



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ФЕЕ - 2019

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

(Суми, 23-26 квітня 2019 року)

Суми,
Сумський державний університет
2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ФЕЕ :: 2019

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

(Суми, 23–26 квітня 2019 року)

Суми
Сумський державний університет
2019

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.

*Цього року ми щиро вдячні за матеріальну підтримку партнерам факультету ЕІТ СумДУ: **Netcracker, Porta One, Эффективные решения та CompService.***

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. Електронне приладобудування.
5. Електронні системи, прилади і засоби кодування інформації.
6. Електротехніка.

Голова оргкомітету

проф. С. І. Проценко

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

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

Секретар секції – студ. Борисенко А.М.

Початок: 24 квітня 2019 р., ауд. Ц-3256, 11²⁵

1. Залучення до науково-дослідної роботи як обов'язковий елемент підготовки майбутнього фахівця у закладах вищої освіти.

Автор: студ. **Кудрявцев Д.В.**

Керівник: доц. Шкурдода Ю.О.

2. Використання історичного матеріалу під час вивчення елементарних частинок у курсі загальної фізики.

Автор: студ. **Борисенко А.М.**

Керівник: ст. викл. Пасько О.О.

3. Вплив інтерфейсного розсіювання на терморезистивні властивості багаточарових плівкових систем на основі пермалою та срібла.

Автори: асп. **Шуляренко Д.О.**,

студ. **Ромась О.В.**

Керівник: доц. Пазуха І.М.

4. Використання віртуальних робіт у лабораторному практикумі з фізики.

Автор: студ. **Лисенко О.М.**

Керівник: доц. Шкурдода Ю.О.

5. Сервіси Google в організації тестування студентів з фізики.

Автор: студ. **Загорулько А.Ю.**

Керівник: ст. викл. Пасько О.О.

6. Стандартна модель фізики елементарних частинок як фізична теорія.

Автори: студ. **Лебединська Ю.С.**,
студ. **Козін І.Д.**
Керівники: доц. Салтикова А.І.
ст. викл. Пасько О.О.

7. Залежність асимптотики нормування S-стану хвильової функції від радіуса дейтрона.

Автор – ст. викл. **Жаба В.І.**

8. Мотивація при вивченні фізики.

Автори: студ. **Марінченко Г.Є.**,
ст. Бородій І.О.,
доц. Сакун Т.М.

9. Використання сенсорної техніки у лабораторному практикумі.

Автор – студ. Ярмоленко А.В.
Керівник – доц. Шумакова Н.І.

СЕКЦІЯ № 2 «НАНОМАТЕРІАЛИ: ЗАСТОСУВАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ»

Голова секції – д-р. фіз.-матем. наук, проф. Погребняк О.Д.
Секретар секції – асп. Смирнова К.В.

Початок: 24 квітня 2019 р., ауд. ЕТ 218, 15⁰⁰

1. Вплив параметрів магнетронного розпилення на структуру та властивості нанокompозитних покриттів.

Автор – студ. **Мілашечкін О.О.**
Керівник – доц. Космінська Ю.О.

2. Пористі структури на основі ZnO для літій іонних батарей.

Автор – студ. **Шевченко С.Т.**

Керівник – проф. Перекрестов В.І.

3. The impact of laser radiation on nanoparticles, which using in medical.

Authors: Stud. **Obozna V.P.**,

Teach. Hnatenko O.S.

4. Ван-дер-ваальсівська взаємодія атому з еліптичним металевим нанодротом.

Автори: інж. **Павлище Н.І.**,

доц. Коротун А.В.

5. Дослідження еволюції густин структурних дефектів в рамках нерівноважної еволюційної термодинаміки.

Автори: асп. **Крекшин Д.М.**,

доц. Ющенко О.В.

6. Залежність мікроструктури покриттів на основі нітридів металів від параметрів магнетронного осадження.

Автор – студ. **Павлюк М.О.**

Керівник – ст. викл. Рогоз В.М.

7. Отримання нітридних і карбідних покриттів.

Автор – студ. **Домник А.С.**

Керівник – доц. Космінська Ю.О.

8. Детектування плазмових хвиль вуглецевими нанотрубками.

Автори: студ. **Дем'яненко Д.В.**,

асп. Карандась Я.В.,

доц. Коротун А.В.

9. Дослідження структури та морфології тонких плівок β - Ga_2O_3 , одержаних методом ВЧ іонно-плазмового розпилення.

Автори: асп. **Бордун Б.О.**,
асп. **Медвідь І.І.**
Керівник – проф. Бордун О.М.

10. Боридні покриття на основі високоентропійних сплавів.

Автори: студ. **Ляшко В.О.**,
студ. **Тевосян А.А.**
Керівник – ст. викл. Багдасарян А.А.

11. Переріз поглинання електромагнітного випромінювання метал-оксидними наночастинками.

Автори: студ. **Тітов В.В.**,
асп. Коваль А.О.
доц. Коротун А.В.

12. Боридні покриття на основі високоентропійних сплавів.

Автори: студ. **Тевосян А.А.**,
студ. **Ляшко В.О.**,
Керівник – ст. викл. Багдасарян А.А.

13. Вплив розмірного квантування на дисперсію плазмових хвиль у вуглецевих нанотрубках із металевою провідністю.

Автори: студ. **Редька Д.О.**,
асп. Карандась Я.В.,
доц. Коротун А.В.

**СЕКЦІЯ № 3 «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО МІКРО- ТА
НАНОЕЛЕКТРОНІКИ»**

Голова секції – канд. фіз.-мат. наук, ст. викл. Шабельник Ю.М.

Секретар секції – асп. Березняк Ю.С.

Початок: 25 квітня 2019 р., ауд. Ц 325б, 10⁰⁰

1. Dissipation-induced rotation of ferromagnetic nanoparticles

Authors: Stud. Burda O.I.,
Assoc. Prof. Lyutyy T.V.,
Prof. Denisov S.I.

2. Eigenvalues and eigenfunctions for a particle in a uniformly moving potential.

Authors: Stud. Kotenko D.R.,
Prof. Denisov S.I.

3. Формування наноструктур на титані електрохімічним методом.

Автори: студ. Коростіль Ю.О.,
доц. Проценко З.М.

4. Магніторезистивні властивості тришарових плівок на основі сплаву Fe_xCo_{1-x} та Cu.

Автор – асп. Салтиков Д.І.,
Керівники: проф. Проценко І.Ю.,
доц. Шкурдода Ю.О.

5. Comparison of magnetoresistance of thin film nanocomposites based on Co or Ni and SiO_2 near percolation threshold.

Authors: Postgraduate Stud. Shchotkin V.V.,
Assoc. Prof. Pazukha I.M.

6. Використання методу електрорушійних сил для визначення термодинамічних властивостей сполук GeBi_4Te_7 , GeBi_2Te_4 та $\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6$.

Автори: доц. Мороз М.В.,
доц. Прохоренко М.В.,
проф. Яцков М.В.,
проф. Решетняк О.В.

7. Фазовий склад сплавів системи $\text{Ag}_2\text{Se}-\text{In}_2\text{Se}_3$ в частині $\text{AgIn}_5\text{Se}_8-\text{In}_2\text{Se}_3$.

Автори: доц. Мороз М.В.,
зав. лабораторіями Рудик Б.П.,
доц. Нечипорук Б.Д.,
ст. викл. Соляк Л.В.
студ. Семенюк П.Ю.

8. Взаємодія аналога молекулярного перемикача з електропровідним контактом.

Автори: асп. Карапузова А.Г.,
студ. Циганенко Е.В.,
інж. Коваленко О.А.,
проф. Лопаткін Ю.М.,
проф. Кондратенко П.О.

9. Молекулярні провідники з керованою провідністю.

Автори: асп. Карапузова А.Г.,
студ. Подлесний Д.А.,
проф. Лопаткін Ю.М.,
проф. Кондратенко П.О.

10. Молекулярні перемикачі: потенціальний бар'єр і електронегативність.

Автори: асп. Карапузова А.Г.,
студ. Юрченко В.І.,
проф. Лопаткін Ю.М.,
проф. Кондратенко П.О.,
доц. Сакун Т.М.

11. Фазовий склад і електрофізичні властивості функціональних синтетичних антиферомагнітних структур на основі Ru і Co.

Автори: студ. Коваленко О.В.,
студ. Доценко О.П.,
мол. наук. співроб. Логвинов А.М.,
доц. Пазуха І.М.,
доц. Чешко І.М.,
ст. викл. Шабельник Ю.М.

СЕКЦІЯ № 4 «ЕЛЕКТРОННЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ»

Голова секції – д-р. фіз.-мат. наук, проф. Олександр Однорець Л.В.
Секретар секції – асп. Шумакова М.О.

Початок: 24 квітня 2019 р., ауд. Ц 3256, 11²⁵

1. The possibility of using the metal carbon nanocomposites as sensor films

Authors: Grad. stud. Martynenko I.M.,
Stud. Podopryhora O.O.,
Prof. Odnodvoretz L.V.

2. Розробка open-source додатку для моделювання SQUID-пристроїв.

Автор – студ. Ільїн С.,
Керівник – проф. Фебвр П.

3. Автономна електростанція на основі сонячної батареї для зарядження електронних гаджетів в СумДУ.

Автори: студ. Ярошенко Я.В.,
студ. Лаврик А.В.,
студ. Сальніков О.О.,
м.н.с. Возний А.А.

4. Електронні генератори сигналів на основі транзисторних і діодних елементів.

Автори: студ. Босенко В.С.,
студ. Толстіков Д.І.

5. Електронні дисплеї: фізичні основи формування зображень та архітектура.

Автори: студ. Сесенко А.А.,
студ. Гончаренко О.М.
Керівник – проф. Одноворець Л.В.

6. Оптоелектронні компоненти систем візуалізації та відображення інформації.

Автор – студ. Одноворець К.С.
Керівник – асист. Тищенко К.В.

7. Елементи електронних інформаційних систем на основі р-п-переходів.

Автори: студ. Сема Е.О.,
студ. Тарасенко Д.Ю.
Керівник – доц. Ігнатенко В.М.

8. Вплив зовнішніх факторів на параметри волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Автори: студ. Москаленко М.М.,
маг. Макоєдов М.С.,
студ. Костян М.О.
Керівник – проф. Одноворець Л.В.

9. Магнітні та калориметричні властивості сполуки $C_2H_{10}N_2[Cu(C_{10}H_2O_8)] \cdot 2,5H_2O$.

Автори: студ. Данильченко П.,
доц. Ткач О.,
доц. Тарасенко Р.

10. Вплив магнітного поля на магнітооптичні властивості тонкого дроту.

Автори: студ. Фролов А,
асп. Ваговський О.
Керівник – доц. Ткач О.П.

11. Віртуальний стенд для дослідження індукованих шумом переходів.

Автори: ст. викл. Вітренко А.М.,
студ. Макаренко К.В.

12. Концентраційна залежність коефіцієнту тензочутливості плівок на основі Fe і Ag або Au.

Автори: асист. Пилипенко О.В.,
асп. Шумакова М.О.,
проф. Одноворець Л.В.

13. Термічний коефіцієнт опору плівкових матеріалів сенсорів на основі феромагнітних і благородних металів.

Автори: асист. Пилипенко О.В.

14. Вплив кількості повторів фрагменту Ru/Ag на магніторезистивні властивості компонентів електронних систем.
- Автори: асп. Шуляренко Д.О.,
студ. Долгов-Гордійчук С.Р.
- Керівник – доц. Пазуха І.М.
15. Високоентропійні плівкові сплави: методика формування та фазовий склад.
- Автори: мол. наук. співроб. Подуремне Д.В.,
студ. Кулак А.С.,
студ. Рилова А.К.,
зав. лаб. Лободюк О.С.
- Керівник – проф. Проценко І.Ю.
16. Електрофізичні властивості одношарових та двошарових систем на основі Si та фулерита C₆₀.
- Автори: асп. Бездідько О.В.,
студ. Отог Д.В.
- Керівник – доц. Шумакова Н.І.
17. Метод лазерно-індукованої коагуляції.
- Автори: інтерн Коломієць О.О.,
канд. мед. наук Лукавенко І.М.
18. Конструктивно-технологічні особливості дефібрилятора як електронного пристрою для екстреної медичної допомоги.
- Автор – канд. мед. наук Хижня Я.В.
19. Особливості реалізації в LabVIEW віртуального стенду для дослідження коливального контуру.
- Автори: ст. викладач Вітренко А.М.,
студ. Миронов Є.М.

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

Голова секції – д-р. техн. наук, проф. Борисенко О.А..

Секретар секції – асист. Скордіна О.М.

Початок: 23 квітня 2019 р., ауд. ЕТ-211, 13⁰⁰

1. Про особливості шифрування в розподілених системах відображення числових даних.

Автори: проф. Борисенко О.А.,
доц. Бережна О.В.,
студ. **Яковлев М.М.**,
студ. Рахматоль О.О.,
студ. Фурса М.С.

2. Система передачі і відображення числових даних.

Автори: проф. Борисенко О.А.,
студ. **Хацько А.О.**
студ. Лащ Ю.В.,
студ. Литвиненко А.М.

3. Адаптивна система захисту від помилок на основі площинних кодів.

Автор: доц. Кулик І.А.,
здобувач Шевченко М.С.,
студ. **Гайворонська А.Г**

4. Розробка методів тривимірного (3D) біопринтингу для друку гелевими біополімерами.

Автори: доц. Колесник М.М.,
асист. Знаменщиков Я.В.,
асп. Дейнека В.М.,
студ. **Васильєв В.Р.**
студ. Васюхно К.В.

5. Структурні та оптичні властивості поліольно синтезованих нанокристалів ZnO легованих магнієм (Mg).

Автори: студ. **Недосєков К.М.**,
асист. Доброжан О.А.,
нач. НДЧ Курбатов Д.І.,
пров. фах. Степаненко А.А.

6. Чорнила на основі наночастинок ZnO призначені для 2D та 3D друку.

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

7. Перспективи використання CdS:Du як альтернативного віконного шару в приладах геліоенергетики.

Автори: мол. наук. співроб. **Єрьоменко Ю.С.**,
студ. Ярошенко Я.В.,
проф. Пономарьов О.Г.,
доц. Опанасюк Н.М.

8. Вплив тильних струмознімальних контактів на робочі характеристики сонячних елементів на основі плівок SnS.

Автори: мол. наук. співроб. Возний А.А.,
мол. наук. співроб. Єрьоменко Ю.С.
студ. **Ярошенко Я.В.**,
проф. Опанасюк А.С.,
докт. філ. Aurimas Cerskus

9. Оптимальна фільтрація сигналу на фоні флуктуаційної завади.

Автор – студ. Коник В. М.
Керівник – доц. Кобяков О.М.

10. Метод гамування для захисту текстових повідомлень.

Автори: – ст. викл. Протасова Т.О.,
наук. співр. Д'яченко О.В.,
студ. **Мірошниченко В.С.**

11. Оптимізація конструкції оптично-прозорих сонячних елементів на основі гетеропереходу $n\text{-Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O} / p\text{-Cu}_2\text{O}$.

Автори: студ. **Погуляй О.Р.**,
наук. співр. Д'яченко О.В.,
ст.викл. Іващенко М.М.,
проф. Опанасюк А.С.

12. Порівняння робочих характеристик фоточутливих приладових структур з віконними шарами CdS та ZnCdS.

Автори: мол. наук. співроб. **Єрмоменко Ю.С.**,
студ. Недосеков К.М.,
мол. наук. співроб. Возний А.А.,
проф. Опанасюк А.С.

13. Розробка принтерів для 2D і 3D друку плівок чорнилами на основі наночастинок напівпровідників та металів.

Автори: асп. **Гузенко О.І.**,
асист. Знаменщиков Я.В.,
наук. співр. Курбатов Д.І.,
студ. Шаповалов О.І.,
проф. Опанасюк А.С.

14. Use of femtosecond lasers to encode information.

Authors: Stud. **Sivni V.B.**,
Teacher Hnatenko O.S.

15. Плівки CZTS, отримані методом струменевого друку чорнилами на основі поліольно-синтезованих нанокристалів.

Автори: студ. **Васильєв В.Р.**,
асист. Доброжан О.А.,
доц. Опанасюк Н.М.,
проф. Опанасюк А.С.

16. Перспективи розвитку АВ-стиснення двійкових даних.

Автори: студ. **Савченко Ю.В.**,
доц. Кулик І.А.

17. Оптимізація конструкції сонячних елементів на основі гетеропереходу $n\text{-Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O} / p\text{-CuO}$.

Автори: студ. **Євдокименко В.Ю.**,
наук. співр. Д'яченко О.В.,
ст.викл. Іващенко М.М.,
проф. Опанасюк А.С.

18. Error detection in the codes on permutations.

Автори: Sen. Lect. Horiachev O.Y.,
Stud. **Laznenko Y.A.**

19. Оптимальна фільтрація сигналів: вплив адитивного шуму.

