).

Властивості плівок германідів заліза як елементів сенсорної електроніки

Власенко О.В., асистент; Подопригора О.О., магістрант;
Однодворець Л.В., професор
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Для формування функціональних елементів електронних систем та інтегрованих мікросхем (ІМС) широке застосування знайшли плівкові сплави на основі металів і напівпровідників. Кристалічні решітки Ge і GaAs (матеріал підкладок ІМС) мають кубічну гранецентровану структуру типу алмазу і близькі параметри (0,5658 і 0,5653 нм, відповідно), що дає можливість в ІМС сформувати структури метал/GaAs/Ge або метал/Ge/GaAs польових транзисторів та детекторів.

Двокомпонентні плівки на основі Fe і Ge представляють собою низькоентропійні системи (ентропія змішування $\Delta S_{зм} = 5,7$ Дж/моль·К), що може сприяти активним дифузійним процесам атомів і, як наслідок, стабілізації різних фаз германідів заліза. У даній роботі наведені результати досліджень термо- і магніторезистивних властивостей однієї з таких фаз FeGe_x ($1 \leq x < 2$). Товщина зразків складала 30 – 80 нм.

При формуванні плівкових елементів методом пошарової конденсації з подальшою термообробкою в інтервалі температур 300 – 900 К утворюються стабільні магнітні фази германідів металу. У дво- та тришарових плівках на основі Fe і Ge у вихідному стані після відпалювання відбувається формування германідів заліза із феромагнітними властивостями по усьому об'єму зразка [1]. Установлено, що плівки FeGe_x мають високу температурну стабільність (термічний коефіцієнт опору ТКО = $(5,5 - 6,4) \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, а максимальні значення магнітоопору 0,32 – 0,50 % спостерігаються при загальній концентрації атомів Ge від 55 до 65 ат.%).

Робота виконана в рамках держбюджетної тематики №0118U003580 (2018-2020 рр.).

1. О.В. Власенко, Л.В. Однодворець, І.Ю. Проценко, *Металлофиз. новейшие технол.* **35** № 12, 1637 (2013).

Розмірний ефект в електрофізичних властивостях елементів електронних систем на основі пермалою та срібла

Шуляренко Д.О., *аспірант*; Пилипенко О.В., *к.ф.-м.н.*;
Ромась О.В., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Сучасний етап розвитку електроніки та сенсорної техніки характеризується тим, що потенціал традиційних напівпровідникових технологій фактично вичерпаний. У зв'язку з цим активно ведуться пошуки інноваційних підходів формування елементної бази стимулює перехід до нанорозмірного рівня виробництва електронних пристроїв.

Мета роботи полягала у дослідженні розмірного ефекту в електрофізичних властивостях нанорозмірних структур на основі феромагнітного сплаву пермалою $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ та срібла.

Формування тонкоплівкових зразків проводилося методом одночасного електронно-променевого випаровування з двох незалежних джерел за кімнатної температури у камері вакуумної установки ВУП-5М за тиску 10^{-4} Па. Швидкість конденсації становила 0,1 нм/с. Отримана серія зразків з концентрацією атомів срібла $c(\text{Ag}) = 60$ ат.% товщиною від 20 до 100 нм. Термообробку плівок проводили у вакуумній камері в автоматичному режимі протягом двох термостабілізаційних циклів у температурному в інтервалі 300-500 К.

На основі експериментальних даних побудовані температурні залежності питомого опору $\rho(T)$ та температурного коефіцієнту опору $\beta(T)$. Величина β розраховувалася за співвідношенням $\beta = (1/\rho_n)(\Delta\rho/\Delta T)$, де ρ_n – початкове значення питомого опору, $\Delta T = 5$ К. Аналіз отриманих залежностей, показав, що незалежно від товщини зразків, характер залежностей $\rho(T)$ та $\beta(T)$ є типовим для металевих плівок, при цьому $\rho \sim 10^{-7}$ Ом·м, а $\beta \sim 10^{-3}$ К⁻¹. Зростання загальної товщини зразків від 20 до 100 нм призводить до зменшення величини питомого опору в декілька разів та збільшення температурного коефіцієнту опору в два рази.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0119U100777.

Керівник: Пазуха І.М., *к.ф.-м.н., доцент*

Розмірні та температурні ефекти в магніторезистивних властивостях плівкових елементів електроніки на основі пермалою та срібла

Шуляренко Д.О., *аспірант*; Пилипенко О.В., *к.ф.-м.н.*;
Овруцький М.С., *магістрант*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Теоретичні та експериментальні дослідження явища гігантського магнітоопору (ГМО) у металевих композитах показали, що наявність багатодомених феромагнітних наночастинок відіграє негативну роль у його реалізації, тоді як суперпарамагнітні наночастинок – ключову. При цьому немає певної монотонної залежності між розмірами наночастинок та величиною ефекту. Для кожної конкретної системи, в якій реалізується ГМО, максимальне значення ефекту фіксується при певному середньому розмірі магнітних наночастинок за даної температури обробки.

Розмірна залежність величини магнітоопору була отримана для плівкових систем на основі пермалою та срібла, отриманих методом одночасної конденсації, товщиною від 20 до 100 нм. Вибір композиції обумовлений тим, що згідно наших попередніх досліджень [1], при $c_{Ag} \cong 60$ ат. % в таких плівках фіксується максимальне значення ізотропного магніторезистивного ефекту. Після конденсації при кімнатній температурі, зразки проходили термообробку при 500 та 700 К. Дослідження магніторезистивних властивостей проводилося у повздовжній, поперечній та перпендикулярній геометріях. Величина магнітоопору розраховувалася за співвідношенням: $MR = (R(B) - R(B_0))/R(B_0)$, де $R(B)$ та $R(B_0)$ – величини опору зразка у магнітному полі з індукціями B та B_0 відповідно. Показано, що збільшення температури відпалювання впливає не тільки на амплітуду магніторезистивного ефекту, але й на характер розмірних залежностей магнітоопору.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0119U100777.

Керівник: Пазуха І.М., *к.ф.-м.н., доцент*

1. I.M. Pazukha, D.O. Shuliarenko, O.V. Pylypenko, L.V. Odnodvoretz,
J. Magn. Magn. Mater. **485**, 89 (2019).

СЕКЦІЯ 5

«Електронні системи, прилади і засоби кодування інформації»

IPS та IDS системи як інструмент захисту корпоративних мереж

Коник В.М., студент; Д'яченко О.В., старший викладач;

Протасова Т.О., старший викладач

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Чим більше цифрової інформації збирається і чим частіше вона використовується, тим важливішим стає її захист. Антивірусні програми і брандмауери ефективні лише для захисту очевидних місць доступу до мереж. Однак зловмисники здатні знаходити шляхи обходу і вразливі сервіси навіть в найдосконаліших системах безпеки. Тому, на сьогодні, системи запобігання та виявлення вторгнень (IPS / IDS, Intrusion prevention system / Intrusion detection system) необхідний елемент захисту від мережевих атак. Головне призначення цих систем – виявлення прецедентів несанкціонованого доступу в корпоративну мережу і прийняття належних заходів протидії до хакерських атак в режимі реального часу. Це може допомогти зменшити наслідки атаки або навіть зупинити її.

Всі існуючі сьогодні системи запобігання та виявлення вторгнень об'єднані кількома загальними властивостями, функціями і завданнями. Такі інструменти за фактом здійснюють безперервний аналіз експлуатації певних ресурсів і виявляють будь-які ознаки нетипових подій.

IDS системи виконують такі функції як збір і зберігання інформації, оповіщення адміністраторів мереж про зміни, що відбулися та створення звітів для підсумовування записів. Технологія IPS в свою чергу здатна не тільки визначити загрозу і її джерело, а й здійснити їх блокування. Але крім очевидних переваг ці системи мають свої недоліки. Наприклад, IPS не завжди може точно визначити інцидент або помилково прийняти за інцидент нормальну поведінку трафіка.

Існують різні методики виявлення хакерських атак за допомогою технологій IPS такі як: виявлення проникнення в систему, засноване на сигнатурах, виявлення атаки по аномальній поведінці трафіку в мережі. Згідно функціональним особливостям, IDS і IPS – потужні інструменти, які здатні провести аналіз складових інформаційної мережі, вчасно і адекватно зреагувати на результат такого пошуку. Технологія рекомендована до впровадження у великих і середніх корпоративних мережах для забезпечення безпеки даних та клієнтів організації, а відповідно і її репутації та економічної стабільності.

Фотолюмінесцентні дослідження плівок $Zn_{1-x}Mg_xO$ нанесених спреї-піролізом

Шкиря Ю. І.¹, студент; Д'яченко О. В.¹, старший викладач;
Опанасюк А. С.¹, професор; Čerškus A.², старший науковий
спіробітник

¹Сумський державний університет, Суми, Україна

²Центр фізичних наук і технологій, Вільнюс, Литва

Оксидні матеріали набувають все більшого застосування в найрізноманітніших галузях електроніки, а саме прозорій електроніці, оптоелектроніці, фотоніці, п'єзо- та магнітоелектроніці, спінтроніці, термоелектриці, геліоенергетиці, тощо

Твердий розчин $Zn_{1-x}Mg_xO$ є перспективним матеріалом для створення віконних шарів до тонкоплівкових сонячних елементів на основі поглинальних шарів SnS, CZTS та перовскитів. Зміна концентрації магнію в розчині дозволяє варіювати його період ґратки, роботу виходу електрона та ширину забороненої зони від значень, характерних для ZnO до значень, що має MgO, оптимізуючи при цьому границю розділу гетеропереходу. Оскільки радіуси іонів Zn^{2+} (0,060 нм) та Mg^{2+} (0,057 нм) дуже близькі, то магній легко може бути включений в елементарну комірку ZnO без істотних структурних деформацій матеріалу.

Плівки $Zn_{1-x}Mg_xO$ з $x = 0; 0,1; 0,2; 0,3$ були одержані методом пульсуючого спреї-піролізу з початкових прекурсорів хлориду магнію ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) та хлориду цинку ($ZnCl_2$) з концентрацією 0,1 М при температурі підкладки $T_s = 400$ °С.

Фотолюмінесцентні (ФЛ) дослідження проводились у широкому діапазоні температур - від рідкого гелію до кімнатної. Досліджувалися також процеси релаксації випромінювання. Використовувалося збудження зразків HeCd лазером ($\lambda=325$ нм) та твердотільним лазером з діодною накачкою ($\lambda=325$ нм).

На спектрах ФЛ спостерігалось два піки, інтенсивний основний в районі енергії 3,4 еВ та слабка і широка смуга в області (2,4-2,5) еВ. Встановлено, що широкий основний пік є сумою екситонної, міжзонної рекомбінації та рекомбінації зона-дефект. Слабкий пік пов'язаний з рекомбінацією носіїв на глибоких дефектах матеріалу.

Автоматичний програмно-керований інкубатор

Шаповалов О.І., студент; Волобуєв В.В., студент;
Колесник М.М., доцент; Опанасюк А.С., професор
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Інкубатори для штучного виведення поголів'я пташиного потомства широко використовуються не тільки на великих птахівничих комплексах, але і в домашніх умовах. На даний час на ринку існують різні моделі побутових інкубаторів. Всі вони поділяються на два типи: інкубатори з ручним та автоматизованим керуванням. Перевага використання таких приладів полягає у можливості виведення пташенят в будь-яку пору року в домашніх умовах. До таких інкубаторів висувається ряд вимог, це: компактність, економічність, простота в експлуатації та можливість інкубації яєць різних видів птахів. Однак більшість запропонованих моделей не враховує усіх необхідних вимог, або є дуже високовартісними.

Найбільш ефективним способом абсолютного виконання вказаних вимог є повна автоматизація процесу виведення пташенят. До цієї автоматизації слід віднести точну систему контролю температури, автоматичну систему контролю вологості та циркуляції повітря, автоматичну систему перевертання яєць, тощо.

В роботі викладені результати створення автоматичного програмно керованого інкубатора з системою контролю режимів роботи та виведенням інформації та попереджень на екран або мобільний телефон. В процесі роботи були розроблені структурна та функціональна схеми автоматичного інкубатора, підібрана та обґрунтована елементна база, підібрані оптимальні інкубаційні системи. Також вибрані оптимальні інкубаційні системи, а саме: ніхромові спіралі в якості нагрівачів, ультразвукові зволожувачі для підтримки необхідного рівня вологи, розроблені ефективні вентиляційна система та система зміни геометричного положення яйця.

В якості контролера вирішено використовувати STM 32, для написання робочої програми мову програмування C++, а для розробки друкованої плати sprint layout 6.0 Такий підбір компонентів системи керування дозволив значно розширити її можливості у порівнянні з іншими системами та звести до мінімуму втручання користувача в роботу інкубатора.

Побудова спеціалізованих біноміальних процесорів

Шевченко М.С., *аспірант*; Адамов Р.А., *студент*;

Кулик І.А., *доцент*

Сумський державний університет, м. Суми

Характерною особливістю біноміальних систем числення є те, що вага цифр біноміальних чисел залежить не тільки від розміщення цієї цифри в їх розрядній сітці, але ще й від значень цифр, які їй передують. Така складність визначення кількісних еквівалентів біноміальних чисел призводить до серйозних перешкод у розробці біноміальної арифметики. На сьогоднішній день немає жодних обчислювальних методів та алгоритмів обробки із застосуванням двійкових біноміальних чисел, окрім підсумовування або віднімання на одиницю. Цей факт дещо знижує цінність біноміальних систем числення, стає перепоною для розвитку нових інформаційних технологій обробки даних на основі біноміальних систем чисел і відповідно побудови спеціалізованих біноміальних пристроїв.