Автор – студ. Лізунов А.О.
Керівник – доц. Кобяков О.М.

20. Узгодження антени з фідером при передачі інформації.

Автори: доц. Новгородцев А.І.,
студ. **Саганяк О.О.**

21. Зниження дисперсії в опто-волоконній лінії зв'язку.

Автори: доц. Новгородцев А.І.,
студ. **Токаренко Д.В.**

22. Автоматизація вуличного освітлення.

Автор – студ. Лобуренко Б.М.
Керівник – ст.викл. Протасова Т.О.

23. Система клімат контролю для кімнатних квітів

Автор – студ. Лаврик А.В.
Керівник – ст.викл. Протасова Т.О.

24. Цифровий синтезатор сигналів довільної форми.

Автори: доц. Гриненко В.В.,
студ. **Недосєков К.М.**

25. Генератор сигналів КХ діапазону на основі методу непрямого когерентного синтезу.

Автори: доц. Гриненко В.В.,
студ. **Євдокименко В.Ю.**

СЕКЦІЯ № 6 «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

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

Секретар секції – асист. Макуха Д.М.

Початок: 24 квітня 2019 р., ауд. М 308, 13⁰⁰

1. Вимірювання показників якості електроенергії.

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

2. Перспективи розвитку ринку SMART GRID в Україні.

Автори: доц. В'юненко О.Б.,
доц. Толбатов А.В.

3. Нові напрями освіти з питань відновлювальної енергетики.
Автори: доц. В'юненко О.Б.,
доц. Толбатов А.В.
доц. Толбатов В.А.
4. Прогнозування швидкості вітру з використанням штучних нейронних мереж для вітрових електростанцій.
Автор: доц. В'юненко О.Б.,
доц. Толбатов А.В.
5. Апроксимація вольт-амперних характеристик.
Автори: доц. Ащепкова Н.С.,
студ. **Ащепков С.А.**
6. Розробка моделі перехідних процесів в електричній мережі напругою 0,4 кВ.
Автори: ст. викладач Лебедка С.М.,
студ. **Кучерявий Р.М.**
7. Модель іонного двигуна.
Автори: асист. Макуха Д.М.,
студ. **Ходун С.О.**,
студ. **Фісенко О.В.**
8. Побудова Моделі контактної мережі постійного струму для розрахунку втрат напруги на потужності в її елементах.
Автори: доц. Петровський М.В.,
студ. **Торяник Р.О.**
9. Спосіб визначення струму витоку по поверхні тарілчастого ізолятора типу ПФ-70А.
Автори: проф. Шевченко С.Ю.,
ст. викл. Данильченко Д.О.,
асп. **Борзенков І.І.**

10. Застосування установок розподіленої генерації та вплив їх на параметри мережі.

Автори: – доц. Волохін В.В.
студ. **Заведенко А.О.**

11. Генерування високовольтних напруг за допомогою помножувача напруги Кокрофта-Уолтона.

Автори: – студ. **Петренко Н.С.**

12. Дослідження роботи трифазного лінійного двигуна на основі моделі трифазного синхронного двигуна обертального руху в пакеті MATLAB.

Автори: доц. Волохін В.В.,
студ. **Полевик А.М.**

13. Розв'язок ресурсоемних обернених задач електротехніки методами сурогатної оптимізації.

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

14. Дослідження напрацювань ламп розжарювання приладів головного освітлення автомобілів.

Автори: доц. Веснін А.В.,
доц. Почужевський О.Д.,
студ. Почужевська Ю.Л.

СЕКЦІЯ 1

**«Фізика та методика викладання
фізики»**

Залучення до науково-дослідної роботи як обов'язковий елемент підготовки майбутнього фахівця у закладах вищої освіти

Кудрявцев Д.В., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Обов'язковим елементом підготовки майбутніх фахівців у закладах вищої освіти є залучення їх до науково-дослідної роботи. Її основи закладаються на молодших курсах, а основний акцент переноситься на старші. Студенти молодших курсів ще не володіють навичками наукового дослідження, що ускладнює його проведення. Виконання невеликих за обсягом науково-дослідних завдань у рамках предметів, що вивчаються, участь у роботі наукових семінарів та студентських наукових конференцій сприяє формуванню у студентів умінь використовувати методи наукового дослідження. Наукова творчість особливо яскраво виявляється під час написання курсової роботи. Студент ознайомлюється з науковими джерелами інформації з досліджуваної теми, аргументує її вибір, порівнює різні погляди на проблему, формує власну оригінальну думку, спирається на неї при дослідженні практичних матеріалів та оцінює практичність отриманих навичок для вирішення проблем. Написання курсової роботи сприяє формуванню у студентів навичок послідовно і професійно аргументувати виклад своїх думок, робити узагальнення та висновки. Результати виконання студентом роботи доцільно обговорювати на студентських наукових семінарах чи конференціях. Вагомі результати досліджень студенти публікують у матеріалах конференцій та наукових фахових виданнях як самостійно, так і в співавторстві з науковими керівниками. Дослідження, розпочаті під час написання курсової роботи, для багатьох студентів є основою для вибору теми кваліфікаційної роботи, а також проведення наукових досліджень у складі науково-дослідної групи. Для активного залучення студентів до науково-дослідної роботи викладачі використовують широкий арсенал різних видів самостійної роботи. Головним завданням, що стоїть перед керівником, є формування навичок дослідницької роботи студента, активізація індивідуальних творчих здібностей та самоорганізації, які б стали базовими в подальшій його навчальній і науковій роботі на ступені магістратури та аспірантури.

Керівник: Шкурдода Ю.О., *доцент*

Використання історичного матеріалу під час вивчення елементарних частинок у курсі загальної фізики

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

Фізика наука природнича, а тому вона є основою сучасного природознавства. З огляду на ґрунтовність сучасних відкриттів, переважно у фізиці елементарних частинок та очевидне відставання освітніх стандартів та навчальних програм від сучасного рівня розвитку фізики, можна констатувати потребу в актуалізації курсу загальної фізики та приведенні його у відповідність із рівнем розвитку сучасної науки. Вивчення фізики елементарних частинок доцільно розпочати саме з історичних передумов та хронології їх відкриття.

Перша відкрита елементарна частинка – носій негативного елементарного електричного заряду в атомах – електрон. У 1911 р. Резерфорд, пропускаючи альфа-частинки від природного радіоактивного джерела через тонкі фольги різних речовин, з'ясував, що бажаний позитивний заряд в атомах зосереджений в компактних утвореннях – ядрах, а 1919 виявив серед частинок, вибитих з атомних ядер, протони – частинки з одиничним позитивним зарядом.

Інша частинка, що входила до складу ядра, – нейтрон – відкритий у 1932 р. Дж. Чедвиком при дослідженнях взаємодії α -частинок з Берилію.

М. Планк припустивши, що енергія електромагнітного випромінювання абсолютно чорного тіла квантована, отримав формулу для спектра випромінювання. Саме з його роботи бере свій початок висновок про існування частинки електромагнітного поля – фотона. А. Ейнштейн (1905) постулював, що електромагнітне випромінювання (світло) насправді є потоком окремих квантів (фотонів), та пояснив закономірності фотоефекту. Прямі експериментальні докази існування фотона було дано Р. Міллікеном (1912– 1915) та О. Комптоном (1922).

Відкриття нейтрино бере свій початок від теоретичних здогадів У. Паулі (1930). Експериментально існування нейтрино було підтверджено лише 1953 (Ф. Райнес і К. Коуен, США).

У 1932 р у складі космічних променів Д. Андерсоном був виявлений позитрон (e^+) – частинка, маса якої рівна масі електрона, але з позитивним електричним зарядом.

У 1936 р. американські фізики Д. Андерсон і З. Неддермейер під час дослідження космічних променів виявили мюони (обох знаків електричного заряду) У 1947 р. у космічних променях групою З. Пауелла було відкрито p^+ і p^- мезони, які відіграють значну роль у взаємодії протонів з нейтронами в ядрах. Про існування подібних частинок було висловлене припущення Х. Юкавою ще у 1935 р.

Із початку 50-х рр. минулого століття прискорювачі перетворилися на основний інструмент дослідження елементарних частинок. У 1970-х рр. енергії частинок, розігнаних на прискорювачах, склали десятки і сотні гігаелектрон-вольт. Прискорювачі істотно збільшили темп отримання нових даних і у стислі терміни розширили та збагатили наше знання властивостей мікросвіту.

Удосконалення протонних прискорювачів з енергіями порядку мільярдів електрон-вольт дозволило відкрити важкі античастинки. У 1964 р. відкрили найважчий гіперон Ω . У 60-х рр. На прискорювачах було відкрито велику кількість вкрай нестійких частинок, які отримали назву «резонансів». Виявилось, що резонанси становлять переважну більшість елементарних частинок.

У 1962 р. було з'ясовано, що є два типи нейтрино: електронне і мюонне. У 1974 р. були відкриті масивні (близько 3-4 протонів) та водночас стійкі γ -частинки, з часом життя, незвичайно великим для резонансів. Вони були тісно пов'язані з новими сімейством елементарних частинок – «зачарованих». У 1977 р. було відкрито γ -частинки з масою порядку десяти мас протона.

Насамкінець, варто зауважити, що майже все, що нині відомо науці про Всесвіт, було отримано внаслідок тривалих спостережень та ґрунтовних експериментів. Формування знань студентів про те, яким чином та за допомогою якого обладнання виявляють елементарні частинки, а також створення умов для глибокого і повного розуміння фізичних основ роботи системи їх детектування сприяє створенню раціонального підґрунтя для усвідомлення складної структури матерії та формування у випускника цілісної фізичної картини світу.

Керівник: Пасько О. О., старший викладач

Вплив інтерфейсного розсіювання на терморезистивні властивості багатшарових плівкових систем на основі пермалою та срібла

Шуляренко Д.О., *аспірант*; Ромась О.В., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розвиток нових напрямків сучасної електроніки стимулює пошуки нових нанорозмірних матеріалів для модифікації елементної бази. Основна вимога до таких матеріалів – це висока стабільність до дії факторів зовнішнього середовища та широкий спектр функціональних можливостей. Для покращення, наприклад, робочих параметрів сенсорів неелектричних величин необхідно не тільки розуміти фізичну природу явищ, що лежать в основі їх роботи, а й визначити взаємозв'язок цих явищ з фізичними процесами (фазоутворення, взаємна дифузія атомів тощо) в об'ємі зразка.

У роботі було показано як впливає на терморезистивні властивості інтерфейсний механізм розсіювання на межі поділу шарів на величину питомого опору (ρ) і термічного коефіцієнту опору (β) багатшарови плівкови систем, сформованих на основі пермалою $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ та Ag . Для коректного аналіз впливу інтерфейсного розсіювання на величину ρ і β сформовані системи повинні мати однакову загальну товщину, незмінну концентрацією складових компонент та різну кількістю інтерфейсів. Для цього була отримана серія зразків типу $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Ag}]_n/\text{П}$ (П – ситалові підкладка, $n = 1-16$ – кількість повторів фрагменту системи) однакової загальної товщини (54 нм). Термообробка зразків проводилася у вакуумі протягом двох циклів «нагрівання \leftrightarrow охолодження» у температурному інтервалі 300-600 К. Проведений порівняльний аналіз експериментальних залежностей $\rho(T)$ та $\beta(T)$ для систем $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Ag}]_n/\text{П}$ показав, що збільшення кількості повторів бішару $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Ag}$ призводить до: зростання питомого опору від $0,78 \cdot 10^{-7}$ до $2,40 \cdot 10^{-7}$ Ом·м та зменшення величини ТКО від $4,70 \cdot 10^{-3}$ до $2,23 \cdot 10^{-3}$ К $^{-1}$. Таку зміну терморезистивних властивостей можна пояснити дією додаткового механізму розсіювання електронів на інтерфейсі.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0119U100777 (2019-2021 рр).

Керівник: Пазуха І.М., *доцент*

Використання віртуальних робіт у лабораторному практикумі з фізики

Лисенко О.М., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розширити методичні можливості при навчанні студентів фізики на сучасному етапі допомагає використання інформаційно-комп'ютерних технологій. Ресурси сучасних комп'ютерних систем у цілому достатні для проведення якісного модельного експерименту з екранною візуалізацією процесів.

При виконанні лабораторних робіт студенти набувають навички користування фізичними приладами та самостійного експериментування. Однак існує велика кількість процесів, механізми роботи яких відомі, але безпосереднє їх спостереження неможливе в реальному часі або ж експеримент дуже громіздкий і дорогий. Зокрема, це стосується більшості процесів ядерної фізики, квантової механіки, фізики напівпровідників, які відбуваються на мікроскопічному атомарному або молекулярному рівнях. У таких випадках доцільним є використання віртуальних лабораторних робіт під час навчання студентів фізиці.

Використання тих чи інших віртуальних лабораторних робіт залежить від того, які завдання ми будемо вирішувати. Наприклад, студентам можна запропонувати самостійно у домашніх умовах виконати віртуальну лабораторну роботу, яка дублює ту, що виконується в лабораторії. Після виконання роботи в лабораторії студент порівнює дані, отримані на самій лабораторній роботі та на змодельованому експерименті на віртуальній.

Віртуальну лабораторну роботу можна використати у випадку, коли немає можливості провести дослідження фізичного явища чи процесу в лабораторних умовах. Крім цього, студенту можна запропонувати творче завдання знайти в мережі «Internet» віртуальну лабораторну роботу з фізики.

Зазвичай віртуальні лабораторні роботи не можуть замінити експеримент, поставлений в лабораторних умовах, але в багатьох випадках, віртуальні лабораторні роботи можна ефективно використовувати для навчання студентів.

Керівник: Шкурдода Ю.О., *доцент*

Сервіси Google в організації тестування студентів з фізики

Загорулько А.Ю., студентка
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Сучасний рівень розвитку інформаційних технологій вимагає від працівників освітніх установ володіння сучасними освітніми технологіями та методикою їх використання у навчальному процесі. Використання «хмарних» сервісів має низку переваг в організації тестового контролю знань студентів порівняно з традиційними його формами. Серед онлайн-сервісів, передбачених для організації тестового контролю, насамперед, варто виокремити Google.

Google надає можливість створювати опитувальники за допомогою сервісу Forms. Створена форма зберігається «на хмарі», і для доступу до неї потрібно зробити на неї посилання. Forms надає можливість створювати тести з однією або кількома відповідями; запитання з розгорнутою або короткою формою відповіді; завдання на встановлення відповідності. Недоліком є те, що здійснювати перевірку правильності виконання оформлених таким чином завдань необхідно «у ручному режимі».

Окрім створення опитувальника, Google Forms має функцію формування тестових завдань з автоматичною перевіркою. Дану функцію мають форми завдань з однією та декількома правильними відповідями.

Організація тестування студентів за допомогою Google Forms надає викладачеві можливість оптимального та регулярного контролю навчальних досягнень тих, хто навчається.

Послідовність дій під час створення тесту за допомогою Google Forms є наступною. Обрати у меню «Налаштування» - «Тест» та змінити положення перемикача на «Увімкнути оцінки». У даному розділі налаштувань можна встановити додаткові налаштування. При цьому відразу після надсилання форми з'являються додаткові параметри показу: загальна сума балів, бали за кожне питання окремо, показ правильної відповіді на запитання, ідентифікація запитань з неправильними відповідями. По завершенні налаштувань необхідно натиснути кнопку «Зберегти».

Корисною під час навчання фізики є функція «Додати відгук до відповіді», що може містити коментар завдання, який з'явиться після

проходження тесту. Форма коментаря може містити два поля. У залежності від правильності виконання завдання відобразатися буде лише одна з них.

Для вчителя у Google Forms існує вкладка «Відповіді», де він має змогу переглядати їх у двох режимах – «Усі відповіді» та «Окремий респондент». Під час формування сервісом загальної статистики відображається середньогрупова оцінка та мінімальна й максимальна оцінки за тест. За отриманими даними автоматично будується графік, який наочно демонструє стан засвоєння студентами навчального матеріалу.

Особливо важливими для виявлення типових помилок студентів є відображення питань, у відповідях на які вони найчастіше робили помилки під час роботи з тестом. Ресурс вказує кількість студентів від загального їх числа, які зробили помилку в тому чи іншому завданні. Для педагога ця функція є дуже зручною, оскільки дозволяє зорієнтуватися, які питання викликали у групи труднощі та зацентувати подальшу увагу на корекцію знань студентів.

Для перегляду результатів конкретної особи потрібно перейти в режим «Окремий респондент». У даному розділі відображуються ті ж самі дані, що і у випадку всієї групи, але індивідуально по кожному респонденту. Повну статистику тесту з Google Forms можна експортувати до електронних таблиць Microsoft Excel.