Однією з основних арифметичних операцій є складання чисел, оскільки з нього виводяться усі інші арифметичні операції. Підхід до розробки біноміальної арифметики, зокрема складання двійкових біноміальних чисел, базується на:

1) представленні вагових коефіцієнтів у вигляді упорядкованих кортежів (α_i, Δ_i) , компоненти яких відповідають верхньому $\alpha_i = k - q_i$ та нижньому $\Delta_i = \beta_i - \alpha_i$ параметрам біноміального коефіцієнту $C_{\beta_i}^{\alpha_i}$, де $\beta_i = n - i$;

2) подальшому матричному представленні двійкових біноміальних чисел, над якими виконуються операції складання;

3) матричній моделі процесу виконання підсумовування, в якій обчислювання біноміальних коефіцієнтів замінюється набагато простішими операціями над значеннями їх параметрів α_i і β_i .

Підхід до реалізації складання двійкових біноміальних чисел, що розглядається, дозволяє розробляти працездатні й досить ефективні алгоритми підсумовування чисел, а вже на їх основі будувати спеціалізовані біноміальні процесори по обробці даних.

Охоронний пристрій з каналом GSM

Новгородцев А.І., *доцент*; Гапич В.М., *асистент*;

Кулик О.І., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Основним призначенням сигналізації, є оперативне попередження власників майна про спроби проникнення на об'єкт, який знаходиться під охороною. При організації каналів передачі сигналів про стан об'єктів систем охоронної сигналізації, особливо популярним є стандарт передачі даних GSM (глобальна система мобільного зв'язку). Він визнаний найбільш надійним в засобах телекомунікації і зв'язку.

По GSM каналу організовується не лише телефонний зв'язок, але й інформаційно-керуючий процес між системами та їх користувачами. Віддалене керування системами охорони об'єктів та режимами їх роботи, можливе за допомогою SMS-повідомлень і DTMF-сигналів. Охоронний пристрій з використанням GSM формує голосові повідомлення про спробу несанкційного проникнення на об'єкт, а також повідомлення за запитом про його стан.

Основними вузлами пристрою є мікроконтролер, запам'ятовуючий пристрій та мобільний телефон застарілої моделі. При формуванні сигналу тривоги для власника об'єкта, використовується принцип швидкого набору телефонного номеру. Для цього необхідно запрограмувати номер власника на будь-яку кнопку телефону системи сигналізації.

Мікроконтролер аналізує стан датчиків і видає команди механізмам, керує доступом до пам'яті голосових повідомлень та виконує набір телефонного номеру. При спрацюванні одного із датчиків, сигналізатор формує сигнали виклику на телефон власника і голосове повідомлення про подію, що відбулася. Виклик буде повторюватися до моменту отримання зворотного виклику від власника про підтвердження повідомлення. Якщо через 5 хвилин після отримання підтвердження датчик залишається зведеним, пристрій здійснить повторний виклик. Після дзвінка, пристрій увімкне сирену.

Контактний зварювальний пристрій ударного типу

Новгородцев А.І., доцент; Євтушенко О.Ю., студент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Контактне зварювання тонких металів полягає у поєднанні нагріву місця стику, сильним електричним струмом з додатковим механічним тиском на металеві поверхні. Одним з видів контактного зварювання є зварювання з використанням конденсаторної батареї. Її принцип дії заснований на розряді електричного заряду накопиченого у конденсаторах на місце з'єднання виробів, які потрібно з'єднати.

У точці дотику електродів відбувається розряд та формування електричної дуги достатньої для розплавлення металу товщиною від 0,1 до 5,0 мм. Перевагою такого з'єднання є висока щільність енергії та мала тривалість імпульсу. Тому зона термічного впливу дуже мала і деформація металу мінімальна. З моменту розряду, конденсаторний блок відключений від мережі живлення.

Зварювання конденсаторного типу буває контактне, ударне і точкове. Недоліком контактного та точкового зварювання є відсутність можливості управління тривалістю імпульсу розряду конденсаторів.

Перевагу має ударне зварювання. При ударному зварюванні розряд відбувається у момент короткого удару електрода по виробу. Тривалість дії дуги 1,5мс, а це знижує термічний вплив на заготовку. У пристрої ударного типу, розряд блоку конденсаторів, відбувається через блок силових ключів на потужних польових транзисторах. Це дає можливість отримати задану тривалість імпульсу зварювання та його потужність.

Миттєву комутацію транзисторів забезпечує спеціальний драйвер силових ключів, керований ШІМ контролером. Блок управління пристрою має певну кількість блоків, кожен з яких має своє функціональне призначення.

Перетворювач напруги знижує напругу до напруги заряду батареї конденсаторів. Блок заряду батареї, регулює струм заряду конденсаторів. Компаратор порівнює опорну напругу з напругою на батареї і видає команду у блок заряду. Логічний блок відповідає за кількість і тривалість імпульсів розряду.

Квазіоптимальна фільтрація детермінованих сигналів

Кашук О.О., студент; Кобяков О.М., доцент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Точна реалізація узгодженого фільтра є складною, а подекуди невіршеною задачею. Отже, можна вибрати відносний вузький клас фізично і знайти в рамках цього класу такі значення параметрів фільтра, які забезпечують максимальне відношення «сигнал/шум» на виході. Вибраний указаним методом фільтр називається квазіоптимальним.

Розглянемо приклад – синтез квазіоптимального фільтру трикутного імпульсу і запишемо відношення «сигнал/шум» для такого імпульсу:

$$C/Ш_{\text{вих}} = \sqrt{\frac{U^2 T}{3W_0}} \sqrt{\frac{6\tau}{T}} \left(1 - \frac{\tau}{T} (1 - e^{-r/\tau})\right), \quad (1)$$

Із формули випливає, що перший множник являє собою відношення «сигнал/шум», а друга частина формули характеризує програвш квазіоптимального фільтра щодо оптимального.

Запишемо цю функцію: $f(x) = \sqrt{6x} (1 - x(1 - e^{-1/x}))$.

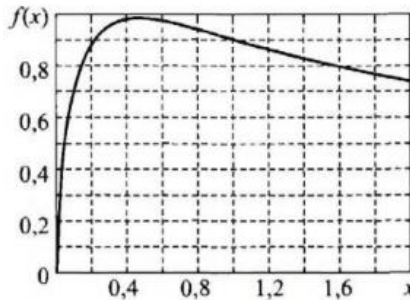


Рисунок 2 – Графік відношення x до $f(x)$.

Для висновку зазначимо, що такий малий програвш узгодженого фільтру в наведених прикладах був одержаний лише для простої форми оброблюваних сигналів. Для складніших сигналів реалізувати квазіоптимальні фільтри у вигляді простих кіл та забезпечити при цьому малий програвш узгодженого фільтру не видаєтья можливим.

Особливості раманівських спектрів полікристалічних плівок $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, отриманих методом вакуумного термічного випаровування в квазізамкненому об'ємі

Знаменщиков Я.В., *старший викладач*;

Погуляй О.Р., *студент гр. ЕС-71*;

Колесник М.М., *доцент*; Опанасюк А.С., *професор*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У роботі вивчені особливості раманівських спектрів товстих полікристалічних плівок твердого розчину $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ (CZT), отриманих шляхом випаровування суміші шихти CdTe та ZnTe у квазізамкненому об'ємі при зміні складу у широкому діапазоні значень від $x = 0,06$ до $x = 0,68$. Додатково з метою встановлення кристалічної якості зразків проводилось вивчення їх морфології поверхні та структурних характеристик.

Структурні дослідження показали, що плівки нанесені при $T_e = 973$ К, $T_s = 673$ К були однофазними та містили кубічну фазу CZT, а фазовий склад при зміні концентрації цинку не змінювався. З мікроструктурних досліджень було встановлено, що залежність кристалічної якості плівок CZT від концентрації цинку має параболічний характер.

Для досягнення резонансного підсилення інтенсивності мод фонних коливань вимірювання раманівських спектрів проводилося при резонансних умовах, коли енергія кванта збуджуючого лазерного випромінювання є дещо більшою, ніж ширина забороненої зони досліджуваного матеріалу. Раманівські спектри мали характерну для твердих розчинів CZT двомодову поведінку і включали моди поздовжніх (LO) та поперечних (TO) коливань CdTe та ZnTe .

За результатами раманівських досліджень для полікристалічних плівок CZT в широкому діапазоні зміни x було вивчено залежність положення мод фонних коливань від концентрації цинку. Отримана залежність в загальному випадку корелює з теорією оптичних фонних коливань для CZT, проте виявлені деякі відмінності в положенні мод в порівнянні з монокристалами, що може бути спричинено впливом мікронапружень кристалічної ґратки в полікристалічних плівках CZT.

Резонатор поверхневої електромагнітної хвилі на надрозмірній діелектричній підкладці

Малишев В.Ю., асистент; Щарашидзе Д.Д., студент;
Прокопенко О.В., професор
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
м. Київ, Україна

Резонатори поверхневої електромагнітної хвилі (РПЕХ) є достатньо новим класом мікрохвильових резонансних систем [1], що мають значні перспективи використання у приладах і пристроях мікрохвильового та/або терагерцового діапазону [1, 2].

Типовий РПЕХ являє собою плоску провідну поверхню до якої може бути приєднано один або два діелектричних шари. Властивості РПЕХ добре вивчені, коли латеральні розміри резонатора та латеральні розміри діелектричних шарів співпадають [1, 2]. У цій роботі розглянуто інший випадок, коли латеральні розміри резонатора є меншими за латеральні розміри діелектричної підкладки, тобто підкладка є надрозмірною по відношенню до резонатора.

У роботі використовувався РПЕХ на основі алюмінієвої плівки з розмірами $l \times w \times d$, де l – довжина резонатора, w – його ширина, а $d = 20$ мкм – товщина плівки, причому $l, w \gg d$. Плівка розташовувалась у центрі поверхні підкладки з ситалу ($\epsilon = 9,8$) з довжиною L , шириною W та товщиною $D = 0,5$ мм. Для досліджених систем виконувалась умова: $l < L$ або $w < W$.

Для збудження коливань у РПЕХ він розташовувався по центру стандартного прямокутного хвилеводу 3-см діапазону довжин хвиль на пінопластовій вставці так, що площа плівки резонатора була паралельно осі хвилеводу і нахилена на малий кут $10^\circ - 15^\circ$ по відношенню до широких стінок хвилеводу, щоб забезпечити оптимальний зв'язок між резонатором та електричним полем хвилі H_{10} прямокутного хвилеводу. Відповідно ширина резонатора w характеризувала його розмір вздовж осі хвилеводу, а довжина l – розмір у площині поперечного перерізу хвилеводу. Плівка резонатора не торкалась стінок хвилеводу, тому резонатор був півхвильовим.

На рис. 1 (а) та 1 (б) представлені типові залежності резонансних частот f_0 РПЕХ на надрозмірній підкладці від його довжини l та ширини w . Видно, що в області частот приблизно 8–12 ГГц

спостерігаються декілька мод коливань, які зручно розділити на дві групи: поперечні моди, частота яких f_0 сильно залежить від l і слабо від w , та поздовжні моди, для яких спостерігається сильна залежність f_0 від w і слабка від l .

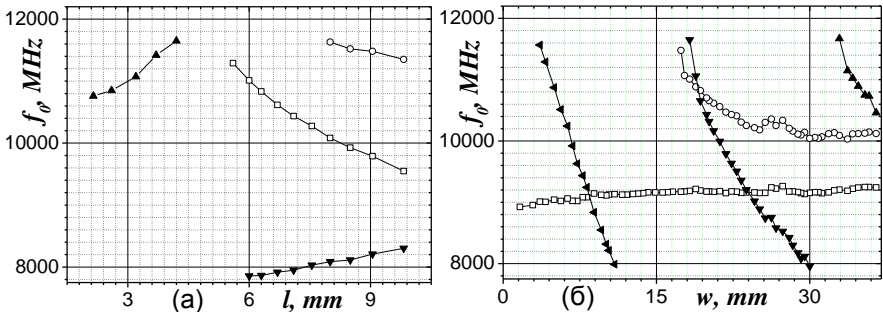


Рисунок 1 – Залежність резонансних частот РПЕХ на надрозмірній діелектричній підкладці ($29,7 \times 9,82 \times 0,5 \text{ мм}^3$) від його довжини l (а) та ($36,5 \times 10,4 \times 0,5 \text{ мм}^3$) від його ширини w (б): \square – перша поперечна мода, \circ – друга поперечна мода, \blacktriangleleft – перша поздовжня мода, \blacktriangledown – друга поздовжня мода, \blacktriangle – третя поздовжня мода коливань.

Отримані залежності резонансних частот РПЕХ від l , w демонструють значний вплив надрозмірної діелектричної підкладки на мікрохвильові властивості резонатора. Зокрема для деяких мод спостерігається порушення класичної резонансної залежності $f_0 \sim l^{-1}$, w^{-1} . Ця аномальна поведінка мод резонатора на надрозмірній діелектричній підкладці може бути пов'язана із суттєвим перерозподілом електромагнітного поля РПЕХ, або із трансформацією мод РПЕХ у моди діелектричної підкладки. Спостережені ефекти можуть бути використані для розробки новітніх мініатюрних приладів на основі РПЕХ.

Робота виконана за підтримки Міністерства освіти і науки України (бюджетні теми 18БФ052–01М та 19БФ052–01) та Національної академії наук України (грант 1Ф).

1. G. Melkov, Y. Egorov, et al., *J. Supercond.* **13**, 95 (2000).
2. V. Malyshev, G. Melkov, et al., *Fiz. Nizk. Temp.* **46**, 422 (2020).

Застосування узгоджених фільтрів

Яковлев Є.Т., студент; Кобяков О.М., доцент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Виділення сигналу із завад є однією з найважливіших задач, які необхідно вирішити при розробці практично будь-якої системи передачі інформації. Узгоджені фільтри служать для виділення сигналів відомої форми на фоні шумів.

Критерієм якості обробки може служити відношення «сигнал / шум», яке визначається як $\frac{C}{\sigma} = \frac{|S(t)|_{max}}{\sigma}$, де $|S(t)|_{max}$ - максимальне абсолютне значення сигналу, σ - середньоквадратичне значення шуму.

Потрібно знайти такий лінійний фільтр, що забезпечить в певний момент часу t_0 максимальне відношення «сигнал / шум» на виході: $\frac{C}{\sigma_{вих}} = \frac{|S_2(t)|_{max}}{\sigma_2} \rightarrow max$.

Детермінована складова вихідного сигналу фільтра в момент t_0 може бути розрахована за наступною формулою:

$S_2 t_0 = \int_{-\infty}^{\infty} S_1(\tau) h(t_0 - \tau) d\tau$, $h(t)$ - імпульсна характеристика. В якості моделі для $n_j(t)$, використовуємо білий шум, дисперсія якого нескінченно велика, тому $\sigma_{1 \rightarrow \infty}$ та $\frac{C}{\sigma_{вих}} = \frac{|S_1(t)|_{max}}{\sigma_1} \rightarrow 0$.

Для того щоб знайти вихідний відношення «сигнал / шум», необхідно попередньо визначити вид корисної вихідного сигналу. Тому на виході лінійної стаціонарної ланцюга з імпульсною характеристикою $h(t)$ визначається як: $S_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_1(t') h(t - t') dt'$

Сигнал, що отримується на виході узгодженого фільтра, порівнюється з деяким порогом, в разі перевищення порога приймається рішення про наявність корисного сигналу на вході. При використанні сигналів складної форми узгоджений фільтр реалізувати важко.

В цьому випадку можна використовувати пристрій, який називається корелятором. Він включає в себе перемножувач, на один вхід якого подається приймальний сигнал ($s(t) + n(t)$), а на іншій - сформований в приймальному пристрої опорний сигнал $s(t - \tau)$, форма якого повторює форму виявленого сигналу.

Перетворення двійкових чисел в фібоначчіві
Борисенко О.А., професор; Васильєв В.Р., студент;
Литвиненко А.М., студент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Сьогодні в телекомунікаційних системах використовується велика кількість різних завадостійких кодів, серед яких в силу своєї відносної простоти і можливості наскрізного контролю набув код Фібоначчі, який складається з фібоначчівих чисел. При цьому важливим завданням, необхідним для застосування коду Фібоначчі, є необхідність перетворення в нього двійкового коду. Це пов'язано з тим, що код Фібоначчі в багатьох випадках зв'язується з двійковими цифровими системами. Саме це завдання зв'язку двійкового коду з кодом Фібоначчі і вирішується в даній роботі.

Для вирішення цієї задачі пропонується використати Фібоначчі-восьмеричний код, який складається з послідовності 4-розрядних кодів²- сегментів, що містять по 8 фібоначчівих чисел. В результаті вони відносно легко переходять в 3-розрядні сегменти двійкових чисел. Це спрощує перетворення двійкових чисел в фібоначчіві числа і робить його більш швидкокодуючим і надійним.

Пропонований спосіб перетворення двійкового числа у фібоначчіві число полягає в наступному:

1. Двійкове число ділиться на сегменти, що складаються з 3 бітів, починаючи з нульового біта молодшого розряду і закінчуючи бітом старшого розряду. В результаті буде отримано двійково-вісімкове число.

2. Кожен двійковий сегмент перетворюється у відповідний сегмент фібоначчіві числа.

3. З фібоначчівих сегментів формується Фібоначчі-восьмеричне число і процедура перетворення двійкового числа у Фібоначчі-восьмеричне число закінчується.

Отримана послідовність сегментів Фібоначчі-восьмеричного числа послідовно зберігається в буферному пристрою і після цього передається по каналу зв'язку.

1. O. Borysenko, S. Matsenko, I. Kulyk, O. Matsenko, O. Berezhna, *Optimal synthesis of digital counters in the Fibonacci codes with the minimal form of representation* **82**, 4 (1996).

Оцінка меж стиснення на основі двійкових біноміальних чисел

Кулик І.А., доцент; Шевченко М.С., аспірант;
Северін Я.В., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Актуальним завданням є підвищення ефективності узагальненого методу стиснення інформації на основі двійкових біноміальних чисел за рахунок визначення меж раціонального застосування біноміальних чисел в залежності від довжини стиснутих комбінацій і змінного значення одиниць в них.

На основі проведеного аналізу було виявлено ряд переваг біноміального стиснення двійкової інформації на основі біноміальних чисел, основними з яких висока швидкість перетворення інформації і невеликий обсяг апаратно-програмних витрат при практичній реалізації. При цьому ступінь стиснення може бути досить високим. Знаходження меж стиснення α , β розраховується за формулою:

$$\alpha, \beta = \left| \frac{-n(\lambda + 2) \pm \sqrt{D}}{2(\lambda + 2)} \right|, \quad (1)$$

де n – кількість розрядів двійкової послідовності, що стискається;

$$\lambda = \lceil \log_2(n+1) \rceil; D = n^2(\lambda + 2)^2 - 4(\lambda + 2)(n - \lambda)(n + 1).$$

Межі α , β визначають область раціонального використання методу узагальненого стиснення на основі двійкових біноміальних чисел, що є важливим при стисненні двійкових послідовностей зі змінним числом одиниць. Врахування значень α і β при апаратній та/або програмній реалізації методу стиснення, що розглядається, дозволяє заощадити апаратно-програмні та часові ресурси на випадок обробки двійкових послідовностей, стиск яких не призводить до скорочення інформаційної надмірності.

Разом з обчисленими значеннями меж застосування методу стиснення на основі двійкових біноміальних чисел практичне значення має і виявлення мінімального значення довжини двійкових послідовностей, стиснення яких є доцільним.

Підвищення ефективності систем передачі даних на основі площинних кодів

Шевченко М.С., *аспірант*; Грахольська А.В., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Ефективність системи зв'язку визначається значною мірою забезпеченням високої вірності передачі даних. При цьому викликають науково-практичний інтерес такі методи збільшення вірності передачі, які не потребують, по-перше, суттєвих апаратно-програмних витрат при практичній реалізації, по-друге, розширюють функціональні можливості систем передачі щодо адаптації помилковиявляючої та корегувальної здатності застосованих кодів до рівня завад у каналі зв'язку. Досить перспективними з точки зору регулювання помилковиявляючої та корегувальної здатності та підвищення ефективності систем зв'язку при невеликій кількості витрат є площинні коди.

Кодуючі та декодуючі пристрої на основі площинних кодів досить легко можуть перебудовуватися в залежності від кількості помилок, які виникають у кодових послідовностях. Змінюючи число k контрольних розрядів, котрі охоплюють m інформаційних символів, можна вводити у систему передачі даних різні за рівнем помилковиявляючої та корегувальної здатності режими обміну інформацією, наприклад для каналів з низьким або високим рівнем завад. Залежність m інформаційних розрядів від k перевірочних досить проста і виглядає наступним чином $m = 1/2 \cdot k(k - 1)$.

Більш того, пропонується збільшити ефективність застосування площинних кодів, підсилити адаптивність систем передачі на їх основі за рахунок використання сумісно з площинним кодуванням інших завадостійких кодів, наприклад рівноважних, квазірівноважних і біноміальних кодів. Це ще більше підвищить вірність передачі даних, надасть можливість більш точно підлаштуватися під рівень завад у каналі зв'язку та розширить клас помилок, які виявляються. Крім того, враховуючи те, що у структурі рівноважних, квазірівноважних і біноміальних кодів містяться двійкові біноміальні числа, мається можливість додатково проводити обчислювальну обробку даних з метою їх оцінки, порівняння, сортування тощо.

Структура, субструктура та хімічний склад нанокристалів ZnO та плівки, нанесені на гнучкі підкладки

Єрмаков М.С., студент; Доброжан О.А., старший викладач
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У наш час напрямок, пов'язаний з розвитком пристроїв на основі гнучкої електроніки, що створюються за допомогою двовимірного друку, тривимірного друку та розпилювального друку, є досить актуальною темою досліджень. Таким чином, вже розроблені гнучкі сонячні батареї, термоелектричні генератори (охолоджувачі), різноманітні датчики. Перспективний матеріал для створення функціональних елементів мікроелектронних пристроїв надається напівпровідниковій сполуці ZnO, що має фізико-хімічні властивості, придатні для застосування у сонячних елементах, термоелектричних пристроях, датчиках.

Нанокристали ZnO були синтезовані методом поліола. Матеріал відбирали в різні моменти часу зростання нанокристалів: 30 хв, 60 хв, 120 хв, 180 хв. Чорнило для осадження плівки було розроблено шляхом диспергування 4 мл асинтезованих нанокристалів, вирощених протягом 120 хв в 6 мл дистильованої води. Плівки ZnO наносилися методом розпилення на підкладку, попередньо нагріту до 150 °С. Після осадження плівки ZnO відпалювали при температурі 200 - 400 °С на протягом 10 - 60 хв в атмосфері аргону. Вивчено морфологічні властивості нанокристалів і плівок за допомогою атомно-силового мікроскопа, трансмісійного електронного мікроскопа і скануючого електронного мікроскопа. Хімічний аналіз був проведений за допомогою енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії. Були вивчені структурні і субструктурні властивості матеріалів за допомогою дифракційного аналізу рентгенівських променів (XRD).

Було виявлено, що зростання нанокристалів переходить у режим дозрівання Оствальда на 120 хв. Плівки ZnO також були однофазними і містили нанокристали в органічній матриці зі зменшеним об'ємом при збільшенні температури і часу відпалу.

Таким чином, були отримані плівки ZnO на поліімідній підкладці розпиленням нанокристалів також було досліджено структурна і субструктурні властивості нанокристалів і плівок.

Генерування біноміальних чисел на основі властивості вкладеності

Кулик І.А., доцент; Писаний О.В., студент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Вкладеність біноміальних систем числення надає можливість розробляти широкий спектр методів та алгоритмів генерування різноманітних комбінаторних конфігурацій, що, у свою чергу, дозволяє реалізовувати на практиці адаптивні підходи до передачі або стиснення інформації на основі біноміальних чисел. Адаптивна зміна параметрів біноміальних систем числення і перехід к біноміальним числам меншої або більшої розмірності на основі властивості вкладеності може, наприклад забезпечити оптимальне значення співвідношення "вірність/швидкість передачі" у системах зв'язку.

Перехід до вкладених біноміальних систем числення можна здійснювати через двійкові біноміальні числа, які належать підкласам A'_r або B'_q вихідної (n', k') -біноміальної системи числення. В результаті виключення $x_{r'} = 1$ з (n', k') -двійкових біноміальних чисел $a'_i[r', l'] \in A'_r$ отримуємо множину $E'[r'-1, k']$ рівноважних комбінацій $e'_i[r'-1, k']$ з k' одиницями і довжини $r'-1$. Далі, до отриманих $e'_i[r'-1, k']$ застосуємо систему кодотворчих біноміальних обмежень $\psi: E'[r'-1, k'] \rightarrow \alpha''_l[n'', k'']$, де $\psi = \psi_A \vee \psi_B$, ψ_A – система обмежень, яка формує підкласи A_l і в цілому клас A , ψ_B – система обмежень, яка формує підкласи B_q і в цілому клас B . В підсумку переходимо до двійкових (n'', k'') -біноміальних чисел $a''_j[r'', l'']$ і $b''_j[r'', q'']$ вкладеної (n'', k'') -біноміальної системи виду $\alpha''_l[n'', k'']$.

Подібна послідовність кроків виконується і у випадку застосування B'_q і їх (n', k') -біноміальних чисел $b'_i[r', q'] \in B'_q$, у підсумку отримуючи біноміальні числа $a''_j[r'', l'']$ і $b''_j[r'', q'']$ вкладеної (n'', k'') -біноміальної системи числення виду $\beta''_q[n'', k'']$.

Завадостійкий біноміальний лічильник

Єрмаков М.В., студент; Писаний О.В., студент;
Борисенко О.А., професор

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Одним із найбільш поширених пристроїв в цифровій електроніці є лічильники. Вони важливі для неї тому, що входять практично у всі складні цифрові пристрої, які в процесі роботи повинні проходити через декілька станів. Особливо лічильники поширені в вимірювальній техніці, де вони складають її основу. Вимірювання частоти, часу, фаз не може проходити без застосування лічильників.

Не дивлячись на велику кількість розроблених схем лічильників повстало завдання створення нових типів лічильників, які б працювали без помилок при значних завадах. Лічильники, які працюють в звичайній двійковій системі числення, не можуть знаходити помилки в своїй роботі, тому що вони не мають заборонених станів. Це погіршує якість роботи цифрових пристроїв, де вони застосовуються.

Однак існують завадостійкі системи числення, такі як фібоначчівська і біноміальна з забороненими станами, де помилки в лічильниках, які працюють в них, можуть знаходитися і навіть в деяких випадках виправлятися. Вони дозволяють будувати завадостійкі лічильники, які можуть одночасно використовуватися як пристрої кодування, що дозволяє передавати результати лічби в завадостійкому вигляді. Також біноміальні лічильники дають можливість генерувати і перебирати комбінаторні конфігурації. Такі лічильники можливо використовувати в спеціалізованих перешкодостійких пристроях автоматики і телемеханіки в якості надійних розподільників імпульсів, перерахункових схем, таймерів і т. д..

Таким чином, біноміальні лічильники володіють важливими перевагами по відношенню до двійкових лічильників - завадостійкістю і багатofункціональністю, що надає їм досить велику перспективу в подальших розробках цифрової техніки і біноміальних контролерів.