Під час виконання перших тестових завдань студенти самостійно реєструють свій аккаунт на сайті www.gmail.com. Пізніше викладач створює для кожного класу Google-групу. У форумах групи зручно розміщувати завдання до заняття, робочі матеріали, що дозволяє виконувати завдання не тільки присутнім на занятті, а й тим, хто з певної причини був відсутній.

Таким чином, сервіс Google Forms, завдяки власному набору функцій, можна вважати одним із ключових засобів організації систематичного контролю знань студентів. Вказана форма тестування виконує орієнтувальну та дисциплінарну функції та має сприятливий вплив на якість засвоєння навчального матеріалу кожним студентом.

Керівник: Пасько О.О., *старший викладач*

Стандартна модель фізики елементарних частинок як фізична теорія

¹Лебединська Ю.С., студентка; ²Козін І.Д., студент

¹Сумський державний педагогічний університет
імені А.С.Макаренка, м. Суми, Україна

²Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Визначальним для системи загальної середньої освіти має бути забезпечення відповідності змісту понять та законів шкільного курсу фізики сучасній фізичній науці. Реалізація цієї відповідності можлива шляхом генералізації навчального матеріалу з курсу фізики старшої школи навколо структури *фізичної теорії* як провідної форми наукового знання. Сьогодні Стандартна модель фізики елементарних частинок є одним із найважливіших узагальнень фізики високих енергій. Вона може бути розглянута як фізична теорія, яка класифікує елементарні частинки відповідно до їхніх зарядів та описує, як вони взаємодіють через фундаментальні взаємодії.

У методиці навчання фізики сформовано повні набори істотних ознак, що створюють цілісне уявлення про кожну одиницю навчального змісту шкільного курсу фізики, зокрема, і про фізичну теорію. Їх перелік поданий у пояснювальній частині навчальних програм з фізики. Відповідно до нього, загальна характеристика фізичної теорії має містити: 1) перелік наукових фактів, які стали підставою розроблення теорії, її емпіричний базис; 2) понятійне ядро теорії, визначення базових понять і моделей; 3) основні положення, ідеї та принципи, покладені в основу теорії; 4) рівняння й закони, що визначають математичний апарат теорії; 5) коло явищ і властивостей тіл, які дана теорія може пояснити або передбачити їхній перебіг; 6) межі застосування теорії. Формування знання про фізичну теорію передбачає засвоєння повного набору істотних ознак, що створюють цілісне уявлення про неї та систему дій, що ґрунтуються на цих знаннях. Ознайомлення учнів зі структурою фізичної теорії під час вивчення фізики розв'язує подвійну задачу: забезпечує засвоєння основ наукових знань та опанування способом наукового мислення.

Перш за все, під час розгляду Стандартної моделі фізики елементарних частинок як фізичної теорії ключове значення мають **фундаментальні дослідження**, що складають її *емпіричний базис*, а також,

досліди, що підтверджують її логічні наслідки.

Понятійне ядро Стандартної моделі фізики елементарних частинок утворюють базові поняття – елементарна частинка, фундаментальні взаємодії, античастинка. Ключовою моделлю цієї теорії є *модель атома*, яка еволюціонувала відповідно до розвитку фізичної науки.

Основні положення Стандартної моделі можна сформулювати у вигляді таких тверджень. 1. Уся речовина утворена 12-ма фундаментальними частинками – *ферміонами* трьох поколінь, із яких 6 *лептонів* та 6 *кварків*. 2. Кварки беруть участь в сильних, слабких та електромагнітних взаємодіях; заряджені лептони – у слабких та електромагнітних. 3. Існування усіх трьох типів взаємодій пояснюються завдяки постулюванню симетрії відносно трьох типів калібрувальних перетворень.

Теоретичні узагальнення Стандартної моделі сформульовані у вигляді системи рівнянь Лагранжа, однак цей **математичний апарат** є занадто складним для розгляду його у курсі фізики закладів загальної середньої освіти.

Стандартна модель фізики елементарних частинок забезпечує унікальний та «елегантний» **опис** трьох із чотирьох фундаментальних взаємодій (крім гравітації) між елементарними частинками. Взаємодії опосередковані їх відповідними частинками взаємодії: фотонами (γ) для електромагнітної взаємодії, слабкими бозонами (W^- , W^+ , Z_0) для слабкої взаємодії та глюонами (g) для сильної взаємодії.

Межі застосування. Дотепер всі прогнози Стандартної моделі підтверджувалися експериментами з великою точністю. У ході останнього успішного експерименту, що проводився на Великому адронному колайдері (CERN) та завершився у 2012 році, було виявлено бозон Хіггса. Разом з тим, очевидно, що вона не може бути останнім словом у фізиці елементарних частинок, оскільки містить багато зовнішніх параметрів, а також не враховує гравітацію.

Отже, Стандартна модель фізики елементарних частинок є одним із найважливіших узагальнень фізики високих енергій та має бути розглянута під час вивчення відповідних тем курсу фізики загальноосвітніх навчальних закладів.

Керівники: Салтикова А.І., доцент
Пасько О.О., старший викладач

Залежність асимптотики нормування S- стану хвильової функції від радіуса дейтрона

Жаба В.І., *старший викладач*

Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна

Хвильова функція описує квантово-механічну систему. Знання хвильової функції дейтрона (ХФД) дозволяють одержати максимальну інформацію про зв'язану систему «нейтрон–протон» і теоретично обчислювати та передбачати ті характеристики, які визначають на експерименті. Якщо відома ХФД в координатному представленні, тоді можна розрахувати наступні параметри дейтрона [1, 2]:

- середньоквадратичний радіус («matter radius»):

$$r_d = \frac{1}{2} \left\{ \int_0^{\infty} r^2 [u^2(r) + w^2(r)] dr \right\}^{1/2}; \quad (1)$$

- магнітний момент; електричний квадрупольний момент;

- вклад D- стану;

- асимптотику D/S- стану:

$$\eta = A_D / A_S, \quad (2)$$

де A_S і A_D – асимптотики нормування S- і D- станів; $u(r)$ і $w(r)$ – радіальні ХФД в координатному представленні.

В роботі [3] описано залежність асимптотики нормування S- стану від радіуса дейтрона для наявних на той час потенціалів (Хамада-Джонстона, Гумберстона, Тоурейла-Шпрунга, Рейда (Reid 68), Єльського, Парижського та Боннського). Згідно приведених даних в [3] залежність $A_S=f(r_d)$ виявилася лінійною.

Проаналізовано чисельні значення параметрів дейтрона (в тому числі радіус дейтрона r_d й асимптотика нормування S- стану A_S), які одержані в роботі [4] по аналітичним формам ХФД в координатному представленні для потенціалів Неймегенської групи (Nijm I, Nijm II, Nijm 93, Reid 93) та потенціалу Argonne v18.

Залежність асимптотики нормування S- стану від радіуса дейтрона приведено на Рисунку 1. Приведено чисельні значення параметрів дейтрона A_S і r_d для потенціалів Nijm I, Nijm II, Nijm 93, Reid 93 і Argonne v18 (згідно [4]), а також вказано результати для інших потенціальних моделей в оригінальних роботах (Боннського CD-Вопн

[2], Paris [5], кірального N3LO [6], delta shell [7]). Хоча для потенціалів Неймегенської групи спостерігається певна лінійна залежність для $A_S=f(r_d)$, проте в цілому наявний очевидний розкид значень A_S , одержаних для різних потенціальних моделей. Робити висновки про певну загальному закономірність поведінки асимптотики нормування S- стану можна тільки після вияснення її значень для радіуса дейтрона в області $r_d=1.968-1.971$.

Перспективними є дослідження залежностей інших параметрів дейтрона [8]: магнітного μ_d і квадрупольного Q_d моментів від асимптотика D/S- стану.

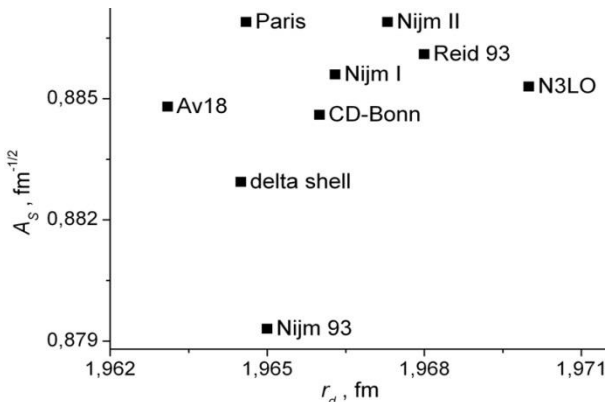


Рисунок 1 – Залежність $A_S=f(r_d)$.

1. J.M. Blatt, V.F. Weisskopf, *Theoretical nuclear physics* (New York: Wiley: 1958).
2. R. Machleidt, *Phys. Rev. C* **63**, 024001 (2001).
3. T.E.O. Ericson, *Nucl. Phys A* **416**, 281 (1984).
4. В.І. Жаба, *Журнал фізичних досліджень* **23**, 1102 (2019).
5. M.W. Kermode, A. McKerrell, J.P. McTavish, L.J. Allen. *Z. Phys. A* **303**, 167 (1981).
6. D.R. Entem, R. Machleidt, Y. Nosyk, *Phys. Rev. C* **96**, 024004 (2017).
7. R.N. Perez, J.E. Amaro, E. Ruiz Arriola., *Phys. Rev. C* **88**, 024002 (2013).
8. F.M. Lev, E. Pace, G. Salme, *Phys. Rev. Lett.* **83**, 5250 (1999).

Мотивація при вивченні фізики

Марінченко Г.Є., *студент*; Бородій І.О., *студент*
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Практично вся сучасна техніка ґрунтується на фізичних законах. Проте, рівень знань студентів з фізики залишається досить низьким внаслідок несприйняття фізичних явищ через математичні формули. У такому разі важливе місце в навчанні повинно відводитися візуальному сприйняттю фізичних процесів.

Отже, при вивченні студентами технічних вузів курсу загальної фізики, важливу роль відіграє мотивація студентів. Для посилення мотивації у вивченні законів та вмінні застосувати їх на практиці дуже важливим аспектом виступає зацікавленість студента, прагнення дійти до фізичної суті, основи. Для цього необхідно насичувати лекційний матеріал наочністю, спробувати візуалізувати чи аудіювати ті явища чи процеси, які людина не здатна побачити чи почути внаслідок фізіологічних меж сприйняття. Зокрема, як приклад, можна показати вигляд магнітного поля звичайного штабового магніту. Ще у школі учням демонструють вигляд магнітного поля провідника зі струмом чи постійного магніту за допомогою феромагнітних ошурків, які розміщують на певній горизонтальній поверхні. Для перетворення плоскої картини поля в об'ємну можна використати феромагнітну рідину. Найпростішу феромагнітну рідину можна створити за допомогою звичайного чорнила для принтерів, яке містить у собі феромагнітні частинки. Для збільшення поверхневого натягу потрібно додати невелику кількість олії. Тоді феромагнітна рідина при внесенні її в магнітне поле відіграє роль його візуалізатора. За зміною поверхні цієї рідини, можна спостерігати, куди направлені лінії напруженості, де поле сильніше тощо.

Ще один приклад – почути змінне електромагнітне поле. Для цього можна ознайомити студентів з дією музичного приладу – терменвокса. Почути звучання можна за допомогою відео та аудіо записів.

Така наочність демонструє студентам, що фізика – це наука, яка дозволяє розширити фізіологічні можливості людини, зрозуміти і використати в своїх цілях багато явищ, «зазирнути за межі сприйняття».

Керівник: Сакун Т.М., *доцент*

Використання сенсорної техніки у лабораторному практикумі

Ярмоленко А.В., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

При вивченні курсу «Датчики неелектричних величин» студентами спеціальності «Електроніка», має певне навчально-методичне навантаження лабораторний практикум, в якому використовується сенсорна техніка. Мета нашої роботи полягає в ілюстрації на прикладі лабораторної роботи «Конструкція, технологічні параметри і методика вимірювання концентрації газів за допомогою датчика MQ-5 та MQ-7». Фіксація диму сенсором GP2Y10 та визначення температури та вологості повітря».

Порядок виконання роботи наступний: ознайомитися з конструкцією, принципом роботи газових датчиків, датчика температури та вологості повітря та сенсора пилу та диму; підключити всі обрані датчики та модуль Bluetooth до платформи Arduino; підключити живлення до платформи; перевірка на зчитування інформації з сенсорів; порівняти отримані результати з результатами тестування. На рисунку представлені результати тестування системи контролю газового середовища. Як видно з рисунку створена система відправляє дані як на COMпорт по USBінтерфейсу так і по Bluetoothз'єднанню. Зліва показаний результат, отриманий з USBпорту комп'ютера, а справа – дані отримані через Bluetoothна мобільний пристрій на базі операційної системи Android. Дані отримуються у виді блоків та показують такі параметри як: Temperature – поточна температура приміщення, Humidity – поточна відносна вологість повітря, LPGlevel – концентрація пропан-бутану в частинках/ 10^6 , Methanelevel – концентрація метану в частинках/ 10^6 , Carbonmonoxide(CO) level – концентрація чадного газу в частинках/ 10^6 , Dustdensitylevel – щільність диму в мікрограмах/ m^3 . У кожному з виділених блоків знаходиться результати одного циклу опитування сенсорів. У першому з них знаходяться дані, які відповідають нормальним значенням без домішки сторонніх газів, але присутній дим, їх можна вважати еталонними, а саме: температура – $20^{\circ}C$, відносна вологість – 24%, концентрація LPG – 0 частинок/ 10^6 , концентрація метану –

0 частинок/10⁶, концентрація чадного газу – 0 частинок/10⁶, щільність диму – 27,6 мкг/м³. Після потрапляння суміші газів до сенсорів, значення різко зросли і стали такими: температура – 20°C, відносна вологість – 25%, концентрація LPG – 18 частинок/10⁶, концентрація метану – 18 частинок/10⁶,

The image shows two overlapping screenshots from a mobile application. The left screenshot displays a list of sensor readings for a device labeled 'COM3'. The right screenshot shows a terminal window with a log of these readings over time.

COM3 Sensor Data:

- Dust density level: 220.92 ug/m³
- Temperature: 20 celsius
- Humidity: 24 %
- LPG level: 0 ppm
- Methane level: 0 ppm
- Carbone monoxide(CO) level: 0 ppm
- Dust density level: 213.36 ug/m³
- Temperature: 20 celsius
- Humidity: 25 %
- LPG level: 0 ppm
- Methane level: 0 ppm
- Carbone monoxide(CO) level: 1 ppm
- Dust density level: 236.04 ug/m³
- Temperature: 20 celsius
- Humidity: 25 %
- LPG level: 9 ppm
- Methane level: 18 ppm
- Carbone monoxide(CO) level: 5 ppm
- Dust density level: 229.32 ug/m³
- Temperature: 20 celsius
- Humidity: 25 %
- LPG level: 8 ppm
- Methane level: 15 ppm
- Carbone monoxide(CO) level: 5 ppm
- Dust density level: 238.56 ug/m³
- Temperature: 20 celsius
- Humidity: 24 %
- LPG level: 8 ppm
- Methane level: 16 ppm
- Carbone monoxide(CO) level: 3 ppm
- Dust density level: 196.56 ug/m³
- Temperature: 20 celsius
- Humidity: 24 %
- LPG level: 6 ppm
- Methane level: 12 ppm
- Carbone monoxide(CO) level: 2 ppm
- Dust density level: 195.72 ug/m³

Terminal Log:

```

17:57:52.640 LPG level: 0 ppm
17:57:52.657 Methane level: 0 ppm
17:57:52.674 Carbone monoxide(CO) level: 0 ppm
17:57:52.714 Dust density level: 220.92 ug/m3
17:57:55.449 Temperature: 20 °C
17:57:55.450 Humidity: 24 %
17:57:55.450 LPG level: 0 ppm
17:57:55.487 Methane level: 0 ppm
17:57:55.487 Carbone monoxide(CO) level: 0 ppm
17:57:55.523 Dust density level: 213.36 ug/m3
17:57:58.262 Temperature: 20 °C
17:57:58.280 Humidity: 25 %
17:57:58.280 LPG level: 0 ppm
17:57:58.316 Methane level: 0 ppm
17:57:58.316 Carbone monoxide(CO) level: 1 ppm
17:57:58.354 Dust density level: 236.04 ug/m3
17:58:01.094 Temperature: 20 °C
17:58:01.095 Humidity: 25 %
17:58:01.095 LPG level: 9 ppm
17:58:01.129 Methane level: 18 ppm
17:58:01.130 Carbone monoxide(CO) level: 5 ppm
17:58:01.186 Dust density level: 229.32 ug/m3
17:58:03.925 Temperature: 20 °C
17:58:03.925 Humidity: 25 %
17:58:03.925 LPG level: 8 ppm
17:58:03.944 Methane level: 15 ppm
17:58:03.998 Carbone monoxide(CO) level: 5 ppm
17:58:04.035 Dust density level: 238.56 ug/m3
17:58:06.739 Temperature: 20 °C
17:58:06.755 Humidity: 24 %
17:58:06.755 LPG level: 8 ppm
17:58:06.791 Methane level: 16 ppm
17:58:06.791 Carbone monoxide(CO) level: 3 ppm
17:58:06.848 Dust density level: 196.56 ug/m3

```

концентрація чадного газу – 5 частинок/10⁶, щільність диму – 236 мкг/м³. У певний момент спрацював бузер, що вказує на те, що показники стали більшими за норму. Після зменшення значень до таких, які подані у останньому блоці, бузер перестав видавати сповіщення, що вказує на те, що значення всіх сенсорів лежать в межах норм, а саме – концентрація LPG – 10 частинок/10⁶, концентрація метану – 30 частинок/10⁶, концентрація чадного газу – 10 частинок/10⁶, щільність диму – 200 мкг/м³.