Структурні, оптичні властивості та хімічний склад нанокристалів ZnO: Mg синтезованих поліольним процесом

Данильченко П.С., студент; Доброжан О.А., старший викладач
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В останні роки нанорозмірний оксид цинку (ZnO) набув великого поширення як матеріал електроніки завдяки своїм унікальними фізичними властивостями. ZnO – напівпровідник *n*-типу, який має велику ширину забороненої зони (~3.37 eV при 300 K) та енергію зв'язування екситону (~60 meV). Така увага приділяється до нанокристалічного ZnO завдяки їх здатності проявляти нові оптичні, електричні, хімічні та механічні властивості, у порівнянні з традиційними матеріалами електроніки.

Для регулювання оптичних та структурних властивостей використовують легуючий атом Mg. Магній відомий як малотоксичний та широко поширений в природі елемент. Окрім того, іони Mg не спотворюють кристалічної решітки, через близьке розташування у періодичній системі з атомами Zn.

Метою даної роботи було синтезувати ZnO нанокристали леговані Mg з концентраціями: 0,5, 1,0, 5,0, 10,0, 20,0 ат.%, використовуючи поліольний процес та дослідити морфологічні, структурні, оптичні властивості та хімічний склад синтезованих нанокристалів. Для підтвердження включення іонів Mg у кристалічну ґратку ZnO використовували рентгенівську дифракцію, просвічувальну та сканувальну електронну мікроскопію, енергетично-дисперсну рентгенівську, Раманівську та ІЧ-спектроскопію.

На основі рентгенологічного аналізу можна стверджувати, що нанокристали ZnO, леговані до 1 ат.% іонами Mg, мають одну фазу. Подальше збільшення концентрації Mg від 5 ат.% до 20 ат.% призводить до появи вторинної фази Mg(OH)₂ та високої флуктуації параметрів кристалічної ґратки ZnO. Нанокристали були збагачені киснем, а збільшення концентрації магнію привело до насичення легування 4 ат.%. Ширина забороненої зони становила $3,3 \pm 0,1$ eV.

Таким чином, синтезовані нанокристали ZnO леговані іонами Mg з концентрацією 5 ат.% володіють добрими оптичними, структурними властивостями та хімічним складом для використання у сонячних перетворювачах третього покоління.

Оцінка завадостійкості рівноважного кодування числових даних в телекомунікаційних системах

Борисенко О.А., *професор*; Бережна О.В., *доцент*;
Сиромля В.П. *студентка*; Безверщенко В.В., *студентка*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Одним з важливих завдань телекомунікаційних систем є забезпечення необхідної достовірності передачі інформації по каналах зв'язку із завадами. При передачі інформації з вимірювальних приладів обліку, наприклад кількості спожитої води, електроенергії, тощо, важливим фактором підвищення достовірності передачі є завадостійке кодування двійково-десяткових цифр, які знімаються з приладів.

В якості завадостійких кодів пропонується використовувати рівноважні коди, які характеризуються простотою апаратурної реалізації, високою швидкістю формування кодових комбінацій та досить високою завадостійкістю.

Однак, оцінка завадостійкості двійково-десяткових рівноважних кодів потребує подальших досліджень, які дозволять оцінити ефективність використання рівноважного кодування в телекомунікаційній системі передачі числових даних.

За допомогою математичної моделі визначення ймовірності виявлення помилок в рівноважних кодових комбінаціях побудована програмна модель та проведена оцінка завадостійкості двійково-десяткових рівноважних кодів для симетричного каналу зв'язку.

Дослідження показали, що застосування рівноважних кодів забезпечує визначені міжнародним стандартом ІЕС 870-5-1-95 вимоги класу достовірності ІІ у всьому діапазоні рівнів збою одного біту інформації. Вимоги класу І2 забезпечуються тільки до рівня ймовірності 10^{-3} . Застосування рівноважних кодів забезпечує необхідний рівень захисту вимірювальної інформації у відповідності до вимог стандарту ІЕС 870-5-1-95 при введенні мінімального рівня надлишковості у вимірювальну інформацію.

Отримані результати можуть бути застосовані в телекомунікаційних системах, які використовують десяткові цифри. В подальшому запропонована методика може бути використана і для оцінки завадостійкості рівноважного кодування текстової інформації.

«Третє око» для людей з вадами зору

Лізунов А.О., студент; Д'яченко О. В., старший викладач;
Протасова Т.О., старший викладач
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Деякі люди народжуються сліпими, а інколи можуть втратити зір протягом життя. Сліпі не можуть відчутти повноту життя. Існують певні методи, направлені на те, щоб покращити умови життя для таких людей. Наприклад, можливість придбати спеціально навченого пса або звичайну палицю, які дадуть змогу приблизно орієнтуватися в навколишньому просторі. Такі методи є достатньо дорогими, як у випадку з собакою, або ж недостатньо ефективними – у випадку з палицею. Палиця створює лише один додатковий вимір для людини. За допомогою технології «Третє око для людини» можна забезпечити п'ять або навіть шість додаткових вимірів. Дана технологія дає можливість орієнтування в просторі людям, які з певних обставин втратили зір.

Суть даної технології полягає в наступному: до різних частин тіла людини (наприклад, до плечей, колін та долоней) прикріплюються плати, на яких розташовані ультразвукові датчики відстані, пристрої для видачі звукових сигналів та вібраційні моторчики.

При невеликій відстані до певного об'єкта (предмета) вібраційний моторчик починає вібрувати з певною інтенсивністю. Чим меншою є відстань до предмета, тим інтенсивнішими будуть вібрації. Інтенсивність вібрацій та відстані, на котрі буде реагувати датчик можна запрограмувати для кожного індивідуально.

Для реалізації технології «Третє око» можна використати мікроконтролер Arduino Pro Mini. Для якого пишеться програма в середовищі розробки Arduino IDE та потім інтегрується на плату. В такому випадку складовими частинами технології є наступні деталі: плата Arduino Pro Mini, ультразвуковий датчик відстані, вібраційний моторчик, плата для розміщення деталей, кнопки для вмикання-вимикання пристрою, батарея на 3.3 В (для живлення модулю на руці), «мама» і «тато»-роз'єми, акумулятор та тканинні матеріали.

Це відносно дешева технологія яка може значно покращити умови життя людей з вадами зору та дещо зменшити їх залежність від оточуючих.

Створення прототипів сонячних елементів третього покоління з конструкцією $\text{ZnO}/n\text{-CdS}/p\text{-Cu}_2\text{ZnSnS}_4/\text{Mo}$

Гузенко О.І., *аспірант*; Пшеничний Р.М., *доцент*;
Єрмаков М.С., *студент*; Опанасюк А.С., *професор*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У наш час відбувається інтенсивний пошук нових матеріалів для використання у геліоенергетиці. Одним з таких матеріалів є сполука $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, складові якої широко розповсюджені у земній корі, є екологічно безпечними та мають малу собівартість видобутку.

Для нанесення шарів напівпровідникових сполук сьогодні використовуються різноманітні фізичні та хімічні методи. Одним з найбільш перспективних хімічних методів нанесення плівок металів та напівпровідників вважається метод 2D та 3D друку чорнилами на основі суспензії наночастинок.

Метою роботи було відпрацювання методики нанесення плівок сполук ZnO , CdS , $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ методом 3D друку та створення прототипу сонячного елемента (СЕ) третього покоління з конструкцією $\text{ZnO}/n\text{-CdS}/p\text{-Cu}_2\text{ZnSnS}_4/\text{Mo}$. Для цього нами попередньо синтезувалися наночастинки вказаних напівпровідникових матеріалів та створювалися чорнила шляхом їх диспергування у екологічно безпечній суміші вода-спирт-гліколь-полівінілпіролідон. Після цього проводився друк плівок та багат шарових структур. Знімок прототипа СЕ надрукованого на молібденовій підкладці наведено на рисунку 1.

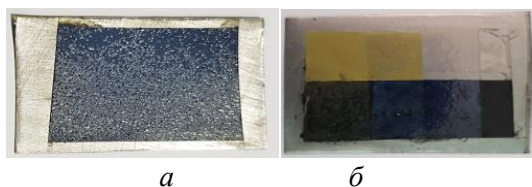


Рисунок 1 – Напівпровідникові структури на основі ZnO , $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$, CdS на молібденовій підкладці (а), та наглядний приклад послідовного нанесення шарів різних структур (б)

У цей час проводяться дослідження морфологічних, електричних та фізичних характеристик одержаних зразків.

Газочутливий елемент детектора, створений методом друку з використанням наночорнил Ag та ZnO

Гузенко О.І., аспірант; Кахерський С.І., аспірант;
Доброжан О.А., старший викладач; Опанасюк А.С., професор
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В наш час 2D та 3D друк розглядаються як перспективні та дешеві методи одержання предметів побуту і промисловості, а останнім часом електронних приладів і їх компонент. Так цим методом, використовуючи чорнила на основі суспензій наночастинок, можна спростити процес створення елементів гнучкої та прозорої електроніки, сенсорики та геліоенергетики. Для цього нами були створені недорогі чорнила, на основі металевих (Ag) та напівпровідників (ZnO) наночастинок, а також шляхом модифікації екструдера модернізований 3D принтер для друку плівок наночорнилами. Після цього ми отримали можливість наносити плівки провідних та напівпровідникових матеріалів на різні типи підкладок.

Один з найважливіших напрямків в газовому аналізі - контроль токсичних неорганічних газів: NO_x , H_2S , NH_3 тощо. Основні вимоги, що висуваються для створеного газового детектору, полягають в його низькій вартості, малих розмірах, простоті та надійності конструкції, зворотності реакції на газ, швидкодії, сумісності з електронними схемами контролю, температурній та часовій стабільності. При нагріванні плівки оксиду їх поверхня починає адсорбувати атоми газу, стає зарядженою, внаслідок чого зменшується провідність чутливого елемента. Прототип такого газочутливого елемента детектора створений друком наночорнилами ZnO наведений на рис. 1. В якості контактів до цього елемента використані контакти зі срібла.



Рисунок 1 – Прототип газового детектора, отриманий методом друку з використанням чорнил Ag та ZnO

A numerical simulation of CuO-based solar cells

Ivashchenko M.M., *Senior Lecturer*; Diachenko O.V., *Assistant*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

In recent years a widening usage of oxide materials in optoelectronics, solar energetics, etc. is observed [1]. Effect of Mg isovalent impurity doping the MgO allows the controlling the physical properties of obtained $Zn_{1-x}Mg_xO$ (ZMO) solid solution [2]. Copper oxide (Cu_xO) is a perspective photovoltaics material. In general, to design the solar cells (SC) there are used two phases of this compound – CuO and Cu_2O . The main advantages of oxide-based third-generation SCs are atmosphere stability, non-toxic nature and low-cost fabrication [2].

The further possibility of improving the photo-conversion efficiency connected to optimization the physical and technological conditions of the SC layers obtaining, such as: absorber, window, conduction layers thicknesses, operation temperature, impurities concentration, etc. These conditions formed the aim of this study – the numerical simulation of Al:ZnO/ZMO/CuO SCs working parameters (open-circuit voltage U_{oc} , short-circuit current density J_{sc} , fill-factor FF , efficiency η) as a function of the layers thicknesses, operation temperature and Mg concentration in ZMO window layer.

Simulation procedure performed using SCAPS package. This software allows simulating the physical processes in devices that consists until 7 different layers and their interfaces.

As a result of the numerical simulation there were determined the optimal solar cells layers fabrication parameters, which provide their maximal solar energy conversion efficiency. These working parameters are: $d_{CuO} = 8 \mu m$, $d_{ZMO} = 25 nm$, $d_{Al:ZnO} = 25 nm$, $T = 290 K$, $x(Mg) = 0.3$. Taking into account the previous data, the optimal working characteristics of simulated phot converters are: $U_{oc} = 0.90 V$, $J_{sc} = 34.95 mA/cm^2$, $FF = 76.46 \%$, $\eta = 23.89$. Simulated results allow to conclude that both photo converters have a possibility of usage in solar energy applications.

1. C. Ravi Dhas, D. Alexander, et al., *Asian J. Appl. Sci.* **7**, 671 (2014).
2. T. Maryuyama, *Sol. Energ. Mat. Sol. C.* **56**, 85 (1998).

Вплив складу сполуки CZTSSe на величину оптичних втрат у сонячних елементах на основі гетеропереходів *n*-ІТО(ZnO)/*n*-CdS/*p*-CZTSSe

Волобуєв В.В., студент; Кахерський С.І., аспірант;
Доброжан О.А., старший викладач; Опанасюк А.С., професор
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У наш час для перетворення сонячної енергії у електричну в основному використовуються сонячні елементи (СЕ), що базуються на кремнієвих технологіях (перше покоління СЕ), однак останні роки все частіше почали застосовуватися тонкоплівкові фотоперетворювачі (ФЕП) на основі гетеропереходів (ГП) з поглинальними шарами GaAs, InP, CdTe, $\text{CuIn}_{1-y}\text{Ga}_y\text{Se}_2$ (CIGS), які відносяться до другого покоління таких приладів. Для цих ФЕП сьогодні одержаний ККД, що сягає 21,0% (CdTe), 23,4% (CIGS), 24,2% (InP) та 29,1% (GaAs), при максимально можливій ефективності (30-34)%. Однак, такі недоліки як висока вартість In, Ga та Te, токсичність Cd, дають поштовх до пошуку альтернативних матеріалів поглинальних шарів ФЕП.

Як поглинальні шари СЕ третього покоління у наш час запропоновані такі матеріали як $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS), $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (CZTSe) $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_{4-y}\text{Se}_y$ (CZTSSe). Великою перевагою цих сполук є відсутність у складі рідкісних і екологічно небезпечних компонентів. Навпаки, елементи, що входять до їх складу, широко поширені у земній корі, а вартість їх видобутку відносно невисока. Окрім цього змінюючи концентрацію сірки та селену у *p*-тикомпонентній сполуці CZTSSe можна змінювати ширину забороненої зони цього матеріалу точно підлаштовуючи його до максимуму ККД ФЕП Шоклі-Квайзера.