Керівник: Шумакова Н.І., доцент

СЕКЦІЯ 2

«Наноматеріали: властивості та застосування»

Вплив параметрів магнетронного розпилення на структуру та властивості нанокompозитних покриттів

Мілашечкін О.О., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У даний час іонно-плазмові методи отримання плівок із заданими властивостями знову представляють дослідницький інтерес, що пов'язано як з модернізацією технічних особливостей розпилювальних систем, так і з більш глибоким розумінням впливу енергетики і кінетики процесів масопереносу при осадженні плівок. Більшість сучасних установок для отримання покриттів характеризуються певним набором зовнішніх і внутрішніх параметрів, за рахунок яких можна чинити певний вплив на утворення плазми, розпорошення і осадження зразків. Залежно від певних змін даних параметрів змінюються характеристики плазми у вакуумній камері, що в кінцевому підсумку приводить до формування конкретної структури з певними складом і властивостями.

Магнетронне розпилення – метод отримання покриттів за допомогою катодного розпилення в плазмі діодного розряду схрещених електричного і магнітного полів. Основними перевагами магнетронного розпилення [1] можна вважати: високі швидкість розпилення і адгезію до підкладки, однорідність осадженої поверхні, гарну чистоту, простоту автоматизації, а також здатність осаджувати покриття на чутливі до нагрівання підкладки. Плівки, отримані методом магнетронного розпилення, мають стехіометрію, що більше відповідає складу матеріалу мішені у порівнянні з методом термічного випаровування. Використання подвійних магнетронних систем дозволяє осаджувати кілька покриттів за один технологічний цикл.

Існує численна варіативність конфігурацій магнетронних систем, а також технічних рішень, що грають істотну роль, як при формуванні газового розряду, так і при процесі розпилення. Тому для створення оптимальних умов росту плівок із заданими властивостями необхідно враховувати принципи формування розряду і його основні параметри.

Керівник: Космінська Ю.О., доцент

1. Swann S. *Phys. Technol.* **19**, 67 (1988).

Пористі структури на основі ZnO для літій іонних батарей

Шевченко С.Т., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

За останні два десятиліття акумуляторні літій іонні батареї широко використовуються як джерела енергії для транспортних засобів та електроніки. Оксиди металів є гарними альтернативами графіту в якості анодних матеріалів, і вони можуть забезпечувати набагато більш високі можливості, навіть при високій щільності струму.

ZnO є матеріалом з низькою провідністю, а такий електрод часто страждає втратою електричного контакту, що виникає внаслідок великої зміни обсягу під час процесу розряду-зарядки.

Відомо, що потужності немодифікованих матеріалів ZnO часто дуже швидко падають при циклічній обробці навіть при низькій щільності струму, а після декількох циклів залишається тільки $<200 \text{ мАг}^{-1}$ [1]. Пористі наночастиці ZnO [2], вирощені на підкладках з мідної фольги, мають переваги гарного електричного контакту, короткої довжини дифузії і гарної толерантності до зміни об'єму.

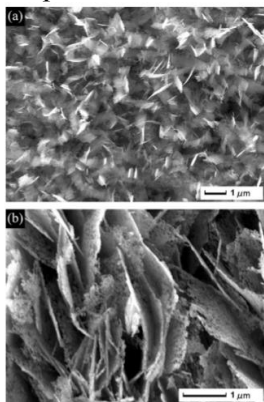


Рисунок 1 – SEM-зображення пористих наночастиць ZnO, вирощених на мідних підкладках [2]

Керівник: Перекрестов В.І., професор

1. H. Wang, Q. Pan, Y. et al. *Electrochim. Acta* **54**, 2851(2009).
2. Huang, X. H., Xia, X. H., et al. *Electrochim. Acta*, **56(14)**, 4960 (2011).

The impact of laser radiation on nanoparticles, which using in medical

Obozna V.P., *Student*; Hnatenko O.S., *Teacher*
Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine

Today, one of the most important areas of medicine is the fight against cancer tumors. There are methods of treatment with radiation devices, in this case, a large part of the surface of the affected organs and organs bordering the affected one is irradiated, thus, cells not affected by the disease die. Also, another method of treatment is chemotherapy, such treatment adversely affects the entire body.

This paper proposes a method of modified chemotherapy, which consists in the use of nanoparticles of porous silicon. These pores are filled with medicine for chemotherapy. Using the property of malignant tumors to accumulate inside themselves any inclusions, the nanoparticle with the drug is localized exactly in the area where it is necessary to neutralize the actions of cancer cells. To prevent the loss of a beneficial drug during transport, the nanoparticles are coated with a heat-sensitive polymer. In order to speed up the process of action of the drug container, thereby concentrating most of it on the tumor, the nanoparticles are irradiated with infrared radiation. In consequence of this, the destruction of porous silicon, which is very sensitive to laser radiation, occurs, and the drug is localized on the malignant tumor.

Therefore, the study investigated the effect of laser radiation on silicon nanoparticles, namely the parameters of a femtosecond fiber laser were investigated: radiation energy density, pulse duration, light pressure. All these parameters lead to the combustion of silicon directly on the tumor or crushing the nanoparticles. At the same time, in a short impulse time, only a local temperature increase occurs, which will not cause negative consequences for surrounding tissues. And the remains of porous silicon are processed by the body to silicic acid, which is useful for cells. It is also known that excess silicon in the body is processed into silicic acid for 13 days.

It is suggested to check the effect and presence of nanoparticles at the site of tumor localization using Raman spectroscopy. This method allows using laser radiation to determine the composition of living cells.

Ван-дер-ваальсівська взаємодія атому з еліптичним металевим нанодротом

Павлище Н.І., інженер; Коротун А.В., доцент

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя,
Україна

Дослідження взаємодій, що відбуваються внаслідок електромагнітних коливань, зокрема, ван-дер-ваальсівських сил [1] особливо важливе на мікро- і наномасштабах, відіграючи значну роль у таких різноманітних областях, як каталіз, молекулярна електроніка, наномеханіка, самозбірка, біологічні явища тощо. Тому метою даної роботи є дослідження впливу геометрії поперечного перерізу металевого нанопровідника на енергію його взаємодії з атомом.

Для врахування впливу геометрії можна скористатися методом “збурення форми межі” [2], відповідно до якого у випадку, коли форма перерізу нанодроту слабо відрізняється від кругової, тобто коли ексцентриситет малий ($\varepsilon = \sqrt{a^2 - b^2} / a \ll 1$, де a та b – напівосі еліпса) задачу можна розв’язувати у циліндричній системі координат зі “збуреними” граничними умовами для потенціалів електричного поля.

Енергія взаємодії атома з металевим нанодротом має вигляд

$$U(R) = -\frac{\hbar\omega_p\alpha\rho_0}{2\sqrt{2}\pi R^4 \ln^2 \frac{R}{\rho_0}} \left[1 - \frac{1}{6}(1 + 4\varepsilon) \frac{\rho_0^2}{R^2} \ln \frac{R}{\rho_0} \right], \quad (1)$$

де ω_p – плазмова частота; R – відстань від нанодроту до атому; $\rho_0 = (a + b) / 2$ – ефективний радіус нанодроту; α – статична поляризованість атому.

У випадку кругового перерізу ($\varepsilon \rightarrow 0$) з (1) отримуємо класичний результат [3].

1. A. Ambrosetti, N. Ferri, , et al., *Science* **351**, 1171 (2016).
2. А.В. Коротун, ФТТ 56, 1197 (2014).
3. Ю.С. Бараш, Силы Ван-дер-Ваальса (Москва: Наука: 1988).

**Дослідження еволюції густин структурних дефектів
в рамках нерівноважної еволюційної термодинаміки**

Крекшин Д.М., аспірант; Ющенко О.В., доцент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Останнім часом вивченню властивостей нанокристалічних матеріалів присвячено багато експериментальних та теоретичних досліджень. Особливе практичне значення мають задачі щодо умов отримання стійких до руйнування структур.

Відомо [1], що в рамках нерівноважної еволюційної термодинаміки побудована феноменологічна модель фрагментації металів під час інтенсивної пластичної деформації, яка порівняно з іншими методами синтезу об'ємних наноструктурних матеріалів надає можливість отримати структуру з мінімальною пористістю. За допомогою цієї моделі вже було розглянуто ряд завдань з дослідження кінетики дефектів та умов зміцнення металів. Але при цьому основним структурним дефектом вважалися межі зерен, а дислокації в еволюційних рівняннях враховувалися в рамках лінійного наближення. На відміну від попередніх розрахунків в рамках цього підходу ми розглянули вплив складових вищих степеней для густини дислокацій. Вказана модель базувалася на залежності густини внутрішньої енергії від густин дефектів

$$u(h_g, h_D) = u_0 + \sum_n (\varphi_{0n} h_n - 1/2 \varphi_{1n} h_n^2 + 1/3 \varphi_{2n} h_n^3 - 1/4 \varphi_{3n} h_n^4) + \varphi_{gD} h_g h_D, \quad (1)$$

де h_D , h_g – густини дислокацій та меж зерен відповідно, u_0 , φ_{kn} ($k=0,1,2,3$; $n = g, D$), φ_{gD} – коефіцієнти розкладу в ряд, що залежать від тензору деформації. Для опису еволюції системи були використані рівняння типу Ландау-Халатнікова, що пов'язують швидкість зміни густини дефекту з похідною від густини внутрішньої енергії за нерівноважною змінною.

В результаті була проаналізована фазова динаміка на основі двох диференціальних рівнянь для швидкостей зміни густин дислокацій та меж зерен та встановлені умови утворення стійких до руйнування структур в залежності від компонент тензора деформацій.

1. L.S. Metnov, *Phys. Rev. E* **90**, 022124 (2014).

Залежність мікроструктури покриттів на основі нітридів металів від параметрів магнетронного осадження

Павлюк М.О., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Нітриди металів досить поширені в наш час матеріали. Азотування металів – покриття шаром нітриду металу, досить розповсюджений підхід до вдосконалення та підвищення зносостійких характеристик. Нітриди перехідних металів мають кращі зносостійкі характеристики аніж вихідні матеріали.

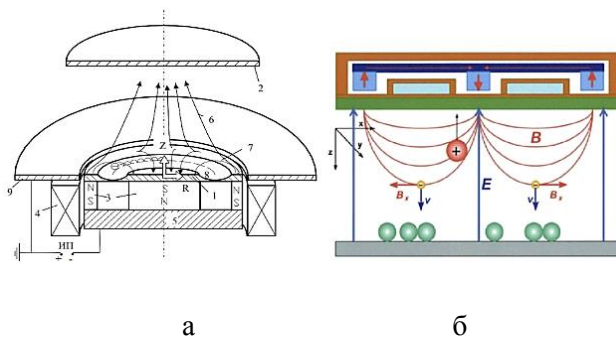


Рисунок 1 – Спрощена схема магнетронної розпилювальної системи (а) і принципова схема розподілу магнітних ліній (б)

Азотувати метал можливо магнетронним осадженням. Параметри магнетронного осадження такі як адгезія, швидкість осадження, іонний струм, тепловий вплив на підкладку, частота струму наплення залежать від виду магнетрону, тиску в робочому об'ємі, виду розряду. У свою чергу ці параметри впливають на склад, кристалічну решітку та товщину покриття. Мікроструктура нітридів металів була досліджена за допомогою XRD методу, морфологія поверхні - методом растрової спектроскопії, товщина покриття була виміряна інтерференційним методом.

Керівник: Рогоз В.М., старший викладач

1. M. Arif, A. Sanger, A. Singh, *Mater. Lett.* **245**, 142 (2019).

Отримання нітридних і карбідних покриттів

Домник А.С., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У зв'язку з активним розвитком технологій виникла проблема створення якісних захисних покриттів. Покриття на основі одного хімічного елементу часто не мають необхідних фізико-механічних властивостей. Але цю проблему можливо вирішити за рахунок створення сплавів на основі суміші хімічних елементів.

У 2008 році Чжан [1] узагальнив умови формування твердих сплавів. Пізніше, у 2011 році Гуо [2] описав вимоги підбору хімічних елементів: низька різниця в розмірах атомів, високі ентальпію змішування та ентропію зміщення. Ідеальний сплав повинен мати високу міцність/твердість у порівнянні з низькою щільністю. Вони представляють особливий інтерес для аерокосмічної інженерії та автомобільної індустрії та цивільні перевезення, де контроль ваги інженерних компонентів є надзвичайно важливим для зменшення попиту на енергію [3].

Зараз актуальною є розробка нітридних і карбідних покриттів на основі високоентропійних сплавів. Високоентропійні сплави складаються з 5 і більше хімічних елементів та не мають основного. Кожен з них займає від 5 до 35 відсотків складу сплаву. Висока ентропія зміщення елементів в сплаві розглядається як міра ймовірності збереження їх порядку в твердому стані. Для таких сплавів характерними є висока адгезійна міцність, висока твердість, високе значення модуля пружності та висока термічна стабільність. Сильний вплив на формування кристалічної ґратки таких покриттів спричиняє наявність робочого газу при осадженні покриття. Формуватись покриття можуть лише з однією із наступних фаз: ГЦК – ґратка ОЦК – ґратка, або аморфна фаза.

Керівник: Космінська Ю.О., доцент

1. Y. Zhang, et al. *Adv Eng. Mater.* **10**, 534 (2008).
2. S. Guo, et al. *Mater. Int.* **21**, 433 (2011).
3. Y.F. Ye, et al., *Materilastoday* **19**, 349 (2016).

Детектування плазмових хвиль вуглецевими нанотрубками

Дем'яненко Д.В., магістр; Карандась Я.В., аспірант;

Коротун А.В., доцент

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя,
Україна

В останнє десятиріччя було запропоновано низку мікроелектро-механічних детекторів терагерцового випромінювання, принцип роботи яких полягає в одночасному збудженні модульованим сигналом височастотних плазмових і низькочастотних механічних коливань у системі нелінійно зв'язаних резонаторів [1]. Одним із перспективних матеріалом для створення подібних систем є вуглецеві нанотрубки (ВНТ).

Для знаходження спектра плазмонів необхідно спільно з рівняннями Максвелла і граничними умовами на поверхні нанотрубки розв'язати систему рівнянь, що складається з рівняння, яке включає поправку на квантову ємність нанотрубки, зумовлену наявністю кінцевої стискуваності у Фермі-газу, та закону збереження заряду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial J}{\partial z} = 0; \\ \frac{\partial J}{\partial t} + \gamma J + v_F \frac{\partial \rho}{\partial z} = \frac{e^2 v_F}{\pi^2 \epsilon_0 \hbar} \mathcal{E}_z(z, t), \end{array} \right. \quad (1)$$

де ρ – лінійна густина заряду на нанотрубці; J – повний струм, що проходить крізь поперечний переріз ВНТ; γ – частота електронних зіткнень; v_F – швидкість Фермі; \mathcal{E}_z – проекція вектора напруженості електричного поля на вісь Oz .

У даних рівняннях припускається аксіально симетричний розподіл заряду і струму на поверхні ВНТ, оскільки лише такі плаزمони збуджуватимуться в них.

1. Yu. Stebunov, V. Leiman, et al., *Appl. Phys. Expr.* **4**, 075101 (2011).

Дослідження структури та морфології тонких плівок $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$, одержаних методом ВЧ іонно-плазмового розпилення

Бордун Б.О., *аспірант*; Медвідь І.І., *асистент*

Львівський національний університет ім. І. Франка, м. Львів, Україна

Досліджено структуру, фазовий склад і морфологію поверхні тонких плівок $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$. ВЧ розпилення проводилось в атмосфері аргону. Після нанесення плівок здійснювалась їх термообробка в кисні або аргоні при 1000–1100°C, а також у водні при 600–650°C. Методом рентгенодифракційного аналізу досліджувалася структура і фазовий склад одержаних плівок. Згідно з отриманими результатами, для плівок $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ характерна полікристалічна структура з переважною орієнтацією в площинах (400), (002), (111) та (512), яка відрізняється залежно від способу термообробки плівок. На дифрактограмах не виявлено рефлексів, які б не відповідали $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$, тобто не виявлено наявності інших фаз. При цьому всі дифракційні максимуми ідентифікуються згідно з правилами відбору і відносяться до просторової групи C2/m, що свідчить про моноклінну структуру отриманих плівок. Мікрофотографії поверхні плівок $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$, отримувались за допомогою атомно-силового мікроскопа Solver P47 PRO. Характерні результати обробки зображень за допомогою програмного пакету “Image Analysis 2” наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Середні діаметри зерен та шорсткість поверхні тонких плівок $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$.