Метою даного дослідження було визначення, шляхом моделювання, оптичних втрат на границях розділу і в об'ємі допоміжних шарів СЕ в залежності від складу поглинального шару CZTSSe в приладі зі структурою *n*-ІТО(ZnO)/*n*-CdS/*p*-CZTSSe/тильний контакт та оптимізація його конструкції.

Визначені оптичні втрати в ФЕП з поглинальними шарами з $y = 0, 0,30, 0,48, 0,67, 0,82, 1$, які за теоретичними розрахунками мають максимальне ККД при освітленні в умовах AM1,5D, AM1,5G, AM0. Аналіз одержаних результатів свідчить, що зі збільшенням вмісту селену в сполуці оптичні втрати збільшуються від 7,56 % до 8,51 %.

Синтез наночастинок сполук CZTS, CZTSe для створення чорнил для друку гнучкої електроніки

Шаповалов О.І., студент; Кахерський С.І., аспірант;
Пшеничний Р.М., доцент; Опанасюк Н.М., доцент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У наш час все активніше розвивається напрямок пов'язаний із створенням приладів електроніки з використанням дво- та тривимірного друку, що дозволяє суттєво спростити процедуру їх одержання та суттєво знизити вартість. Для такого друку у наш час розробляються наночорнила (nanoinks), що містять суспензію наночастинок (НЧ) металів або напівпровідників. Важливою науковою і технологічною задачею при цьому є синтез НЧ різних матеріалів з контрольованими характеристиками та розробка на їх основі стабільних колоїдних розчинів з необхідною в'язкістю і поверхневим натягом, що можуть бути використані як чорнила.

В представленій роботі з метою подальшого синтезу п'ятикомпонентної сполуки CZTSSe, проведена оптимізація процесу синтезу НЧ CZTS, CZTSe, досліджені їх морфологічні та деякі структурні характеристики в залежності від часу синтезу.

НЧ CZTS та CZTSe були одержані методом поліольного синтезу в атмосфері інертного газу аргону. Як середовище для синтезу використовували діетиленгліколь (DEG). В процесі синтезу були одержані НЧ з інтервалом часу витримки при температурі реакційного середовища $\tau = 0, 15, 30, 45, 60$ хв. У подальшому суміш охолоджували до кімнатної температури та відділяли синтезований продукт від органічної складової (DEG) за допомогою центрифугування. Залишки DEG відмивали етанолом при інтенсивному збовтуванні з наступним центрифугуванням. Відмиті НЧ сушили при 60°C упродовж 12 год.

Фазовий аналіз показав, що синтезовані НЧ чотирикомпонентних сполук мають однофазну структуру тетрагональної модифікації типу кістерит. З'ясовано, що з точністю метода вторинні фази в матеріалах не виявляються.

Одержані суспензії НЧ у суміші вода-спирт-гліколь-полівінілпіролідон у подальшому бути використані для друку відповідних плівок 3d принтерами.

Раманівська спектроскопія наночастинок CZTS, одержаних методом поліольного синтезу

Гаврилюк Є.О.¹, науковий співробітник; Кахерський С.І.², аспірант, Доброжан О.А.², старший викладач; Пшеничний Р.М.², доцент; Опанасюк А.С.², професор

¹ Інститут фізики напівпровідників, м. Київ, Україна

² Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У наш час відбувається активний пошук нових матеріалів для використання як поглинальні шари сонячних елементів (СЕ) третього покоління. Одним з таких матеріалів є $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS). Недоліком цієї сполуки є вузька область гомогенності, як результат, виникають складності при одержанні однофазних плівок потрібних для створення високоефективних СЕ. Нами було запропоновано синтезувати однофазні наночастинки (НЧ) CZTS з контрольованим складом, а потім за допомогою 2D та 3D принтерів наносити їх суспензії на різні підкладки з наступним одержанням відповідних плівок. НЧ CZTS були одержані Для визначення хімічного складу плівок використано метод раманівської спектроскопії, який для цієї сполуки є набагато ефективнішим ніж рентгендіфрактометричний аналіз.

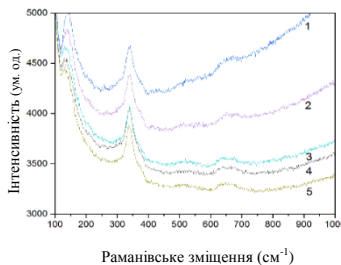


Рисунок 1- Раманівські спектри плівок з НЧ синтезованих при $t = 0$ (1), 15 (2), 30 (3), 45 (4), 60 (5) хв.

Спектри раманівського розсіювання плівок CZTS, що зображені на рис. 1 демонструють характеричну смугу при частоті 337 cm^{-1} без присутності інших смуг в досліджуваній області. Це свідчить про те, що у всіх випадках сформувалися шари висококристалічного впорядкованого CZTS кестеритової модифікації без присутності вторинних домішкових фаз.

Про особливості побудови адаптивних систем передачі інформації

Бережна О.В.¹, доцент; Арбузов В.В.², генеральний директор;
Сальніков О.О.¹, студент; Гриненко Д.В.¹, студент
¹Сумський державний університет, м. Суми, Україна

²Енергосервісне підприємство «Преобразователь», м. Суми, Україна

Найбільш важливими завданнями при побудові розподілених інформаційно-вимірювальних систем є забезпечення високої швидкості та достовірності інформації, що передається. З іншого боку, для індустріальних систем є характерним високий рівень спотворень в каналах зв'язку. Високий ступінь апріорної невизначеності та зміни в часі характеру та параметрів спотворень інформації ускладнюють застосування систем передачі інформації із заздалегідь визначеною структурою та параметрами. У такому випадку найбільш доцільним є використання адаптивних систем передачі інформації.

У роботі пропонується при виборі стратегії досягнення оптимальних параметрів передачі інформації застосовувати математичну модель системи передачі інформації з використанням алгоритмів оптимального оцінювання стану каналів зв'язку.

Дослідження та аналіз різних типів моделей спотворень та режимів передачі інформації показали, що при побудові узагальненої моделі системи передачі інформації на основі векторного перезапиту в умовах як стаціонарного, так і нестаціонарного каналу зв'язку доцільно застосовувати кусочно-стаціонарну модель потоку помилок зі змінними параметрами та біноміальним законом розподілу. Основною метою контролю стану каналу зв'язку є визначення номера та тривалості *i*-го стаціонарного стану каналу зв'язку з характерною для нього моделлю спотворення. Кожному *i*-му стану каналу приводиться у відповідність *i*-я ефективна структура системи передачі інформації з оптимальними параметрами.

Використовуючи результати проведених досліджень був розроблений алгоритм оцінювання стану каналу зв'язку, який дозволяє більш повно використовувати можливості адаптивної системи передачі інформації з векторним перезапитом та здійснювати передачу інформації з вибором вирішальної функції, яка мінімізує ризик, що виникає.

Морфологія поверхні та раманівські спектри плівок $Zn_xCd_{1-x}S$ для використання в приладах геліоенергетики

Срьоменко Ю.С., *молодший науковий співробітник*;
Щкиря Ю.О., *студент*; Опанасюк А.С., *професор*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У наш час активно розвивається галузь матеріалознавства для сонячної енергетики. Особливо актуальним є пошук нових матеріалів для тонкоплівкових сонячних елементів (СЕ), що працюють на основі гетероперехідів (ГП). Найбільш розповсюдженим віконним шаром в таких СЕ є халькогенід CdS. Однак, для підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) розглядається можливість використання в якості альтернативи CdS плівок твердого розчину на його основі - $Zn_xCd_{1-x}S$. Даний матеріал має ряд переваг, оскільки за рахунок введення в вихідний матеріал цинку зменшує в віконному шарі концентрацію токсичного кадмію, який важко утилізувати і має покращені оптичні властивості. Зокрема, регулювання концентрації Zn дозволяє гнучко регулювати ширину забороненої зони та сталу ґратки матеріалу, що дозволяє оптимізувати границю розділу ГП СЕ. В роботі вивчалась морфологія поверхні та раманівські спектри плівок $Zn_xCd_{1-x}S$ з різною концентрацією цинку. Тонкі шари наносились на очищені етиленом скляні підкладки у вакуумній установці ВУП-5М. Напівпровідникова шихта з різною концентрацією цинку ($x = 0; 0,20; 0,40; 0,60; 0,80; 1$) випаровувалась при температурі $T_e = 1273$ К та конденсувалась на підкладку з $T_s = 573$ К. Час нанесення становив $t = 15$ хвилин. Морфологія поверхні плівок досліджувалась з використанням растрової мікроскопії (РЕМ-100). Середній розмір зерен (D) в конденсатах знаходився методом Джефріса. Раманівські спектри вимірювались на установці Renishaw при кімнатній температурі. Як джерело збудження використовувався лазер з довжиною хвилі $\lambda = 515$ нм. В результаті проведених досліджень визначено вплив концентрації цинку в плівках на морфологію поверхні, структурні та оптичні характеристики. Встановлено, що середній розмір зерен у плівках варіювався від 0,85 мкм для CdS до 1,15 мкм для плівок ZnS. В результаті раманівських досліджень було визначено фазовий склад плівок. При збільшенні концентрації цинку в плівках спостерігалось характерне для твердих розчинів зміщення домінуючого піку від 303 cm^{-1} для чистого CdS до 350 cm^{-1} для чистого ZnS. Результати досліджень добре корелюють з літературними даними.

Ультратонкі сонячні елементи на основі плівок сульфіду олова

Возний А.А.¹, асистент; Хэгглюнд К.², доцент;

Шкиря Ю.О.¹, студент; Опанасюк А.С.¹, професор

¹Сумський державний університет, м. Суми

²Упсальський університет, Упсала, Швеція

Високий коефіцієнт поглинання та можливість одержання в кубічній (π -SnS) і орторомбічній (o-SnS) фазах методом атомного осадження шарів (ALD), робить SnS перспективним кандидатом для реалізації ультратонких (~10 нм) плазмонних сонячних елементів (СЕ) на основі цієї сполуки. В роботі досліджено вплив тильних металевих контактів виготовлених з Ti, Mo і Al на характеристики СЕ на різних фаз SnS. Показано, що фотовольтаїчний ефект мають всі прилади, окрім виготовлених з алюмінієвими контактами. Надалі, нами були вивчені прилади з буферним шаром з напівпровідникової широкозонної сполуки Zn(O,S) з різним вмістом сірки (рис. 1).

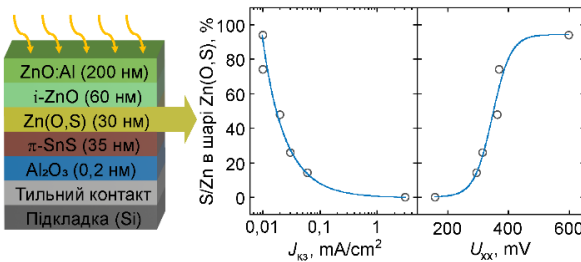


Рисунок 1 – Конструкція та характеристики виготовлених СЕ на основі ультратонких плівок SnS.

Було встановлено, що СЕ з конструкцією π -SnS / ZnO мають більш високий струм короткого замикання ($I_{кз}$) і напругу холостого ходу (U_{xx}), ніж пристрій на основі o-SnS, хоча очікувалось, що більш високе значення ширини забороненої зони π -SnS ($E_g = 1,7$ eV), порівняно з o-SnS ($E_g = 1,1$ eV), призведе до більш низького значення $I_{кз}$. Більш високий вміст сірки в Zn(O,S) сприяє більш високому значенню U_{xx} (до 611 мВ), в той час як струм короткого замикання пристрою зменшується (рис. 1). Таким чином, СЕ з достатньо перспективним значенням напруги мають низький струм і навпаки. Встановлено причини цього.

Пристрій комутації сигналів системи відеоспостереження

Гриненко В.В., *доцент*; Давидов Я.О., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Забезпечення безпеки різних об'єктів вирішується використанням інтегрованих систем безпеки, що включають підсистеми охоронної та пожежної сигналізації, контролю і управління доступом і відеоспостереження. Використання систем відеоспостереження дозволяє організувати цілодобовий автоматичний відеоконтроль, створити відеоархіви, класифікувати факт проникнення або помилкові спрацьовування засобів сигналізації. До складу систем відеоспостереження входять відеокамери, пристрої обробки, комутації та передачі відеосигналу і пристрої реєстрації.

Аналіз існуючих методів побудови систем відеоспостереження дозволив зробити висновок, що для невеликих об'єктів типу житлового будинку, з вимогою до невеликої вартості системи, найбільш раціональним є використання аналогових систем відеоспостереження. Зазначені системи також характеризуються високим рівнем сумісності між собою продуктів від різних виробників і як результат простим підбором обладнання та монтажем технологічних рішень.

Одним з головних питань при побудові системи відеоспостереження є вибір методу і пристрою відеокомутатори, що дозволяє забезпечити послідовне перемикання відеосигналу від декількох телекамер на один або кілька виходів (моніторів). На основі проведеного аналізу було обрано матричний метод побудови комутаторів сигналу. Була розроблена структура системи відеоспостереження, що складається з шістнадцяти відеокамер, комутатора відеосигналу і мікроконтролера, який за допомогою клавіатури та допоміжного індикатора дозволяє обрати сигнал з камери для відображення на моніторі та для передачі на віддалений пункт відеоспостереження. Запропонована структура також має можливість віддаленого налаштування зазначених параметрів.

Таким чином запропонована система дозволить провести відображення сигналу з обраної камери та передачу сигналу на віддалений пункт спостереження для подальшого зберігання даних спостереження.