Плівка	Атмосфера термообробки	Середній діаметр зерна D, нм	Середня шорсткість поверхні Z, нм
$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$	без термообробки	30	7
$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$	кисень	45	15

В загальному було встановлено, що відпал тонких плівок $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ в аргоні, кисні чи водні при високій температурі призводить до зростання розмірів зерен і появи нового, шорсткішого рельєфу поверхні плівок.

Керівник: Бордун О.М., професор

Боридні покриття на основі високоентропійних сплавів

Автори: Ляшко В.О., студент; Тевосян А.А., студент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Дослідження високоентропійних сплавів (ВЕС), які завдяки утворенню твердих розчинів мають високу твердість та інші високі фізико-механічні характеристики. Застосування покриттів на основі високоентропійних сплавів може істотно поліпшити фізико-механічні характеристики матеріалу. Головною відмінною рисою ВЕС від традиційних сплавів є те, що вони мають високу ентропію змішання, яка впливає на утворення структур на основі твердих розчинів високоентропійних сплавів.

Було виявлено, що всі підготовлені покриття високоентропійних сплавів складаються в основному з однієї фази твердого розчину, в той час як інші складні фази можуть існувати з дуже низьким вмістом і не можуть бути виявлені за допомогою XRD. Основною фазою є проста матриця ГЦК у складі компонента $Al_{0,3}V_y$, в той час як вона перетворюється на тверду решітку ОЦК у серії компонентів $Al_{2,3}V_y$. Наведені результати показують, що лазерна швидка солідифікація може грати ефективну роль у запобіганні осадження небажаного крихкого бориду в покриттях ВЕС. Таким чином, можна очікувати, що бор в основному розчиняється в структурі твердого розчину, приводячи до перенасиченого твердого ефекту зміцнення в покриттях.

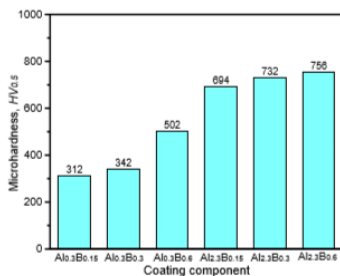


Рисунок 1 - Середня мікротвердість Al_xV_y покриттів на основі ВЕС

Керівник: Багдасарян А.А., ст. викладач

Переріз поглинання електромагнітного випромінювання метал-оксидними наночастинками

Тітов В.В., *магістр*; Коваль А.О., *аспірант*; Коротун А.В., *доцент*

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя,
Україна

Дослідження двошарових метал-оксидних наночастинок представляє інтерес для керування резонансами плазмового спектра наночастинок порівняно із випадком «чистих» металевих наночастинок. Насамперед, це зумовлено перспективами застосування таких систем у фототермічній нанотехнології та сонячній енергетиці [1].

Переріз поглинання електромагнітного випромінювання двошаровою наночастинкою визначається виразом:

$$C_{\text{abs}} = \frac{9\omega}{c} V \epsilon_m^{\frac{3}{2}} \frac{\text{Im} \epsilon_{\text{coated sphere}}}{\left(\text{Re} \epsilon_{\text{coated sphere}} + 2\epsilon_m\right)^2 + \left(\text{Im} \epsilon_{\text{coated sphere}}\right)^2}, \quad (1)$$

де ω – частота падаючого випромінювання, c – швидкість світла, ϵ_m – діелектрична проникність матриці, $V = 4\pi R^3/3$ – об'єм наночастинок (R – загальний радіус частинки, що включає радіус металевого ядра r і товщину t оксидного шару), $\epsilon_{\text{coated sphere}}$ – діелектрична функція двошарової наночастинок, що визначається як

$$\epsilon_{\text{coated sphere}} = \epsilon_{\text{oxide}} \frac{2Q^3 (\epsilon_{\text{metal}} - \epsilon_{\text{oxide}}) + (2\epsilon_{\text{oxide}} + \epsilon_{\text{metal}})}{(2\epsilon_{\text{oxide}} + \epsilon_{\text{metal}}) - Q^3 (\epsilon_{\text{metal}} - \epsilon_{\text{oxide}})}. \quad (2)$$

Тут $Q = 1 - t/R$, а діелектрична функція металу описується виразом Друде.

Результати розрахунків перерізу поглинання свідчать про можливість маніпулювання величиною поглинання за допомогою варіації розмірів частинки і товщини оксидного шару.

1. R. D'Agata, P. Palladino, G. Spoto, *Beilstein J. Nanotechnol.* **8**, 1. (2017).

Боридні покриття на основі високоентропійних сплавів

Тевосян А.А. *студент*; Ляшко В.О. *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Різниця розміру атомів та ентальпії зменшення є двома ключовими параметрами, які використовують щоб емпірично передбачити утворення однофазних твердих розчинів металічних високоентропійних сплавів (ВЕС). У високоентропійних карбідів (TaNbHfTiZr)C різниця розміру атомів замінюється на різницю констант решітки окремих металічних карбідів. Різниця констант решітки визначається наступним чином:

$$\delta_a = \sqrt{\sum_{i=1}^N X_i [1 - a_i / (\sum_{i=1}^N X_i a_i)]} \quad (1)$$

де a_i - параметри решітки для i -ого компоненту карбиду, x_i - молярна доля. Значення δ_a для твердого розчину менше за 6,6%. Для (TaNbHfTiZr)C отримане значення δ_a дорівнює 4,02%, що відповідає критерію фази утворення твердого розчину.

Ентальпія змішування ΔH_{mix} є іншим важливим параметром для визначення утворення твердих розчинів, які можуть бути отримані з експериментів або складних теоретичних розрахунків. Ентальпія змішування бінарної комбінації двох компонентів визначається наступним чином:

$$\Delta H_{mix} = \sum_{i=1, i \neq j}^n C_i C_j \quad (2)$$

де i та j – i -ий та j -ий компоненти, а C_j - молярна доля j -ого компоненту. Помічено, що на відміну від металічних ВЕС, складовими компонентами яких є чисті метали, компоненти (TaNbHfTiZr)C є окремими бінарними карбідами. Обчислене значення ΔH_{mix} для (TaNbHfTiZr)C дорівнює 0,32 кДж/моль, це значення коливається між -15 та 5 кДж/моль для утворення твердих розчинів, що задовольняє умову утворення фази твердого розчину. Поєднання різниці констант решітки (δ_a) та ентальпії змішування (ΔH_{mix}) вказує на те, що однофазні тверді розчини можуть утворюватися в високоентропійних карбідах (TaNbHfTiZr)C, що підтверджено експериментально.

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

Вплив розмірного квантування на дисперсію плазмових хвиль у вуглецевих нанотрубках із металевою провідністюРедька Д.О., *магістр*; Карандась Я.В., *аспірант*;Коротун А.В., *доцент*Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя,
Україна

У теперішній час оптичні властивості вуглецевих нанотрубок (ВНТ) є предметом інтенсивних теоретичних та експериментальних досліджень [1]. При цьому особливий інтерес викликають оптичні явища в околі плазмового резонансу, де відбувається суттєве локальне підсилення електромагнітних полів. Тому метою даної роботи є дослідження впливу квантування енергетичного спектра на дисперсію поверхневих плазмонів у ВНТ.

Дисперсія плазмонів у ВНТ кругового перерізу визначається співвідношенням [2]:

$$1 = -i \frac{\sigma_{zz}}{\omega} \frac{\kappa_q}{\epsilon_0 \epsilon} \frac{I_0(\kappa_q R_{mn}) K_0(\kappa_q R_{mn})}{I_0(\kappa_q R_{mn}) K_1(\kappa_q R_{mn}) + I_1(\kappa_q R_{mn}) K_0(\kappa_q R_{mn})}, \quad (1)$$

де $I_m(x)$ та $K_m(x)$ – функції Інфельда і Макдональда, ϵ – діелектрична проникність оточуючого середовища, $\kappa_q^2 = q^2 - \epsilon\omega^2/c^2$ (c – швидкість світла), R_{mn} – радіус ВНТ, σ_{zz} – поверхнева провідність, яка за умови нехтування міжзонними електронними переходами може бути знайдена з виразу:

$$\sigma_{zz} = -i \frac{2e^2 v_F(R_{mn})}{\pi^2 \hbar R_{mn} \omega}, \quad (2)$$

де $v_F(R_{mn})$ – розмірно-залежна швидкість Фермі електронів у ВНТ.

1. P. Karlsen, M.V. Shuba, et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.* **51**, 01400 (2018).
2. А.В. Коротун, І.М. Тітов, А.О. Коваль, *Ж. нано- та електрон. фіз.* **9**, 01017 (2017).

СЕКЦІЯ 3

**«Матеріалознавство мікро- та
наноелектроніки»**

Dissipation-induced rotation of ferromagnetic nanoparticles

Burda O.I., *Student*; Lyutyi T.V., *Associate Professor*;
Denisov S.I., *Professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Due to the magnetic torque, the rotating magnetic field can induce the rotational motion of suspended ferromagnetic nanoparticles. This happens when the magnetic and lattice subsystems of nanoparticles are coupled in some way. In particular, the nanoparticle rotation has been analytically and numerically studied by assuming that the coupling occurs by means of magnetic anisotropy (Lyutyi T.V. et al. *J. Magn. Magn. Mater.* **473** (2019) 198-204). Here, we present theoretical arguments showing that this rotation can be caused also by magnetic dissipation.

To show this, we start with a complete set of differential equations

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{n}} = \mathbf{v} \times \mathbf{n}, \\ \dot{\mathbf{m}} = -\mathbf{m} \times \mathbf{h}_{\text{eff}} - \alpha \mathbf{m} \times (\mathbf{m} \times (\mathbf{h}_{\text{eff}} - \mathbf{v})), \\ \kappa \dot{\mathbf{v}} = -\mathbf{m} \times (\mathbf{h}_{\text{eff}} - \mathbf{h}) - \alpha \mathbf{m} \times (\mathbf{m} \times (\mathbf{h}_{\text{eff}} - \mathbf{v})) - \beta \mathbf{v}, \end{cases} \quad (1)$$

which describes in the dimensionless form the coupled magnetic and mechanical dynamics of a suspended nanoparticle. Here, the overdot denotes the derivative with respect to the dimensionless time τ , the parameters α , β and κ characterize the magnetic damping, liquid viscosity and moment of inertia, respectively, \mathbf{h}_{eff} is an effective magnetic field, and $\mathbf{h} = h\mathbf{e}_h$ ($\mathbf{e}_h = \mathbf{e}_x \cos \omega\tau + \mathbf{e}_y \sin \omega\tau$) is a rotating magnetic field with the constant amplitude h and frequency ω . If the particle is magnetically isotropic, then $\mathbf{h}_{\text{eff}} = \mathbf{h}$, and two last equations in (1), which in this case do not depend on the unit vector \mathbf{n} frozen into particle, can be rewritten as

$$\dot{\mathbf{m}} - \kappa \dot{\mathbf{v}} = -h\mathbf{m} \times \mathbf{e}_h + \beta \mathbf{v}, \quad \kappa \dot{\mathbf{v}} = -\alpha \mathbf{m} \times (\mathbf{m} \times (h\mathbf{e}_h - \mathbf{v})) - \beta \mathbf{v}. \quad (2)$$

Assuming that the particle angular velocity \mathbf{v} equals zero, from (2) it follows that the unit magnetization vector \mathbf{m} must satisfy the equations

$$\dot{\mathbf{m}} = -h\mathbf{m} \times \mathbf{e}_h, \quad \mathbf{m} \times (\mathbf{m} \times \mathbf{e}_h) = 0. \quad (3)$$

The second one leads to the condition $\mathbf{m} \parallel \mathbf{e}_h$, while the first one yields $\dot{\mathbf{m}} = \text{const}$. Since these conditions are mutually exclusive, we conclude that $\mathbf{v} \neq 0$, i.e., the dissipation-induced rotation of nanoparticles must exist.

Eigenvalues and eigenfunctions for a particle in a uniformly moving potential

Kotenko D.R., Student; Denisov S.I., Professor
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Model potentials are very important for predicting and describing quantum effects, e.g., in nanoelectronics and spintronics. In this context, potentials for which the Schrödinger equation can be solved explicitly in terms of known functions play a special role. Among them, the simplest is an infinitely deep well defined as $U(x) = 0$ for $|x| < a$ and $U(x) = \infty$ for $|x| \geq a$. Here, we present exact eigenvalues and eigenfunctions for a particle in this potential moving with a constant velocity $v > 0$.

For this potential, the time-dependent Schrödinger equation is written as

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi + U(x - vt)\psi, \quad (1)$$

where \hbar is the Planck constant, $\psi = \psi(x, t)$ is the wave function of the particle, and m is its mass. Assuming that $\psi(x, t) = \exp(-iEt/\hbar)\psi(\xi)$, where $\xi = x - vt$ and E is the particle energy, Eq. (1) can be reduced to

$$\psi''(\xi) + k^2\psi(\xi) = i\kappa\psi'(\xi). \quad (2)$$

Here, the primes denote the differentiation with respect to ξ and

$$k^2 = \frac{2mE}{\hbar^2}, \quad \kappa = \frac{2mv}{\hbar}. \quad (3)$$

Using the characteristic method and boundary conditions $\psi(\pm a) = 0$, we find the eigenvalues, E_n , and eigenfunctions, $\psi_n(\xi)$, of the given boundary value problem:

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{8ma^2} - \frac{mv^2}{2}, \quad \psi_n(\xi) = \frac{e^{i\kappa\xi/2}}{\sqrt{a}} \begin{cases} \cos(\pi n\xi/2a), & n = 1, 3, \dots \\ \sin(\pi n\xi/2a), & n = 2, 4, \dots \end{cases} \quad (4)$$

Because $E_n \geq 0$, the quantum number n must satisfy the condition $n \geq 2mav/\pi\hbar$. Note also that, according to (4), the probability current is

$$j_n(x, t) = \frac{v}{a} \begin{cases} \cos^2(\pi n\xi/2a), & n = 1, 3, \dots \\ \sin^2(\pi n\xi/2a), & n = 2, 4, \dots \end{cases} \quad (5)$$

As it should be, it vanishes as the potential well does not move ($v = 0$).

Формування наноструктур на титані електрохімічним методом

Коростіль Ю.О., студент; Проценко З.М., доцент
СумДПУ імені А.С.Макаренка, м. Суми, Україна

Природну впорядковану структуру, поряд з оксидом алюмінію, має оксид титану. Нанопористі плівки на основі оксиду титану можуть бути отримані електрохімічним анодуванням, однак повна технологія цього процесу до кінця ще не розроблена. Практично відсутні дослідження присвячені вивченню впливу параметрів процесу анодування титану, а саме складу електроліту, густини струму і напруги електролізу, на структуру оксидного шару.

Відомо, що оксид титану являє собою каталітичний і газочутливий матеріал. Завдяки розвиненій поверхні і високій реакційній здатності тонкі плівки оксиду титану з нанопористою структурою можуть бути використані для створення високочутливих сенсорів і високоефективних перетворювачів сонячної енергії, як біосумісний матеріал при створенні різноманітних біопротекторів.

У даній роботі представлені результати по встановленню оптимальних умов процесу оксидування титану в 10%-вих розчинах сульфатної та щавлевої кислот. Для встановлення характеру цього процесу були зняті залежності напруги на електролітичній комірці від часу електролізу при постійній заданій густині струму.

На першому етапі анодного окиснення відбувається формування першого щільного бар'єрного оксидного шару на поверхні титану, а потім внаслідок різниці густин титану та його оксиду в утвореному шарі виникає механічна напруга, локальне підвищення температури і розчинення оксиду, що призводить до формування другого пористого шару. У процесі подальшого анодування в оксидній плівці виникає впорядкована пориста структура на основі нанотрубок TiO_2 (анатазної чи рутильної форми).

Оптимальні параметри процесу електроосадження встановлено експериментально з постійним контролем якості покриття та його фазового складу. Густина анодного струму складала $(1-2) \cdot 10^2 \text{ А/м}^2$, максимальна напруга на електролізері 90-100 В у залежності від складу електроліту і густини струму, температура 293-313К, час процесу анодування 1-1,5 годин. Колір покриття від світло-жовтого до світло рожевого, іноді з зеленуватим або синім відтінком.