СЕКЦІЯ 6

«Електротехніка»

Method for determining the conductivity of layer pollution for example of a linear plate insulator type PSD-70E

Igor Lebedinsky, *Associate Professor*; Igor Borzenkov, *PhD student*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Sergey Shevchenko *Professor*; Dmitry Danilchenko, *Senior Lecturer*
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

The surface resistance of an insulator is the ratio of the voltage of industrial frequency to the leakage current that flows along its surface. There is also a capacitive component of the leakage current, which is fixed when a constant voltage is applied. This current component is negligible for heavily contaminated insulators, but it should be taken into account when measuring on clean insulators.

The applied voltage at the insulator is held for a sufficient time to obtain readings, but not so long as to cause heat. In addition, the voltage level should not cause electrical discharges on the surface of the insulator.

Typically, the insulator resistance goes to infinity with alternating voltage after each crossing of the zero current. Therefore, it is much more convenient to determine and construct the dependences of the "Form-factor" along the coordinate of the insulator creepage path. Then, surface conductivity (μS) can be calculated using the "Form-factor" F according to the following formulas:

$$\sigma_{inst} = F \cdot \left(\frac{i_{inst}}{v_{inst}} \right), \quad (1)$$

$$F = \int_0^L \frac{dl}{\pi \cdot D(l)}, \quad (2)$$

where i_{inst} – the instantaneous leakage current (mA), v_{inst} – the instantaneous supply voltage (kV), σ_{inst} – the peak value of conductivity (μS) over the half-cycle of AC, F – the dimensionless form factor, l – the distance (mm) along the leakage path of the insulator and $D(l)$ – the insulator diameter (mm) at length l along the leakage path.

The estimated dependency graph area under the curve from the linear coordinate along the creepage distance (Figure 1 a) and the dependence of "Form-factor" with using expression (2), insulator type PSD-70E, shown in (Figure 1 b).

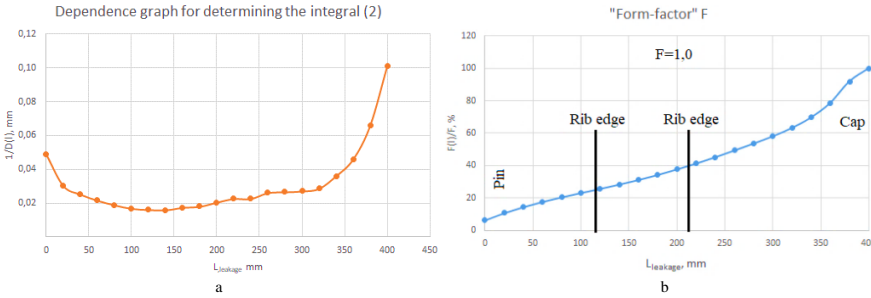


Figure 1 – Dependence graphs for calculating the "Form Factor" of the PSD-70E: dependence for determining the area under the curve (a); "Form-factor" on the linear coordinate along the creepage distance length (b).

Based on the calculated and obtained experimental data of the instantaneous leakage currents, depending on the proposed voltage to the insulator, we can calculate the peak conductivity $\sigma_{\text{inst}} (\mu\text{S})$.

The treated results of the dependence of the change in the conductivity of the contaminated pollution layer, taking into account the "Form-Factor" of the PSD-70E type insulator, are shown in (Figure 2).

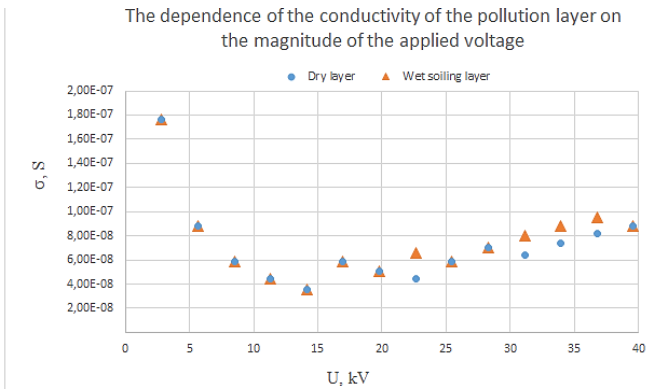


Figure 2 – Dependence of the change in the conductivity of the pollution layer on the value of the applied voltage

With Figure 2 shows that the graph of the conductivity of the pollution layer of the insulator surface on the magnitude of the applied voltage does not depend much on whether this layer is wetted or dry, therefore, the considered method requires further study.

Ідентифікація електрофізичних характеристик об'єктів із використанням «м'яких обчислень»

Тичков В.В., *доцент*; Сторчак А.В., *аспірант*;

Гальченко В.Я., *професор*; Трембовецька Р.В., *доцент*

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

Задача ідентифікації електрофізичних характеристик об'єктів [1-6] з використанням «м'яких обчислень» на основі фіксування параметрів результатів вимірювання та використання апріорних обчислень у вигляді нейромережевої метамоделі при неруйнівних методах дослідження відноситься до так званих апроксимаційних обернених задач [7]. Для визначеності обмежимося неруйнівними методами дослідження циліндричних об'єктів контролю та прохідними круговими вихрострумовими перетворювачами. Таким чином, задача математичного моделювання вихрострумових систем вимірювального контролю полягає у визначенні профілю електрофізичних характеристик циліндричних співвісних об'єктів контролю, зокрема магнітної проникності та електропровідності, вздовж їх радіуса.

Математична модель складається з прийняттям наступних припущень [8]: середовища контролю є лінійними, ізотропними та однорідними; струм збудження є синусоїдальним, що змінюється з заданою кутовою частотою; котушка збудження на початковому етапі розглядається як нескінченно тонкий виток з певним незмінним радіусом; осі вихрострумового перетворювача та циліндричного об'єкту контролю співпадають.

Для проведення обчислень вихідної напруги перетворювачів складено програмне забезпечення, яке реалізовано мовою програмування Python 3 та з використанням бібліотек NumPy і SciPy. Перевірка адекватності комплексу програм проводилася за допомогою аналітичних моделей для більш простих двошарових об'єктів контролю [9-10], які дозволили отримати значення векторного потенціалу в області розміщення вимірювального витка вихрострумового перетворювача. Також верифікацію проводили за допомогою програмного продукту мультифізичного моделювання COMSOL Multiphysics (AC/DC Module) із використанням методу скінченних елементів (МСЕ) для аналогічних розрахунків.

Результати розрахунків на основі обчислювальної технології [11-15] свідчать про досить високу точність моделювання, при якому

максимальна відносна похибка для дійсної та уявної частин векторного потенціалу, а відповідно й наведеної напруги, не перевищує 3 %.

1. А.Л. Дорофеев, *Вихревые токи* (Москва: Энергия: 1977).
2. П.И. Беда, В.М. Сапунов, А.И. Поляков, Ю.Г. Путников, *Люберцы, 13 ГНИИ Минобороны России*, 6519 (1992).
3. А.М. Лидер, В.В. Ларионов, Г.В. Гаранин, *Вестник науки Сибири* **3**, 4 (2012).
4. Б.М. Березюк, У.Б. Марікуца, Т.В. Свірідова, *Вісник НУ "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика*, 564 (2006).
5. Б.М. Горкунов, Е.А. Борисенко, Т. Шибан, И. Шахин, *Вісник НТУ "ХПИ", Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ "ХПИ"* **26**, 1302 (2018).
6. А.Я. Тетерко, В.І. Гутник. *Фізико-хімічна механіка матеріалів* **3**, 47 (2011).
7. В.И. Батищев, В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, *Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики* (Москва: Инновационное машиностроение: 2018).
8. С.W.Jr. Nestor, C.V. Dodd, W.E. Deeds (*United States*: ORNL-5220, 1979).
9. C.V. Dodd, W.E. Deeds (*United States*: NSA-22-002271, 1967).
10. C.V. Dodd, J.W. Luquire, W.E. Deeds, W.G. Spoeri (*United States*: NSA-23-024407, 1969).
11. V.Ya. Halchenko, R.V. Trembovetska, V.V. Tychkov, *Electrical Engineering & Electromechanics* **2**, (2019).
12. V.Ya. Halchenko, R.V. Trembovetska, V.V. Tychkov, *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. Radioaparobuduv*, 74 (2018).
13. V.Ya. Halchenko, R.V. Trembovetska, V.V. Tychkov, A.V. Storchak, *Przegląd elektrotechniczny* **9** (2019).
14. В.Я. Гальченко, А.Н. Якимов *Популяционные метаэвристические алгоритмы оптимизации роём частиц* (Черкассы: ФЛП Третяков А.Н.: 2015).
15. R.V. Trembovetska, V.Y. Halchenko, V.V. Tychkov, *International Scientific Journal «Mathematical Modeling»* **4**, 3 (2019).

Програмно-апаратний комплекс для вимірювання оптичних властивостей матеріалів

Кобяков В.А., *доцент*; Гришко В.А., *студент*;

Грицина В.Т., *доцент*

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, м. Харків,
Україна

Адсорбційна спектрофотометрія та люмінесцентна спектроскопія є дуже поширеними методами дослідження властивостей речовин та їх перетворень [1].

Мета роботи полягала у тому, що би на основі монохроматорів МСД-2 та МДР-23 створити пристрій, який дозволить вимірювати спектри збудження та люмінесценції твердих та рідких зразків.

Для реалізації було створено програмно-апаратний комплекс, який складається із електронного блоку для обробки даних та керування монохроматорами, а також персонального комп'ютера для візуалізації та подальшої обробки отриманих даних.

Монохроматор МСД-2 разом з освітлювачем використовується для виділення збуджуючого світла для опромінення зразка. Довжини хвиль випромінювання зразка вимірюються за допомогою монохроматора МДР-23 і фотоелектронного помножувача (ФЕП), встановленого на вихідній щілині монохроматора.

Між монохроматорами встановлений дзеркальний конденсор, котрий формує збуджуюче світло з монохроматора МСД-2 на зразок. Для вимірювання розподілу інтенсивності збуджуючого світла за довжиною хвилі на оптичній осі за утримувачем зразка встановлений фотоприймач. Світіння зразка формується на вхідну щілину монохроматора МДР-23.

Блок обробки та керування містить підсилювачі для фотоприймачів, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), мікроконтролер та модуль керування монохроматорами. Блок під'єднується до комп'ютера за допомогою інтерфейсу USB.

Особливістю цієї розробки є підсилювач для ФЕП. Він містить у собі два канали: струмовий, який містить перетворювач струм-напруга [2] та використовується для вимірювання сигналів середньої та високої інтенсивності, та імпульсного, який використовується для вимірювання слабких світінь [3]. В імпульсному режимі частота

імпульсної складової ФЕП перетворюється в напругу. Коефіцієнт підсилення за цим каналом у 10 разів більше, аніж за струмовим, і він дозволяє реєструвати сигнали світіння, які еквівалентні струму ФЕП до 10^{-10} А. Переключення каналів здійснюється автоматично. Отриманий сигнал з підсилювача подається до входу АЦП.

Підсилювач для фотодіода є стандартним трансїмпедансним підсилювачем на основі операційного підсилювача. Його сигнал також подається на вхід АЦП.

Використаний АЦП ADS1115 має високу роздільну здатність (16 біт, 0.125 мВ/біт або 1 мВ/біт) та низький рівень власних шумів (менше, ніж половина від значення LSB). Оцифровані сигнали зчитуються контролером із швидкістю 100 вибірок/с.

Контролер STM32F103C8T6 із ARM-архітектурою здійснює первинну обробку отриманих з АЦП даних (цифрова фільтрація та згладжування), реєструє поточне значення довжини хвилі на обох монохроматорах та передає данні в комп'ютер. Також здійснює керування монохроматорами згідно з отриманими з комп'ютера сигналами.

Модуль керування монохроматорами зібрано на основі перетворювачів логічних рівнів, дешифраторів та інших логічних елементів. Він забезпечує передачу керуючих сигналів від контролера до блоків керування кроковими двигунами монохроматорів, а також моніторинг їх статусу.

До цієї установки було створено .EXE додаток. Він запускається на комп'ютері, до якого під'єднано установку, і забезпечує відображення даних, а також керування монохроматорами за допомогою зручного графічного інтерфейсу. При вимірюванні спектру, його графік будується у режимі реального часу із можливістю подальшого експорту отриманих даних у .dat файл, чи будь-який інший у ASCII-форматі для подальшої обробки та представлення отриманих даних.

1. M. Baranska (Ed.) *Optical Spectroscopy and Computational Methods in Biology and Medicine* (Springer: 2013).
2. W. Jung, *Op Amp Applications Handbook* (Analog Devices: 2005).
3. T. Nakamata (Ed.) *Photomultiplier tubes: Basics and Applications (Edition 3a)* (Hamamatsu Photonics K. K: 2007).

Оптимізації процесу навчання майбутніх інженерів

Загородня Т.М., викладач; Гребенік А.Є., студент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Аналіз наукових досягнень в області підвищення ефективності навчання дисциплін природничо-математичного циклу з урахуванням модульної системи і компетентісного підходу дозволяє сформулювати основні вимоги до інформаційної технології для викладацького складу з метою удосконалення процесу навчання студентів технічних спеціальностей, зокрема, майбутніх енергетиків.

Проаналізувавши всі види навчальних занять технічних дисциплін („Електротехніка та електропривід”, „Основи електротехніки та електропривід”) ми пропонуємо створити максимально ефективне логічне наповнення блоків навчального матеріалу, оптимально розподілити навчальний часу між аудиторними і позааудиторними заняттями. Оптимальною та ефективною формою набуття фахових знань, згідно наших досліджень, є модель змішаного навчання.

Нами розраховано поточний рівень компетентності згідно параметрів навчальної дисципліни, які визначені поточною робочою програмою дисципліни „Електротехніка та електропривід”. За аналізом отриманих результатів розрахунку зроблено висновок, що максимально можливий рівень формування компетенцій по кожному з занять не досягнуто. Розглянуто, як впливає складність і кількість питань, що виносяться на самостійну роботу майбутніх енергетиків і на сформований рівень компетентності при сталому обмеженні загального часу, яке відповідає робочій програмі дисципліни.

Зроблено висновок, що зменшення на 10 % частки годин, відведених на самостійну роботу студентів, та, відповідно, збільшення на 10 % частки годин, що відведені на аудиторні заняття та он-лайн заняття, дозволяє підвищити сформований рівень компетенцій на 12 %.

На наш погляд, розвиток змішаної форми навчання може стати одним з ключових напрямків модернізації підготовки спеціалістів технічних спеціальностей, зокрема енергетиків.

Clarke D. *Blended Learning* (CEO Epic Group plc: Brighton: 2003).

Аналіз статичної стійкості синхронних генераторів в пакеті Matlab

Волохін В.В. *доцент*; Фісенко О.В., *студент*;

Іванова В.О., *студентка*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В даній роботі описано підхід до моделювання енергетичної системи з трифазним синхронним генератором в пакеті Matlab, з метою порівняння отриманих характеристик з результатами розрахунку, які були проведені класичним способом.

Розрахунок усталеного проведено у відносних одиницях при відключеному АРЗ генератора з урахуванням відбору потужності власних потреб. Схема заміщення кола передачі зображена на рис.1 (базисні напруга та потужність $U_B=115\text{kV}$, $S_B=1000\text{MVA}$).

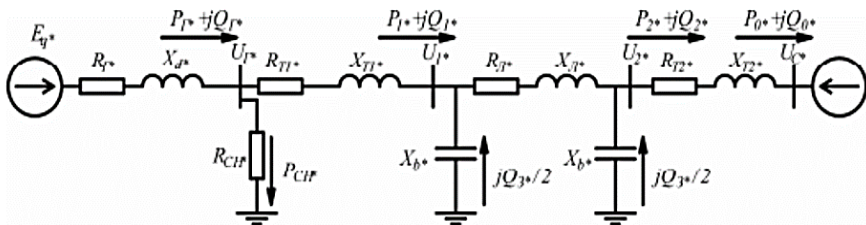


Рисунок 1 – Схема заміщення кола передачі

Моделювання в MATLAB/Simulink проводилося в два етапи. Спочатку за допомогою блока «powergui» розраховувався усталений режим мережі та визначались режимні параметри синхронного генератора, при цьому задавалась або активна потужність та напруга на його виводах, або його активна та реактивна потужність. Потім виконувався розрахунок миттєвих значень струмів та напруг в обмотках елементів схеми та інших параметрів в залежності від часу.

У зібраній програмі була виконана перевірка відповідності напруг у вузлах та перетоків потужностей зі значеннями, які були отримані за математичною моделлю. За результатами їх порівняння можна зробити висновок, що різниця не перевищує 1%.

Також проведено моделювання режимів роботи генератора зі збереженням незмінної напруги на виводах шляхом регулювання його

ЕРС. Отримана крива (рис. 2) подібна до кутової характеристики активної потужності генератора. Із рисунка видно, що розбіжності кривих починаються тільки при кутах, більших за 80° .

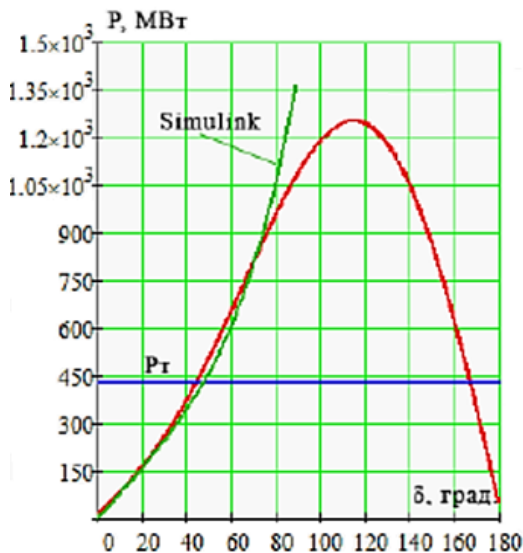


Рисунок 2 – Кутова характеристика

Висновки:

- 1) В пакеті MATLAB/Simulink зібрано імітаційну модель системи передачі електроенергії та змодельовано усталений режим її роботи;
- 2) Проведено порівняння режимних параметрів та кутової характеристики активної потужності синхронного генератора, отриманих в моделі, з розрахованими класичним способом.

1. В.П. Голов, А.А. Мартиросян, И.А. Москвин, А.А. Виноградова *Устойчивость электроэнергетической системы из двух электрических станций с регулируемой продольной компенсацией* (Вестник ИГЭУ: 2012).
2. Кулешова Е.О., Н.В. Шишка *Моделирование одномашиной энергосистемы с помощью передаточных функций в Matlab/Simulink* (Современные проблемы науки и образования: 2013).

Protection of contemporary electric energy meters from a strong punch

Anton Shulumei, *PhD-student*; Oleksandr Strokin, *PhD-student*;
Illia Diahovchenko, *Senior Lecturer*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Measurement accuracy of contemporary solid-state electric energy meters (EEMs) is about an order of magnitude better than that of a mechanical meter, while power consumption is lower by about two orders of magnitude. They are also better protected against tampering than their electromechanical predecessors. However, modern EEMs are not well protected from physical influence, especially those installed outdoors. This work aims to find a proper solution to protect a meter from a strong punch.

A punch of a heavyweight boxer can reach up to 800 kilogram-force, which is about 7840 N. It is evident that a plastic housing of an EEM can be easily destroyed by a strong punch, and the apparatus can be damaged. Such a heavy puncher as Mike Tyson, Wladimir Klitschko, Lennox Lewis or Tyson Fury could easily swipe an EEM out of its DIN rail. Even a lightweight Vasyl Lomachenko should be capable to “knock out” a metering device by his left hook. It is possible to assume that some bullish street punchers may want to smash an innocent EEM with a sheer force for tampering purposes, especially given that the metering device cannot stand up for itself. Thus, electric energy utilities should take preventive actions.

According to the Newton’s Second Law of Motion (LM), the nature of a strong punch refers to the physics of the mass and velocity. The factors in the Newton’s Second LM can be further expressed as kinetic energy (KE):

$$E_k = (m\mathbf{v}^2)/2, \quad (1)$$

where m is the mass of the puncher’s fist, \mathbf{v} is the speed of the fist.

The formula (1) is referred to as the impulse-momentum relationship. Assuming that the KE of a strong punch is 7840 J, find a thickness of a bulletproof glass which can be employed to shield an EEM from an assault. Using (1) and the UL 752 Standard for bullet resistant barrier testing, it has been estimated that a shield made of 1.27 cm thick L1 Glazing can withstand 1397.12 J and, therefore, can be employed as a protection. Alternatively, a 0.64 cm thick L1 Fiberglass shielding can be used.

Оптимальний склад альтернативних джерел енергії для мінімізації втрат потужності та максимізації прибутку за «зеленим тарифом» в розподільчих мережах електроенергії

Зальотов В.В., *студент*; Дяговченко І.М., *старший викладач*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Сучасні електричні системи перетворюються з традиційних централізованих систем масового виробництва на більш децентралізовані системи з меншими генеруючими одиницями, відомими як розосереджена генерація (РГ), що найчастіше встановлені близько до споживача.

Розосереджена генерація надає ряд переваг: зменшення втрат потужності в мережах передачі і розподілу, підвищення стійкості систем та екологічності в разі використання відновлюваних джерел енергії замість газових турбін і поршневих двигунів. Особливо внесок розосередженого генерування помітний в електричних мережах середньої і низької напруги.

У роботі запропонована двоетапна методологія, метою якої є пошук оптимального поєднання різних типів та включення альтернативних джерел у розподільчу мережу для того, щоб втрати електроенергії були зведені до мінімуму, а профіль напруги кожної шини задовольняв існуючим вимогам. Розглядаються три альтернативні енергетичні технології: на основі сонячної енергії (відновлювальна), на основі вітру (відновлювальна) та на основі біомаси (невідновлювальна). На першому етапі роботи було застосовано метод прямого-зворотного ходу для визначення оптимальної потужності джерел РГ з метою мінімізації втрат електроенергії та покращення профілю напруги на шинах. На другому етапі за допомогою симплекс-методу було визначено кількість типів відновлюваних і невідновлюваних джерел електричної енергії. Запропонована методика була випробувана на моделі IEEE 33-шинної радіальної розподільної мережі. Для отримання максимального прибутку за «зеленим тарифом» (що відповідає найвищій рентабельності інвестицій) в розглянутій мережі електрична енергія повинна бути згенерована за допомогою сонячної і вітрової технології в співвідношенні 346,931 кВт·год і 2134,169 кВт·год, відповідно, а мікротурбіни до встановлення не рекомендуються.

Оптимізація розподілу навантаження між блоками розподіленої генерації

Горбуль А.В., *студентка*; Дяговченко І.М., *старший викладач*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Збільшення потреби в електроенергії в поєднанні з дефіцитом генеруючих потужностей, проблеми якості електроенергії, а також зростання вартості останньої заохочували інженерів-енергетиків шукати кращі енергоджерела для живлення споживачів, з урахуванням технічної, економічної і екологічної вигоди.

У даній роботі представлений підхід до оптимізації розподілу навантаження між декількома розосередженими енергоресурсами. Визначено оптимальний розмір і розміщення розосереджених енергоресурсів для зменшення загальних втрат електроенергії та поліпшення профілів напруги в радіальній розподільній мережі. Вирішено проблему оптимізації розподілу навантажень між декількома блоками розосередженої генерації (РГ) за допомогою динамічного програмування. Для дослідження була обрана IEEE 33-шинна радіальна розподільна система.

В якості РГ для живлення некритичних і критичних навантажень розглянутої енергосистеми обрані мікротурбіни, враховуючи їхні експлуатаційні характеристики, такі як модульний розмір, невеликі викиди, низькі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування.

Завдання в динамічному програмуванні розглядаються як багатокрокові процеси по числу агрегатів і вирішуються в результаті розрахунків на прямому і зворотному ході базового алгоритму, що описують загальну схему вирішення завдань даного класу.

Метод дозволяє порівнювати варіанти розвитку послідовностей і завчасно відсіювати безперспективні, у нашому випадку – не вигідні.

Цільова функція має вигляд:

$$Q_{MT} = \sum_{j=1}^n Q_j(P_j) \Rightarrow \min \quad (1)$$

де P_j – потужність j -го агрегату; Q_j – мінімальна витрата палива для j -го агрегату, Q_{MT} – сумарна витрата палива на мікротурбінах.

Розрахунок почали з оптимізації режиму двох блоків РГ. Для них діапазон сумарної потужності складає від 125 до 500 кВт. Першою

взяли потужність 500 кВт і знижували її з постійним кроком 25 кВт. Після цього розглянули роботу всіх трьох агрегатів, прийнявши постійний крок 125 кВт. При навантаженні 750 кВт всі агрегати працюють з максимальною потужністю. Розрахунок інших режимів показано в табл. 1, а оптимальний графік навантаження для трьох мікротурбін подано на рис. 1.

Таблиця 1. Оптимальний розподіл навантаження для трьох мікротурбін

P_3^e , кВт	P_1 , кВт	P_2 , кВт	P_3 , кВт	Q_3^e , м ³ /хв	Оптимальний склад МТ		
750	250	250	250	4.530	1	1	1
625	125	250	250	3.903	1	1	1
500	250	0	250	3.017	1	0	1
375	125	0	250	2.390	1	0	1
250	250	0	0	1.483	1	0	0
125	125	0	0	0.857	1	0	0

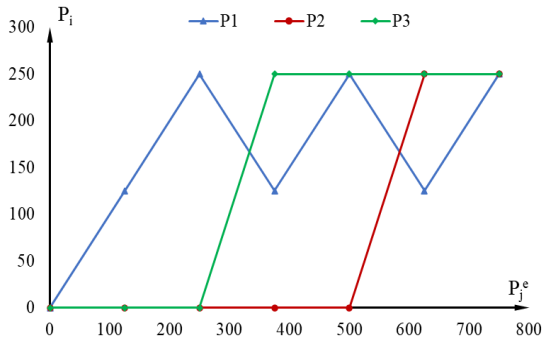


Рис. 2. Оптимальний графік навантаження для трьох мікротурбін

Представлений підхід може бути використаний для вирішення багатьох інженерних завдань: пошуку оптимального розподілу ресурсів, таких як гроші, люди, генеруючі потужності, паливо на когенераційних установках, вода на гідроелектростанціях та ін.

Особливості моделювання високовольтних мереж із використанням мови програмування Python

Василега П.О., *доцент*; Косенко І.М., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На цей час при моделюванні високовольтних електричних мереж використовується велика кількість доступних інструментів з відкритим кодом, заснованих на MatLab або Delphi. Хоча самі ці інструменти є відкритим кодом, вони залежать від комерційних платформ. Інструменти, що засновані на комерційних платформах, не можуть бути вільно використані як автономне програмне забезпечення, а також легко розширюватися іншими бібліотеками.

Тому у цій роботі моделювання виконано з використання мови програмування Python в середовищі PyCharm. Python – високорівнева мова програмування загального використання, орієнтована на підвищення продуктивності розробника та зчитування коду. Незважаючи на свою мінімалістичність, бібліотеки Python включають великий об'єм корисних функцій.

В ході створення моделі високовольтної електричної мережі окрім стандартного набору інструментарію Python та поширених бібліотек, таких як, наприклад, numpy, pandas чи matplotlib, які дозволяють створювати плоти та графіки, також був використаний спеціальний пакет для моделювання мереж – pandapower.