Магніторезистивні властивості тришарових плівок на основі сплаву $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ та Cu

Салтиков Д.І., *аспірант*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Структури з ефектом гігантського магнітоопору (ГМО) на сьогодні залишаються об'єктами інтенсивного експериментального і теоретичного дослідження.

Тришарові плівки $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}/\text{Cu}/\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ із товщиною магнітних шарів $d_F = 20 - 30$ нм та немагнітних прошарків $d_N = 3 - 10$ нм отримувались у вакуумній камері при тиску 10^{-4} Па за кімнатної температури. Термомагнітна обробка плівок і вимірювання повздовжнього та поперечного магнітоопору проводились у спеціальній установці в умовах надвисокого безмасляного вакууму ($10^{-6} - 10^{-7}$) Па у магнітному полі з індукцією до 0,2 Тл.

Для свіжосконденсованих та відпалених за температур 400 та 550 К тришарових плівок $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}/\text{Cu}/\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}/\text{P}$ із різною концентрацією (c) компонент у магнітних шарах польові залежності магнітоопору мають ізотропний характер. Причиною ізотропного магнітоопору є реалізація спин-залежного розсіювання електронів провідності (ефект ГМО). Аналіз ізотропних польових залежностей магнітоопору свідчить про те, що їх вид суттєво не залежить від концентрації c_{Fe} у магнітних шарах. Для тришарових плівок незалежно від концентрації компонент в магнітних шарах при $d_F = 20 - 30$ нм і $d_N = 3 - 10$ нм чітко фіксується гістерезис польових залежностей. При цьому збільшення та зменшення опору відбувається у вузькому інтервалі магнітного поля – на польових залежностях спостерігаються чіткі і гострі піки. Максимальне значення ізотропного магнітоопору за кімнатної температури складає 3 % для зразків з $c_{\text{Fe}} \cong 10$ ат. % відпалених за температури 550 К. Особливістю польових залежностей магнітоопору, в полях більших за поле насичення, є їх неспівпадання, що обумовлено впливом анізотропного магнітоопору магнітних шарів.

Робота виконана у рамках держбюджетних тем №0118U003580 (2018-2020 р.) та №0119U100777 (2019-2021 р.).

Керівники: Проценко І.Ю., *професор*, Шкурдода Ю.О., *доцент*

Comparison of magnetoresistance of thin film nanocomposites based on Co or Ni and SiO₂ near percolation threshold

Shchotkin V.V., *Postgraduate Student*; Pazukha I.M., *Associated Professor*
Sumy State University, Sumy

Magnetic properties of ferromagnetic nanocomposites are known to depend mainly on the topological structure of the ferromagnetic component. When the size of single grains is properly large for the appearance of ferromagnetism, the insulated nanometer-size ferromagnetic grains are individual domains. Those grains will be dispersed in a nonmagnetic matrix if ferromagnetic component has a low concentration. In granular composites (metal-insulator type) there are two regimes of electronic conduction, determined by the metal volume fraction x . For large values x , the metallic grains coalesce and then form a connected metallic network, so that charged particles can percolate along the formed metallic channels. When x is rather small, the metal grains form isolated dispersions in a granular matrix.

Thin granular films based on Ni or Co and SiO₂ were prepared by co-evaporation of the basic materials using two separate electron beam guns. The results were obtained on samples deposited on a glass substrate without any thermal treatment of the result matrixes. The deposition rate and the relative volume concentration of the two components were controlled by two quartz thickness monitors. For films based on Co and SiO₂ a negative magnetoresistance (MR) is found in specimens with Co concentrations below 48.9%. The negative MR at low Co concentrations is independent of the relative orientation of the field and the current. At high Co concentrations the magnetoresistance is strongly orientation dependent. We can identify the isotropic negative MR observed in samples with low Co concentrations as a GMR-like effect, and the orientation-dependent magnetoresistance of samples with high Co concentration as caused by an anisotropic magnetoresistance. Similar results were obtained for films based on Ni and SiO₂.

The largest GMR effect occurs below the percolation threshold. The maximum GMR is about 0.55-0.6 % for films based on Ni and SiO₂ at $c_{Ni} = 45-47$ % and 4.4-4.5 % for films based on Co and SiO₂ at $c_{Co} = 40-42$ %.

This work was funded by the State Program of the Ministry of Education and Science of Ukraine 0119U100777 (2019-2021).

Використання методу електрорушійних сил для визначення термодинамічних властивостей сполук GeBi_4Te_7 , GeBi_2Te_4 та $\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6$

Мороз М.В.¹, доцент; Прохоренко М.В.², доцент;
Яцков М.В.¹, професор; Решетняк О.В.³, професор

¹ Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

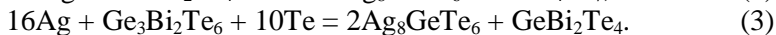
² Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна

³ Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна

Сполуки GeBi_4Te_7 (I), GeBi_2Te_4 (II) та $\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6$ (III) системи Ge–Bi–Te оцінені як перспективні для використання в пристроях перетворення теплової енергії в електричну [1, 2]. Інформація про термодинамічні властивості зазначених сполук у фаховій літературі відсутня.

Методами диференціально-термічного та рентгенофазового аналізів нами встановлено поділ концентраційного простору системи Ag–Ge–Bi–Te в частині $\text{Ag}_8\text{GeTe}_8\text{–GeTe–Te–Bi}_2\text{Te}_3$ на окремі квазітетрарні області за участі (I)–(III): $\text{Ag}_8\text{GeTe}_6\text{–GeBi}_4\text{Te}_7\text{–Te–Bi}_2\text{Te}_3$, $\text{Ag}_8\text{GeTe}_6\text{–GeBi}_2\text{Te}_4\text{–GeBi}_4\text{Te}_7\text{–Te}$ та $\text{Ag}_8\text{GeTe}_6\text{–Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6\text{–GeBi}_2\text{Te}_4\text{–Te}$. Просторове положення зазначених чотирифазних областей відносно фігуративної точки срібла використано для розрахунку значень термодинамічних функцій сполук (I)–(III) з використанням методу електрорушійних сил [3].

Рівняння потенціалформуючих реакцій мають вигляд:



Енергії Гіббса реакцій (1)–(3) визначають наступні співвідношення:

$$\Delta_r G_{(1)} = \Delta_f G_{\text{Ag}_8\text{GeTe}_6} + 2\Delta_f G_{\text{Bi}_2\text{Te}_3} - \Delta_f G_{\text{GeBi}_4\text{Te}_7} = -8FE_{(1)}, \quad (4)$$

$$\Delta_r G_{(2)} = \Delta_f G_{\text{Ag}_8\text{GeTe}_6} + \Delta_f G_{\text{GeBi}_4\text{Te}_7} - 2\Delta_f G_{\text{GeBi}_2\text{Te}_4} = -8FE_{(2)}, \quad (5)$$

$$\Delta_r G_{(3)} = 2\Delta_f G_{\text{Ag}_8\text{GeTe}_6} + \Delta_f G_{\text{GeBi}_2\text{Te}_4} - \Delta_f G_{\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6} = -16FE_{(3)}, \quad (6)$$

де $\Delta_f G_{\text{Ag}_8\text{GeTe}_6, \text{Bi}_2\text{Te}_3, \text{GeBi}_4\text{Te}_7, \text{GeBi}_2\text{Te}_4}$ – енергії Гіббса формування відповідних сполук із елементів, $F=96485.33289$ Кл/моль – число Фарадея та E – ЕРС електрохімічних комірок.

З (4)–(6) отримано:

$$\Delta_f G_{\text{GeBi}_4\text{Te}_7} = \Delta_f G_{\text{Ag}_8\text{GeTe}_6} + 2\Delta_f G_{\text{Bi}_2\text{Te}_3} - \Delta_r G_{(1)}, \quad (7)$$

$$\Delta_f G_{\text{GeBi}_2\text{Te}_4} = 0,5(\Delta_f G_{\text{Ag}_8\text{GeTe}_6} + \Delta_f G_{\text{GeBi}_4\text{Te}_7} - \Delta_r G_{(2)}), \quad (8)$$

$$\Delta_f G_{\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6} = 2\Delta_f G_{\text{Ag}_8\text{GeTe}_6} + \Delta_f G_{\text{GeBi}_2\text{Te}_4} - \Delta_r G_{(3)}. \quad (9)$$

Потенціалформуючі процеси здійснені в електрохімічних комірках: $\text{C}|\text{Ag}|\text{скло } \text{Ag}_2\text{GeS}_3|\text{D}|\text{C}$, де С – графітові електроди, скло Ag_2GeS_3 – Ag^+ провідна мембрана, D – позитивний електрод із суміші фаз зазначених в реакціях (1)–(3) за виключенням Ag.

Враховуючи лінійні залежності ЕРС комірок в інтервалі 430–500 К, зв'язок теплових та електричних енергій в оборотних процесах $\Delta_r G = -n \cdot F \cdot E$, встановлено рівняння температурних змін енергії Гіббса утворення сполук (I)–(III) із елементів. Розраховані з рівнянь (7)–(9) в наближенні $\left(\frac{\partial \Delta_r H}{\partial T}\right)_p = \left(\frac{\partial \Delta_r S}{\partial T}\right)_p = 0$ значення енергії Гіббса $\Delta_f G^\circ$ (кДж/моль) та ентальпії $\Delta_f H^\circ$ (кДж/моль) сполук (I)–(III) в стандартних умовах становлять: $(-247,2 \pm 1,0)$, $(-168,1 \pm 2,3)$, $(-323,1 \pm 7,1)$ та $(-258,3 \pm 1,0)$, $(-178,9 \pm 2,3)$, $(-347,7 \pm 7,1)$, відповідно.

1. G.L. Snyder, E.S. Toberer, *Nat. Mater* **7**, 114 (2008).
2. H. Mamur, M.R. Bhuiyan, F. Korkmaz, *Renewable Sustainable Energy Rev* **82**, 4159 (2018).
3. M.B. Babanly, Y.A. Yusibov, N.B. Babanly, The EMF method with solid-state electrolyte in the thermodynamic investigation of ternary copper and silver chalcogenides (InTech: 2011).

Фазовий склад сплавів системи $\text{Ag}_2\text{Se}-\text{In}_2\text{Se}_3$ в частині $\text{AgIn}_5\text{Se}_8-\text{In}_2\text{Se}_3$

Мороз М.В.¹, доцент; Рудик Б.П.¹, завідувач лабораторіями;
Нечипорук Б.Д.², доцент; Соляк Л.В.¹, старший викладач;
Семенюк П.Ю.¹, студент

¹ Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

² Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне, Україна

Сполуки AgInSe_2 та AgIn_5Se_8 системи $\text{Ag}_2\text{Se}-\text{In}_2\text{Se}_3$ використовуються в пристроях нелінійної оптики, перетворювачах світлової енергії в електричну, світлодіодах [1]. В роботі [2] встановлено існування ще однієї потрійної фази $\text{AgIn}_{11}\text{Se}_{17}$ в частині $\text{AgIn}_5\text{Se}_8-\text{In}_2\text{Se}_3$. Розбіжності у фазовому складі сполук досліджуваної системи є перешкодою до визначення значень термодинамічних функцій фаз в стандартних умовах.

Фазовий склад сплавів системи $\text{Ag}_2\text{Se}-\text{In}_2\text{Se}_3$ в концентраційному інтервалі $\text{AgIn}_5\text{Se}_8-\text{In}_2\text{Se}_3$ встановлено методом електрорушійних сил [3]. Для досліджень використовували електрохімічні комірки: $\text{C}|\text{Ag}|\text{скло } \text{Ag}_2\text{GeS}_3|\text{D}_1|\text{C}$ та $\text{C}|\text{Ag}|\text{скло } \text{Ag}_2\text{GeS}_3|\text{D}_2|\text{C}$ (C – графітові електроди, скло $\text{Ag}_2\text{GeS}_3 - \text{Ag}^+$ провідна мембрана, D_1 , D_2 – позитивні електроди: суміш фаз $\text{AgIn}_{11}\text{Se}_{17}$, Se, In_2Se_3 та $\text{AgIn}_{11}\text{Se}_{17}$, Se, AgIn_5Se_8 , відповідно). Відмінності в температурних залежностях ЕРС електрохімічних комірок інтервалу 430–490 К:

$$E_1/\text{мВ}=(341,26\pm 0,35)+(78,77\pm 0,71)\cdot 10^{-3}T/\text{К},$$

$$E_2/\text{мВ}=(311,36\pm 0,48)+(130,81\pm 1,04)\cdot 10^{-3}T/\text{К},$$

підтверджують існування трьох потрійних сполук в системі $\text{Ag}_2\text{Se}-\text{In}_2\text{Se}_3$.

1. S.W. Chen, J.S. Tseng, S.M. Chang, *J. Alloy. Compd* **656**, 58 (2016).
2. I.D. Olekseyuk, O.V. Krykhovets, *J. Alloy. Compd* **316**, 193 (2001).
3. М.В. Babanly, Y.A. Yusibov, N.B. Babanly, The EMF method with solid-state electrolyte in the thermodynamic investigation of ternary copper and silver chalcogenides (InTech: 2011).

**Взаємодія аналога молекулярного перемикача з
електропровідним контактом**

¹Карапузова А.Г., *аспірант*; ¹Циганенко Е.В., *студент*;

¹Коваленко О.А., *інженер*; ¹Лопаткін Ю.М., *професор*;

²Кондратенко П.О., *професор*

¹Сумський державний університет, м. Суми, Україна

²Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Проведені раніше дослідження авторів [1] показали, що багато молекулярних структур мають у вільному стані властивості, які можна використати для створення елементів пам'яті в комп'ютерах майбутнього. Проте, елементи пам'яті передбачають наявність електропровідних контактів. Це спонукало авторів продовжити дослідження молекулярних структур при наявності взаємодії з контактом. У цьому плані було важливим виявити можливість керувати відповідними внутрішньомолекулярними процесами, враховуючи той факт, що електрод став частиною молекули. У ролі електрода при проведенні досліджень ми вибрали аналог моноатомної золотої голки скануючого тунельного мікроскопа.

Гібридний пристрій можна зробити, використовуючи підвищену спорідненість атомів сірки у молекулярних структурах до важких металів. Таким чином можна створити контакти між молекулою і металевими електродами. При цьому делокалізована електронна хмара охоплює не лише молекулу, а й електрод, забезпечуючи їхнє сильне хімічне зв'язування.

У роботі з використанням програмного пакету HyperChem, зокрема програми SP3 та ZINDO/1, проведені дослідження можливості створення комірок пам'яті з використанням молекули біфенілу, яка виявила раніше властивості, характерні для транзистора [1], при наявності хімічного зв'язування молекули зі срібним електродом через SH-групу.

Така система виявила темнову стабільність і на ній отримано позитивний результат.

1. A. Malashenko, P.A. Kondratenko, Y.M. Lopatkin, A.Y. Derevyanchuk, *J. Nano- Electron. Phys.* **8**, 04034 (2016).

Молекулярні провідники з керованою провідністю

¹Карапузова А.Г., *аспірант*; ¹Подлесний Д.А., *студент*;
¹Лопаткін Ю.М., *професор*; ²Кондратенко П.О., *професор*
¹Сумський державний університет, м. Суми, Україна
²Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Елементи будь-якого молекулярного пристрою, включаючи молекулярний комп'ютер, повинні бути пов'язані з провідниками, що мають відповідні розміри, а також молекули з відповідними властивостями (перемикачі, транзистори тощо). Молекули можуть виконувати ефективно роль провідників електричного струму, створюючи контакти між нанокomпонентами наноелектронної мережі. Як провідники можуть бути використані лінійні структури з атомів, що складаються з таких ланцюгів, як, наприклад, спряжені олігомерні структури. Особливо цікаві такі перетворення молекул, при яких сильно змінюється електронна конфігурація молекули. При цьому в молекулі може бути створена єдина спряжена π -електронна система, а отже з'являється здатність проводити електричний струм.

У даній роботі продовжено вивчення моделей польового транзистора на основі біфенілу. У попередній роботі [1] було показано і в цій роботі підтверджено для випадку наявності взаємодії молекули з провідним контактом, що під дією електричного поля можлива конфігурація молекули, при якій відбувається об'єднання π -електронних хмар обох фенільних фрагментів молекули, внаслідок чого утворюється єдина π -електронна хмара. Це істотно підвищує ймовірність перенесення електрона вздовж молекули, яка в такому випадку може служити провідником струму в молекулярному електричному колі. Опір такого провідника може змінюватися під дією електричного поля.

1. A.G. Malashenko, P.A. Kondratenko, Y.M. Lopatkin, A.Y. Derevyanchuk, *J. Nano Electr. Phys.* **8**, 04034 (2016).

Молекулярні перемикачі: потенціальний бар'єр і електронегативність

¹Карапузова А.Г., *аспірант*; ²Юрченко В.І., *студент*;
³Лопаткін Ю.М., *професор*; ²Кондратенко П.О., *професор*;
²Сакун Т.М., *доцент*
¹Сумський державний університет, м. Суми, Україна
²Національний авіаційний університет, м. Київ

Особливий інтерес викликають електронні пристрої на основі молекул. Для забезпечення розробки і функціонування комп'ютерної техніки майбутнього важливе місце займає створення логічних молекулярних елементів.

З іншого боку, для формування молекулярних логічних елементів, що являють собою «цеглинки» молекулярної процесорної системи, необхідні бістабільні молекули, які характеризуються двома стійкими станами і здатні переключатися між ними під впливом світлових або електричних імпульсів. Зрозумівши як переводити їх з одного стану в інший за допомогою зовнішніх впливів фактично можна одержати вже готовий вентиль.

На перехід між цими станами істотно впливає потенціальний бар'єр, величина якого залежить від електронегативності замісника в молекулі. Дослідженню цих властивостей присвячена дана робота.

В дослідженнях використовувалися методи молекулярної динаміки та напівемпіричного методу MNDO/d.

Висота потенціального бар'єру (eV) залежить від величини заряду (в зарядах електрона) на атомі кисню в пероксиді фтору наступним чином: для FOOF – 0,85; FOONO₂ – 0,6; FOOCF₃ – 0,67; FOONClPhNO₂ – 0,6; FOON(NO₂)PhNO₂ – 0,55; FOON(OCF₃)PhNO₂ – 0,5. Величина заряду на атомі кисню, в свою чергу змінюється в залежності від електронегативності замісника, яка визначалася методом, запропонованим у роботі [1].

1. О.А. Коваленко, А.Г. Малашенко, Ю.М. Лопаткін, П.А. Кондратенко, *Методика оцінки електроотрицательности атомов и заместителей в молекуле*. В кн: ФЕЕ 2015, Суми, Сумський держ. університет, 2015, С. 66

Фазовий склад і електрофізичні властивості функціональних синтетичних антиферомагнітних структур на основі Ru і Co

Коваленко О.В., *студент*; Доценко О.П., *студент*; Логвинов А.М., *молодий науковий співробітник*; Пазуха І.М., *доцент*; Чешко І.В., *доцент*; Шабельник Ю.М., *ст. викладач*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Нанорозмірні плівкові системи на основі Ru і Co різними авторами досліджувалися як робочі шари спін-клапанів і можуть використовуватися при створенні стійких функціональних приладових структур спінтроніки. Вивчення структури і фазового складу в широкому діапазоні товщин та робочих температур сприяє більш ефективному застосуванню таких систем при виготовленні синтетичних антиферомагнітних функціональних шарів для сучасної гнучкої та функціональної електроніки.

У даній роботі наведені результати дослідження структурно-фазового стану плівкових систем на основі Ru і Co методом електронографії та просвічуючої електронної мікроскопії. Зразки конденсувалися електронно-променевим методом у вакуумі (10^{-4} Па) за температури підкладки $T_{\text{п}} = 300$ К зі швидкістю конденсації $\omega = 0.2 - 0.4$ нм/с. з подальшим термовідпалюванням до $T_{\text{в}} = 600$ та 900 К.

За результатами досліджень встановлено, що при формуванні даних структур повністю зберігається індивідуальність кожного шару з параметрами ГЦП–Co та ГЦП–Ru. Для отриманої серії двошарових зразків Ru(2)/Co(20)/П і Ru(20)/Co(20)/П простежується розмірна залежність збільшення середнього розміру зерна в залежності від товщини шару Ru, так середній розмір зерна склав $L_{\text{сер}} = 14$ нм та $L_{\text{сер}} = 30$ нм відповідно. При дослідженні багатошарових плівкових систем значення середнього розміру зерен склали $L_{\text{сер}} = 8 \div 16$ нм. Показано, що збільшенню розмірів зерен та заліковуванню дефектів структури сприяє термовідпалення зразків до $T_{\text{в}} = 900$ К. При вищих температурах спостерігається утворення оксидної фази ГЦК RuO₂. За результатами розрахунків середнього значення параметру решітки отримані значення, що майже збігаються з табличними.

Велику увагу до плівкових матеріалів обумовлено їх унікальними механічними, електричними, оптичними та ін. властивостями, що дає

можливість широко їх використовувати в якості чутливих елементів різних сенсорів.

Незважаючи на тривалий час дослідження тензорезистивних властивостей різних матеріалів, ця проблема, як і раніше залишається актуальною, хоча щодо тензочутливості в області пружної деформації (до 1%) тонких дротів і одно- і багат шарових плівок, в тому числі і плівкових сплавів, ці дослідження мають характер певної завершеності. Разом з тим вивчення тензорезистивного, механічних та інших властивостей в області непружної деформації залишаються актуальними до теперішнього часу. Основними тут залишаються питання, пов'язані з механізмами пластичної деформації, впливом дисперсності плівок на механічні та електрофізичні властивості, ролі дифузійних процесів і фазоутворення в цих явищах. Тонкі металеві плівки Ru характеризуються стійкою термічною стабільністю, низьким значенням питомого опору (ρ) та стійкістю до зношування (тертя).

Була досліджена серія зразків як одношарових плівок Ru товщиною від 15 до 25 нм, так і двошарових плівок на основі Ru і Co (Ru(20)/Co(20)/П, Co(20)/Ru(10)/Co(20)/П). Дослідивши отримані значення коефіцієнту тензочутливості для вище зазначених зразків можна зробити висновок що величина КТ зменшується при збільшенні товщини досліджуваної плівки Ru. Так для зразка Ru(15)/П середнє значення коефіцієнта тензочутливості складає 1.3, а для зразка розраховане середнє значення коефіцієнта тензочутливості для плівки Ru(25)/П дорівнює 4,2.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми №0117U003925.

СЕКЦІЯ 4

«Електронне приладобудування»

The possibility of using the metal carbon nanocomposites as sensor films

I.M. Martynenko, *Graduate Student*; O.O.Podopryhora, *Student*;
L.V.Odnodvoret, *Professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Nowadays a lot of attention is paid to inorganic carbon-based thin films. There is a significant demand for it not only in solid-state research. The inorganic carbon-based thin films can be used in different application areas. For instance, the Me–C which is a subgroup of transition-metal-carbon films. It is a huge research field containing too many published papers with certain research experience gained through last years (see, for example [1]). Sputter-deposited transition-metal carbides films are beneficial in many applications ranging from tribological hard coatings to magnetics, sensing, and energy conversion. Thus, it is efficient and topical to focus the research on metal–carbon thin films as sensor layers for strain and related quantities such as pressure, force, and torque.

Comparing to metallic films, some of the films possess increased strain sensitivity. They react on longitudinal strain. Moreover, the film's thermal coefficient of resistance is depends on the metal concentration. For such elements as Ni, Pd, Fe, Pt, W, and Cr the influence of metal concentration was fully studied [1]. According to Co, Au, Ag, Al, Ti and Cu elements, they were investigated briefly. Three groups of metals are differentiated because of their respective affinity to carbon. It is found out that only nickel has the capability to bond and form a stable and closed encapsulation around each nanoparticle. Additionally, forming graphitic encapsulations by the other elements is impossible. High deformation sensitivity was observed due to electron tunneling between metal particles. The granular films based on carbon and different transition metals by means of plasma deposition processes have been produced. It proofs the topicality of this research direction and surely has its further future development.

This work was performed within the framework of the state budget grant № 0118U003580 (2018 – 2020 years).

1. H. Schmid-Engel, S. Schwebke, U. Werner, *J. Sens. Sens. Syst.* **7**, 1 (2018).

Розробка open-source додатку для моделювання SQUID-пристроїв

Станіслав Ільїн^{1,2}, студент

¹Сумський державний університет, Суми, Україна

²Університет Савоя Монблан, Шамбері, Франція

SQUID (Superconducting QUantum Interference Device, сквід) – це пристрій надпровідної електроніки, робота якого полягає в перетворенні сигналу потоку зовнішнього магнітного поля в електричний. Базовим елементом сквідів є так званий перехід Джозефсона. З фізичної точки зору перехід Джозефсона – це структура, яка складається з двох надпровідних електродів, пов'язаних між собою «слабким» зв'язком, (наприклад, проходженням слабого тунельного струму між електродами у тонкому шарі діелектрика, який їх розділяє). В основі даних структур лежать два рівняння Джозефсона, які описують процес проходження струму.

Як перетворювач сигналу SQUID працює з надзвичайно високою роздільною здатністю – з детектуванням одного кванту магнітного потоку $\Phi_0 \cong 2,07 \cdot 10^{-15}$ Вб. Тому на основі них побудовані прецизійні детектори магнітного потоку, магнетометри, логічні елементи і т.д..

Проте самі прилади вимагають прецизійних технологій виготовлення, а для покращення їх характеристик необхідні складні технічні рішення вже на етапі моделювання. Мета роботи полягає у забезпеченні процесу математичного моделювання сквідів різних типів потужним програмним інструментом.

SQUID як пристрої були запропоновані у другій половині ХХ ст. і з тих пір вони активно досліджуються. Наразі відома достатньо велика кількість матеріалів щодо характеристик, режимів роботи тих чи інших типів приладів і це слугує базисом для створення універсальної комп'ютерної програми, яка здатна промоделювати поведінку електричних кіл, побудованих з використанням сквідів.

Програмний додаток реалізований з використанням мови програмування С++ та фреймворку Qt.

Керівник: Паскаль Фебвр, професор

Автономна електростанція на основі сонячної батареї для зарядження електронних гаджетів в СумДУ

Ярошенко Я.В., студент; Лаврик А.В., студент;
Сальніков О.О., студент; Возний А.А. молодший науковий
спіробітник
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

За останні десятиріччя, споживання енергії у світі з кожним роком зростає на декілька відсотків. В даний час, більша кількість енергії виробляється за допомогою вичерпних природних ресурсів (вугілля, нафта, газ). Сонячне світло є майже невичерпним природним ресурсом, тому в останні роки швидких темпів набуває розвиток сонячної енергетики. Зокрема, тільки за 2017 рік, вироблення «зеленої» енергії в світі за допомогою сонячних панелей, за даними UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance 2018, виросло приблизно на 50%.



Рис.1.Спрощена схема автономної електростанції

Для стимулювання розвитку альтернативної енергетики в університеті, на його території буде побудована автономна електростанція для зарядження електронних приладів (смартфонів, планшетів тощо). Спрощена схема даної системи представлена на рис. 1. Її принцип дії можна поділити на декілька етапів: 1) спочатку, сонячна панель (1) перетворює світлову енергію в електричну; 2) потім, згенерована електрична енергія передається до спеціального контролеру (2), який заряджає акумулятор (3); 3) на кінець, акумулятор живить навантаження (підключені до системи електронні гаджети) (4).

Електронні генератори сигналів на основі транзисторних і діодних елементів

Босенко В.С., *магістрант*; Толстіков Д.І., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Електронні генератори – це пристрої, які призначені для перетворення енергії джерел живлення постійного струму в енергію вихідного сигналу напруги (струму) необхідної форми, амплітуди і частоти. Генератори конструюються на основі підсилювачів, діодів Шоттки, LC-контурів або RC-ланцюгів. Використання в сучасних генераторах діодних мостів на основі діодів Шоттки забезпечує низькі робочі напруги, високу швидкодію та енергоефективність.

Для вимірювання частотної залежності ємності LC-генератора використовувався лабораторний стенд (Рис.1), електрична схема якого складалась із резисторів $R1 = 10 \text{ кОм}$, $R2 = 2,7 \text{ кОм}$, $R3 = 150 \text{ кОм}$ і $R4 = 220 \text{ кОм}$; конденсаторів $C1 = 200 \text{ мкФ}$; $C2 = 0,5 \text{ мкФ}$ і $C3 = 470 \text{ мкФ}$; стабілітрона типу Д 815; транзистора КТ 816; котушок з кількістю витків 20 ($L1$) та 200 ($L2$). Для контролю частоти генератора застосовувався вимірювальний прилад Mastech - MY 68.

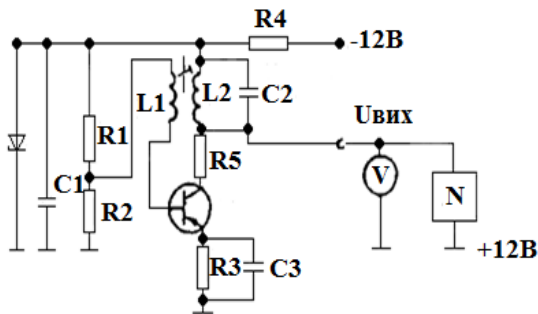


Рис.1. Електрична схема LC-генератора

Результати вимірювань показали, що зміна ємності конденсаторів $C2$ і $C3$ від 0,5 до 150 мкФ та 150 мкФ 500 мкФ призводить до зміни частоти генератора від 2 до 15 кГц та від 15 до 35 кГц відповідно. На основі частотних характеристик розрахований коефіцієнт частотної нестабільності коливань лабораторного генератора при кімнатній температурі, величина склала $\delta f = 2,5\%$.

Електронні дисплеї: фізичні основи формування зображень та архітектура

Сесенко А.А., *магістрант*; Гончаренко О.М., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Електронні дисплеї – засоби для відтворення графічної і алфавітно-цифрової інформації. Найбільш розповсюдженими на сучасному етапі розвитку електроніки є рідкокристалічні, плазмові та світлодіодні дисплеї, які споживають малу потужність, дають гарну видимість зображення, мають низьку вартість споживають невелику потужність і зберігають кольорове зображення декілька хвилин без споживання потужності. Крім того ведуться інтенсивні дослідження і роботи щодо виробництва електрохромних, електрофорезних дисплеїв та дисплеїв з використанням електронної емісії [1]. Електрохромні дисплеї засновані на використанні електрохромного ефекту, який полягає в тому, що деякі речовини, наприклад, триоксид вольфраму WO_3 , під дією електричного поля змінюють свій колір. При напрузі 0,5 - 1,5 В плівка WO_3 має синій колір. Електрофорезні дисплеї базуються на явищі електрофорезу: під дією електричного поля в рідині рухаються іони, наприклад частинки пігменту в фарбованій діелектричній рідині, що притягуються або відштовхуються від електрода залежно від знаку потенціалу. Пігмент повинен мати колір, що різко відрізняється від кольору рідини. Напруга для такого дисплея становить десятки вольт. Зображення на екрані монітора характеризується контрастністю, роздільною здатністю, яскравістю та базовим кольором.

Мета роботи полягала у вивченні конструктивно-технологічних особливостей і робочих характеристик електронних дисплеїв як систем відображення інформації, та вимірюванні робочих параметрів індикаторів різних типономіналів.

До переваг рідкокристалічних дисплеїв можна віднести малі розміри і масу в порівнянні з дисплеями на електронно-променевих трубках (ЕПТ). У РК-моніторів відсутні видиме мерехтіння, дефекти фокусування і зведення променів, проблеми з геометрією зображення і чіткістю. Малогабаритні РК-дисплеї мають надзвичайно низьке енергоспоживання, яке забезпечує тривалу (до декількох років) автономну роботу без заміни гальванічних елементів. З іншого боку,

РК-монітори мають ряд недоліків. У порівнянні з ЕПТ рідкокристалічні монітори мають малий контраст і глибину чорного кольору, залежність контрасту від кута огляду також залишається суттєвим мінусом РК-технології (в ЕПТ-дисплеях ця проблема повністю відсутня). Перспективною технологією, яка поступово замінить РК-монітори є OLED-дисплеї на основі матриць з органічних світлодіодів.

Для вимірювання характеристик електронних цифрових індикаторів були проведені вимірювання напруги при зміні прямого струму з використанням лабораторного стенду, до складу 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 10В. На рис.1, як приклад, наведена вольт-амперна характеристика (ВАХ) світлодіодного індикатора КА2284/AN6884 рівня змінного сигналу для настройок тюнера, індикації контролю рівня сигналу на лінійному виході та контролю вихідної потужності.

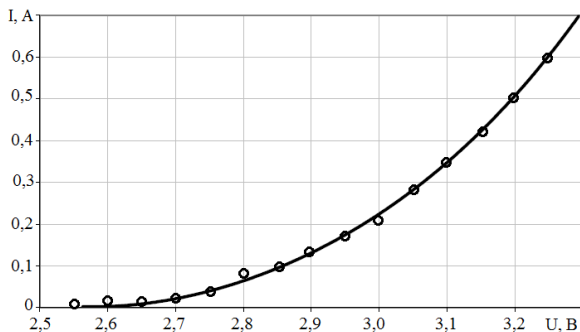


Рис.1. Прямая гілка ВАХ електронного індикатора КА2284/AN6884

Отримано (рис.1), що при зростанні прямої напруги від 2,5 до 3,5 В сила струму збільшується від 0 до 0,7 А. Із характеру ВАХ видно, що її характер аналогічний ВАХ світловипромінюючих діодів, які входять до складу електричної схеми індикатора.