Pandapower базується на табличній структурі даних, де кожен тип елемента представлений таблицею, яка містить всі параметри для конкретного елемента, і таблицею результатів, яка містить результати для різних методів аналізу. Це дозволило зберігати змінні будь-якого типу даних, щоб електричні параметри могли зберігатися разом зі змінними стану та метаданими, такими як імена чи описи.

Використання основних заходів («Заміна плюс заміна», «Заміна плюс додавання нової лінії», «Додати кабель», «Перехід на 110 кВ») у різних комбінаціях між собою дало велику кількість варіантів можливої конфігурації модернізованої мережі. Задача необхідного набору заходів перетворилася в проблему, для вирішення якої необхідно було застосовувати певні алгоритми оптимізації.

З метою отримання посиленої мережі, у якій відсутні проблеми з перевантаженням ліній, а струми короткого замикання знаходяться в

межах допустимих значень, здійснювалось використанням двох евристичних алгоритмів – сходження на вершину та генетичного.

Після прийняття знайденої алгоритмом сходження на вершину множини рішень була отримана посилена мережа, в якій не має проблем з перевантаженням ліній. Але незважаючи на задовільні параметри функціонування мережі в нормальному режимі, при розрахунках струмів короткого змикання мали місце перевищення їх допустимих значень.

Змінюючи параметри на вході алгоритму вдавалося впливати на процес протікання вибору найкращого рішення, але генетичний алгоритм не зміг знайти необхідного рішення, і в моделі все ще були присутні шини з завеликими значеннями струмів короткого замикання. Оскільки перерозподілом генерації в мережі не вдалося знайти задовільного варіанту, звернулися до ще одного способу зменшення струмів короткого замикання в мережі – поділу мережі на частини.

Для вирішення задачі оптимального поділу мережі було використано комбінацію генетичного алгоритму з алгоритмом сходження на вершину. У якості набору рішень на вхід алгоритму додали міжсекційні та лінійні вимикачі.

Використання команд `shortcircuit.calc_sc(net)` дозволило розрахувати мінімальні та максимальні значення симетричних струмів короткого замикання. Використання двох евристичних алгоритмів (сходження на вершину та генетичного) дозволило отримати посилену мережу, у якій відсутні проблеми з перевантаженням ліній, а струми короткого замикання знаходяться в межах допустимих значень.

Створена модель дозволила визначити параметри, що характеризують реальні умови, в яких працюють елементи мережі та споживачі.

1. L. Thurner, A. Scheidler, F. Schäfer et al., *IEEE T. Power System.* **33** No 6, pp. 6510 (2018).
2. A. Scheidler, L. Thurner, M. Braun, *Heuristic optimisation for automated distribution system planning in network integration studies* (The institution of engineering and technology: 2018).

Моделювання системи грозозахисту об'єктів електроенергетики

Ніконов М.С., *студент*; Крамський І.О., *студент*;
Петровський М.В., *доцент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На сьогоднішній день прямий удар блискавки є одним із найбільш небезпечних видів пошкодження від атмосферних перенапруг і тому, таке явище є недопустимим для особливо важливих об'єктів. Безаварійна робота електроустановок забезпечується захистом об'єктів електроенергетики із використанням стрижньових і тросових блискавковідводів. Крім того, хвилі, що набігають з ліній електропередач, викликають складні коливальні перехідні процеси усередині обмоток трансформаторів, реакторів і обертових машин і можуть ушкодити їхню поздовжню ізоляцію. Для захисту таких об'єктів використовують вентиляльні розрядники або нелінійні обмежувачі перенапруг. Вибір параметрів таких розрядників та схеми їх розташування на підстанції є досить складною задачею. При чому ручний розрахунок перехідних процесів із розгалуженими схемами з декількома вузлами, що виникають внаслідок приходу набіжних хвиль є неефективним. Зі зростанням кількості споживачів, чутливих до імпульсів перенапруг та електромагнітних перешкод, проблема блискавкозахисту та захисту від перенапруг набуває все більшу значимість, що вказує на актуальність дослідження.

В роботі розроблені програми Lightning Protection Zone та Running Wave відповідно для визначення зони захисту стрижневих і тросових блискавковідводів складної конфігурації та розрахунку перехідних процесів на підстанціях, що викликані приходом хвилі перенапруги. Програми написані на мові програмування Delphi та мають графічний інтерфейс для зручної взаємодії користувача з програмою (рис. 1).

Програма Lightning Protection Zone дозволяє проводити розрахунок параметрів зон захисту стрижневих та тросових блискавковідводів та побудову горизонтального перерізу зони блискавкозахисту об'єктів у відповідності до вимог зазначених у нормативних документах РД 34.21.122-87 та ДСТУ Б В.2.5-38:2008.

В роботі розроблений алгоритм та програмна реалізація розрахунку параметрів зон захисту стрижневих та тросових блискавковідводів.

Користувач має можливість задавати: координати об'єкта, що захищається, за точками у таблиці «Защищаемая зона»; координати точок встановлення та висоти стрижневих блискавковідводів у таблиці «Молниевотводы»; координати початкової та кінцевої точок встановлення (між якими натягнутий трос) і висоти тросових блискавковідводів у таблиці «Грозозащитные тросы»; висоту перегляду, для якої проводиться розрахунок та побудова зони блискавкозахисту; методику розрахунку (РД чи ДСТУ) та надійність блискавкозахисту (РД – 0,995 та 0,95; ДСТУ – 0,999, 0,99, 0,9).

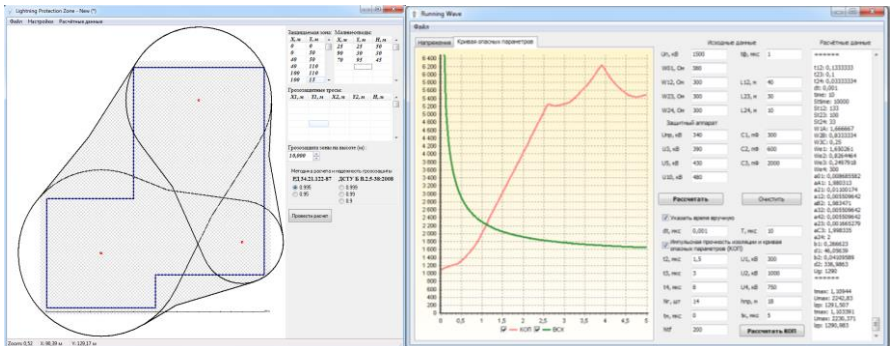


Рисунок 1 – Графічні інтерфейси Lightning Protection Zone (а) та Running Wave (б)

Програма Running Wave дозволяє проводити розрахунок для схеми заміщення підстанції. Вона поділена на дві підпрограми. Перша використовується для розрахунку і побудови зміни напруги у вузлах, а друга для розрахунку і побудови кривої небезпечних параметрів (рис. 1б) та визначення довжини захищеного підходу перед підстанцією. Розрахунок реалізується методом біжучих хвиль із використанням правила еквівалентної хвилі. В програмі враховується реальна вольт-амперна характеристика нелінійного опору захисного апарату.

Створені програми дозволяють значно спростити розрахунок згідно з вимогами діючих нормативних документів. Розроблені програми можуть бути використані як для проектування грозозахисту об'єкта, так і для перевірки вже існуючої системи.

Моделювання роботи сонячної панелі в Matlab Simulink

Зимогляд Ю.В., студент; Захарко А.Ю., студентка;
Захарченко В.В., студент; Лебедка С.М., ст. викладач
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Зараз частка електроенергії, виробленої на сонячних електростанціях, збільшується. Тому ведуться активні розробки над підвищенням якості, стабільності і поліпшення характеристик сонячних елементів. Однак залишається багато невирішених проблем. Одним з важливих факторів, що впливають на стабільність вихідних характеристик сонячних елементів, є температура панелей.

Фотоелектричні сонячні панелі перетворюють сонячне світло в електрику, тому можна думати, що чим більше сонячного світла, тим краще. Це не зовсім так, тому сонячна панель буде відмінно працювати, якщо вона отримує багато світла, але коли панель нагрівається, її ефективність погіршується.

Проведено моделювання нагріву сонячних елементів в середовищі Matlab Simulink. Модель сонячної панелі виконана за технічними даними виробника ДП «Квазар».

Проведено моделювання роботи сонячної панелі номінальною потужністю 80 Вт при зміні температури від 0 до +45°C. Значення сонячної радіації прийнято рівним 1000 та 1250 Вт/м². Побудовано графіки залежностей вихідної потужності сонячної панелі від температури панелі та величини сонячної радіації.

Проведено аналіз отриманих результатів моделювання, який показав, що при збільшенні температури сонячної панелі від 0 до +45°C вихідна потужність та коефіцієнт корисної дії (ККД) зменшуються приблизно на 17-18%.

Як висновок, можна сказати, що при проектуванні фотовольтаїчної системи для отримання сонячної енергії необхідно брати до уваги параметри клімату навколишнього середовища. Зокрема, якщо в місці розташування сонячних панелей температура повітря буває більшою за +30°C, то температура самих панелей буде значно більшою – близько +60-70°C в залежності від конкретного місця розташування, положення панелей. Для збільшення ККД сонячних панелей необхідно застосовувати різні способи та засоби їх охолодження.

Створення моделей для дослідження схем релейного захисту

Крамський І.О., *студент*; Ніконов М.С., *студент*;
Петровський М.В., *доцент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В даний час актуальним питанням є створення віртуальних лабораторних стендів для визначення характеристик елементів релейного захисту в дистанційній формі. Також у багатьох лабораторіях релейного захисту встановлено застаріле обладнання, тому під час виконання дослідів виникають значні відхилення характеристик приладів та схем. Деякі схеми релейного захисту не можливо зібрати в лабораторних умовах, а отже неможливо дослідити роботу пристроїв та вплив різних схем з'єднання елементів захисту.

У даній роботі за допомогою програмного пакету MatLab створені моделі для ознайомлення з складовими схем вмикання елементів релейного захисту та визначення основних характеристик реле.

Перша модель демонструє роботу реле струму. Схема складається з джерела змінної напруги, до якого підключено вимикач, реостат, амперметр та реле РТ–40/2. Величину напруги, опору, уставки та способи з'єднання котушок реле можна змінювати. У моделі врахована реальна характеристика спрацювання реле РТ–40, що дозволяє знаходити коефіцієнт повернення. Також врахована залежність часу спрацювання реального реле, що дозволяє досліджувати характеристику часу спрацювання реле РТ–40/2 від кратності струму в області струмів близьких до струму спрацювання.

Наступна модель симулює роботу реле потужності РБМ–171, ввімкненого за 90-градусною схемою. Стенд складається з двох трифазних джерел живлення напругою 10 кВ, що під'єднані до лінії електропередач вимикачами, що входять до складу підстанцій. Кожна із підстанцій має своїх споживачів, які підключаються ввімкненням тумблерів. На віртуальному стенді можливе регулювання повної потужності навантаження, фазового зсуву та зміна напрямку перетікання потужності. Модель самого реле побудована на його реальних технічних даних, що дозволяє експериментально отримати характеристики (чутливості, кутову) та кут максимальної чутливості.

Моделі скомпільовані у вигляді файлів, які запускаються на комп'ютері без застосування MatLab.

Фрактальна модель пробою діелектричного проміжку з різконеоднорідним полем

Мироненко А.С., *студент*; Петровський М.В., *доцент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Основною причиною виходу з ладу високовольтного обладнання є відмови ізоляції, тому надзвичайно великого значення набули питання покращення її ізоляційних властивостей. І тут особливу роль відіграє розуміння фізичних процесів, що відбуваються в діелектрику при його електричному пробойі.

Для дослідження явищ, що відбуваються під час діелектричного пробою, було використано метод комп'ютерного моделювання. Була реалізована фрактальна модель зростання розрядної структури, яка враховує як детерміновані (визначені), так і стохастичні (випадкові) фактори. Детерміновані закономірності використовувалися для визначення розподілу електричних полів, зарядів, струмів в діелектрику, а випадкові – для опису зростання розрядних каналів. Для визначення розподілу потенціалу електричного поля у міжелектродному проміжку використали метод «сіток»: міжелектродний простір зобразили у вигляді двовимірної решітки, у кожному вузлі якої методом послідовних наближень визначили значення потенціалу:

$$\varphi_i = \frac{1}{4} (\varphi_{i\uparrow} + \varphi_{i\downarrow} + \varphi_{i\rightarrow} + \varphi_{i\leftarrow}), \quad (1)$$

де φ_i – потенціал даного вузла; $\varphi_{i\uparrow}$, $\varphi_{i\downarrow}$, $\varphi_{i\rightarrow}$, $\varphi_{i\leftarrow}$ – потенціали вузлів, суміжних з даним.

У результаті моделювання визначено, як властивості діелектрика впливають на процес пробою. Збільшення критичної напруженості E_c призводить до скорочення числа можливих шляхів зростання розрядної структури і, як наслідок, до зменшення гіллястості структури розряду. Якщо критична напруженість E_c перевищує локальну напруженість у всіх точках, то розвиток розряду припиняється, і ми маємо незавершений пробой.

Наукове видання

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ФЕЕ :: 2020

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

**МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
студентів та молодих вчених**

Відповідальний за випуск
в.о. декана ф-ту ЕлІТ

доц. **О.О. Дрозденко**

Комп'ютерне верстання
Дизайн обкладинки

ст. викладач **Ю.М. Шабельник**
ст. викладач **Ю.М. Шабельник**

Відповідальний редактор

ст. викладач **Ю.М. Шабельник**

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 8,08 Обл.-вид. арк. 6,30 Тираж 100 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Р.-Корсакова, 2, м. Суми, 40007,
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007