Керівник: Одноворець Л.В., *професор*

Оптоелектронні компоненти систем візуалізації та відображення інформації

Однодворець К.С., студент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В мікроелектроніці застосовують декілька груп оптоелектронних компонентів для візуалізації та відображення інформації: електролюмінесцентні комірки, лазери і світлодіоди.

Світловипромінювальний діод (СД) – це напівпровідниковий прилад, що при пропусканні електричного струму випромінює некогерентне світло у вузькій ділянці спектру. Візуалізація інформації – графічне відтворення, відображення, проектування і генерація зображень та іншої графіки на екрані дисплея на основі вихідних цифрових даних і алгоритмів їхнього перетворення. Зображення можуть також бути відображені на великих екранах за допомогою проєкційної системи або виведення у вигляді твердої копії на папір або плівку за допомогою принтера. Світлодіодні дисплеї – пристрої для відображення і передачі візуальної інформації, в якому кожним пікселем є один або декілька СД.

Мета роботи полягала у дослідженні робочих характеристик світло випромінюючих діодів як компонентів дисплеїв. Вимірювання вольт-амперних характеристик (ВАХ) проводились з використанням лабораторного стенду, виготовленого на кафедрі електроніки, загальної та прикладної фізики СумДУ. До складу стенда входили СД різного кольору світіння. У результаті досліджень ВАХ встановлено, що лінійна залежність прямого струму від величини прямої напруги спостерігаються в діапазоні струмів $\Delta I = 0 - 0,3$ мА при напрузі $\Delta U = 0 - 1,6$ В (СД червоного кольору світіння АЛ307Б і АЛ102Б); $\Delta I = 0 - 0,5$ мА при напрузі $\Delta U = 0 - 0,5$ В (СД зеленого кольору світіння АЛ307ВМ і АЛ102В) та при $\Delta I = 0 - 15,6$ мА в діапазоні напруг $\Delta U = 0 - 3,2$ В (блакитного кольору світіння АЛ307КМ), що пов'язано із різною шириною забороненої зони напівпровідникових матеріалів СД: 1,52 еВ (GaAs для червоних СД); 2,27 еВ (GaP для зелених СД) та 3,40 еВ (GaN для СД блакитного кольору).

Керівник: Тищенко К.В., асистент

Елементи електронних інформаційних систем на основі р-п-переходів

Сема Е.О., *студент*; Тарасенко Д.Ю., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Польові транзистори (ПТ) з керувальним переходом – це прилади, в яких керування струмом здійснюється перекриванням каналу між витоком і стоком приладу. Для ПТ характерними є високий вхідний опір: 10^{15} Ом (транзистори на основі структур метал-діелектрик-напівпровідник), 10^{11} Ом (ПТ із р-п-переходом); нелінійна вольт-амперна характеристика та нульова напруга зміщення. Особливості конструктивних рішень дали можливість виготовити польові транзистори з р-п-переходом з кращими параметрами, ніж у біполярних або МДН-транзисторів. Прикладами таких транзисторів можуть бути великострумовий вертикальний польовий транзистор з р-п-переходом і з дуже малим значенням опору каналу у відкритому стані або польовий транзистор з переходом метал-напівпровідник на основі GaAs, який функціонує в діапазоні надвисоких частот.

У роботі експериментально виміряні стоково-заслінкові та стокові характеристики польових транзисторів на р-п-переході, основними параметрами яких є крутість стоково-заслінкової характеристики S та активна вихідна провідність g . Вимірювання проводились на лабораторному стенді, електрична схема якого включає в себе ПТ, амперметр, два вольтметри, два резистори для зміни струму та напруги, вивід для заземлення.

Крутість S була розрахована по лінійній ділянці стоково-заслінкової характеристики при фіксованій напрузі стоку $U_c = 1$ В та для польових транзисторів типу КП 103Е з керувальним р-п-переходом склала величину $S = 1,2 \cdot 10^{-3}$ А/В. Провідність транзисторів g визначалась при фіксованій напрузі заслон-витік $U_{з-в} = 0,1$ В: $g = 1,5 \cdot 10^{-5}$ А/В. Порівняння отриманих значень з довідниковими даними показує, що визначені параметри лежать в допустимих межах.

Керівник: Ігнатенко В.М., *доцент*

**Вплив зовнішніх факторів на параметри
волоконно-оптичних ліній зв'язку**

Москаленко М.М., *магістрант*; Макоєдов М.С., *магістрант*;
Костян М.О., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Застосування волоконно-оптичних систем спричинило суттєве підвищення якості послуг зв'язку: можливість користування мережею Інтернет і електронною поштою; створення безпечних систем освітлення архітектурних об'єктів, важкодоступних зон та декоративних систем освітлення; використання оптичних волокон (ОВ) в сейсмічних та гідролокаційних приладах; виробництво оптоволоконних сенсорів.

Оптичне волокно – це скляна або пластикова нитка, яка використовується для перенесення світла завдяки ефекту повного внутрішнього віддзеркалення. Конструктивно ОВ складається з трьох частин: серцевини з показником заломлення n_1 ; оболонки з показником заломлення n_2 ($n_2 < n_1$) та захисного покриття з метою запобігання впливу зовнішніх факторів (волога, підвищені температури, удари блискавки). Оптоволоконний кабель (ОК) – конструкція з одного або кількох ізольованих один від одного оптичних волокон, укладених в оболонку.

У роботі проведена оцінка ймовірності річної частоти пошкодження волоконно-оптичної лінії зв'язку (ВОЛЗ) – волоконно-оптичної системи, яка складається із пасивних та активних елементів, та призначена для передачі інформації у оптичному діапазоні.

Ймовірність виникнення в підземному кабелі струму, який може викликати його пошкодження знаходиться за співвідношенням [1]:

$$N_n = N_o \cdot K_p \cdot K_n, \quad (1)$$

де K_n – поверхневий коефіцієнт, за допомогою якого врахована залежність кількості ударів блискавки в землю від рельєфу і наявності на поверхні землі високих (дерев, мачт, опор) об'єктів. Вважаємо, що $K_n = 1$, оскільки вздовж траси ВОЛЗ немає дерев і місцевість рівна;

K_p - коефіцієнт грозозахищеності ОК з металевими елементами;

$N_0 = \frac{g \cdot 2 \cdot r_{no} \cdot L}{1000}$ – загальна ймовірна середньорічна кількість усіх

ударів блискавки в оптичний кабель ВОЛЗ; $g = C \cdot T$ – питома щільність ударів блискавки в рік на км^2 земної поверхні; $C = 0,067 \cdot T$ $1/\text{год} \cdot \text{км}^2$ – середня кількість ударів блискавки на 1 км^2 землі під час грози; T – середньорічна тривалість гроз в годинах для даної місцевості; r_{no} – умовний радіус іскрової зони, м; L – довжина лінії, км (у нашому випадку $L = 20$ км); середнє значення питомого опору ґрунту приблизно $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Інтенсивність грозової діяльності була розрахована за питомою щільністю ударів блискавки в землю (очікувана кількість ударів блискавки в 1 км^2 поверхні землі за рік) виходячи із середньорічної тривалості блискавок в годинах. Інтенсивність грозової діяльності в різних кліматичних районах дуже сильно відрізняється. Її встановлюють по даним метеостанції, що знаходиться поблизу трас ВОЛЗ. Кількість ударів блискавки в землю залежить від типу грози і може змінюватись в межах від 0,05 до 0,25 ударів на 1 км^2 в грозовий день.

Для ділянки довжиною 20 км на території Сумської області середньорічна тривалість гроз $T \cong 73,5$ год. Тоді $g = 0,067 \cdot 73,5 = 4,92$ $1/\text{год} \cdot \text{км}^2$, $r_{no} = \sqrt{\frac{20,66 \cdot \rho}{2\pi \cdot E_{np}}} = 1,75$ м, де ρ - питомий опір ґрунту на трасі

ВОЛЗ, $E_{np} = 108 \text{ кВ/м}$ – пробивна напруга електричного поля в ґрунті; коефіцієнт ризику $K_p = 0,01$; $N_0 = 0,689$. Очікувана ймовірність пошкодження оптичного кабелю [1]: $N_n = 0,034$.

Порівняння отриманого результату з допустимою нормою $N'_n = 0,040$ [1] вказує на те, що $N_n < N'_n$, тому захист оптоволоконного кабелю від ударів блискавки не потрібен.

1. Розорінов Г.М., Соловійов Д.О. Високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку. – Київ: Кафедра, 2012. – 289 с.

Керівник: Однодворець Л.В., *професор*

**Магнітні та калориметричні властивості сполуки
 $C_2H_{10}N_2[Cu(C_{10}H_2O_8)] \cdot 2,5H_2O$**

П. Данильченко^{1,2}, *магістрант*; О. Ткач^{1,2}, *доцент*;
Р. Тарасенко¹, *доцент*

¹Університет Павла Шафарика, м. Кошице, Словаччина

²Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На сьогодні дослідники з квантового магнетизму цікавляться сполуками, що містять в своєму складі Cu^{+2} іони. Основними причиною інтересу до таких з'єднань можна вказати можливість швидкого та дешевого росту монокристалів з розчинів солей та далека відстань між іонами міді в орторомбічній молекулі, що дає слабкий обмінний зв'язок між атомами. Дані умови є необхідними при створенні елементів квантової електроніки.

Основною метою даної роботи стало знаходження оптимального шляху приготування великих, високоякісних монокристалів сполуки $C_2H_{10}N_2[Cu(C_{10}H_2O_8)] \cdot 2,5H_2O$. Друга частина роботи полягала вивченні їх загальних фізичних властивостей. Зокрема, мова іде про вимірювання молярної теплоємності, розділення внеску в її величину теплоємності решітки та магнітної теплоємності; аналіз температурної залежності намагніченості та магнітної сприйнятливості.

Для приготування монокристалів було використано водні розчини солей $(BTC)(H_2en)_2 \cdot 2H_2O$ і $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$, які повільно випаровувались за кімнатної температури. Після одного тижня з розчину виділялися кристали з огранкою призми.

Вимірювання магнітної сприйнятливості було проведено на SQUID-магнітометрі фірми Quantum Design. У температурному інтервалі 0,5-20 К була виміряна теплоємність на комерційному 3He - 4He охолоджувачі.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що монокристали $C_2H_{10}N_2[Cu(C_{10}H_2O_8)] \cdot 2,5H_2O$ -магнета мають найбільшу магнітну сприйнятливості при 5 К. Магнітна складова теплоємності має максимум при 3,5 К, що узгоджується з найменшим впливом обмінних зв'язків між іонами Cu^{+2} .

Вплив магнітного поля на магнітооптичні властивості тонкого дроту

Фролов А.^{1,2}, *магістрант*; Ваговський О.², *аспірант*
¹Університет ім. Павла Шафарика, м. Кошице, Словаччина
²Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Відомо, що деякі матеріали мають здатність змінювати поляризацію світла, яке падає на їх поверхню. Ефект отримав назву магнітооптичного ефекту Кера, названий в честь шотландського фізика Джозефа Кера, який відкрив його в 1875 році.

У ході проведення експерименту був використаний матеріал $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$ у формі тонкого дроту з діаметром близько 0.5 мм. Для зміни вектора магнітного поля доменної структури були використані дві котушки, які приєднувались до джерел постійного та змінного струму. Під впливом змінного магнітного поля частотою 20 Гц поляризація дроту змінювалася на протилежну у місці «перекриття» змінного магнітного поля від котушки 1 постійним полем котушки 2. Для контролю зміни поляризації магнітного поля був використаний газовий лазер ($\lambda = 633 \text{ нм}$) та поляризаційні детектори (рис. 1).

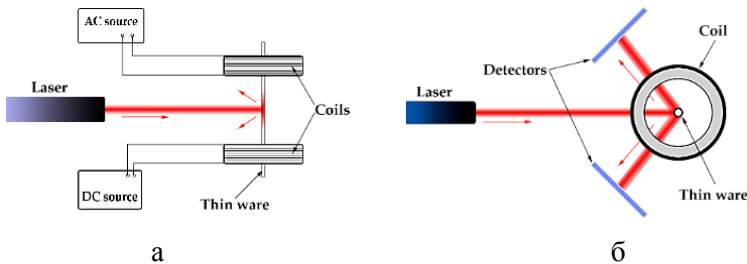


Рис. 1. Схема експериментальної установки: вигляд збоку (а) та вигляд зверху (б)

Таким чином, у ході проведення експериментальних досліджень була доведена реалізація магнітооптичного ефекту Кера в тонких дротах, а також можливість використання $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$ як основного для виготовлення зразків такого типу.

Керівник: Ткач О.П., *доцент*

Віртуальний стенд для дослідження індукованих шумом переходів

Вітренко А.М., *старший викладач*; Макаренко К.В., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

При дослідженнях у галузі нелінійної динаміки, в тому числі стохастичних явищ, широке застосування знаходять аналогові електронні схеми (АЕС). Їх проектувати, збирати та використовувати у лабораторному експерименті значно простіше та економніше, ніж звичайні натурні установки. Для моделювання за допомогою АЕС того чи іншого процесу використовується його диференціальне рівняння. При цьому дослідницький стенд містить відповідні електронні схеми – суматори, мультиплікатори, інтегратори тощо. На вхід АЕС подається сигнал відомої форми з генератора функцій, а вихідний сигнал вивчається за допомогою осцилографа, аналізатора спектра тощо. Комп’ютерне моделювання, в свою чергу, простіше за аналогове. Все, що необхідно мати, – це ПК і відповідне програмне забезпечення. На роль останнього добре підходить середовище LabVIEW з візуальною мовою програмування, створене не для програмістів, а для інженерів, яке дозволяє зосереджуватися на віртуальних приладах (ВП) і зв’язках між ними, а не написанні програмного коду. Мета роботи – розробка віртуального стенду в середовищі LabVIEW для дослідження індукованих шумом переходів. Практична цінність даної роботи у використанні стенду в дослідженні класичної моделі, яка і на сьогодні вивчена не до кінця [1]. Гаусівський білий шум генерується ВП Continuous Random. Стохастичне диференціальне рівняння зводиться до різницевого. Використовуються структури For Loop і Feedback Node та числові функції Add, Multiply, Square Root і т.п. ВП Waveform Graph відображає вихідний випадковий сигнал. Для аналізу його імовірнісного розподілу будуються гістограми за допомогою ВП Create Histogram Express. Встановлено, що для малого шуму гістограми мають один максимум, для великого – два. Отже, розроблений нами віртуальний стенд демонструє достовірні результати.

1. А.М. Вітренко, *Ж. нано-електрон. фіз.* **11**, №1, 01010 (2019).

Концентраційна залежність коефіцієнту тензочутливості плівок на основі Fe і Ag або Au

Пилипенко О.В., асистент; Шумакова М.О., аспірант;
Однодворець Л.В., професор
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У роботі представлені результати досліджень тензорезистивного ефекту в плівкових системах (Fe+Ag)/П і (Fe+Au)/П (П – підкладка). Концентраційні залежності інтегрального коефіцієнта поздовжньої тензочутливості (КТ) наведені на рис. 1.

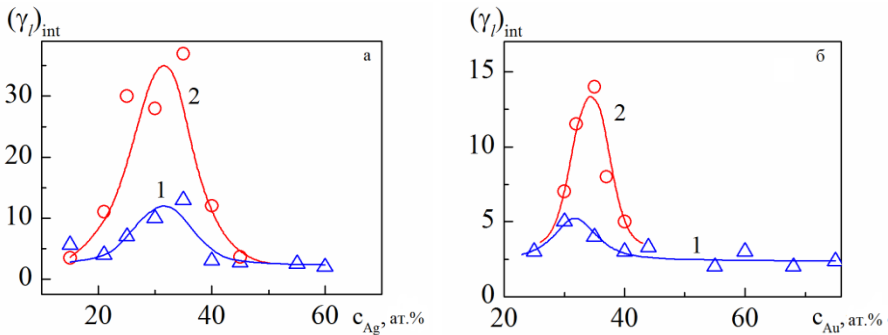


Рис. 1. Концентраційні залежності коефіцієнта тензочутливості для плівкових систем (Fe+Ag)/П (а) і (Fe+Au)/П (б), отриманих методом одночасної конденсації компонент, в інтервалах пружної (1) та пластичної деформації (2)

Установлено (див. також [1]), що збільшення концентрації атомів Ag в зразках призводить до зростання величини КТ: для систем (Fe+Ag)/П - від 2 до 12 (пружна деформація) та 35 (пластична деформація) одиниць; для систем (Fe+Au)/П - від 2 до 5 (пружна деформація) та до 14 (пластична деформація) одиниць. Максимальна величина КТ в діапазонах як пружної, так і пластичної деформації в плівках на основі Fe і Ag спостерігається при $c_{Ag} = 35$ ат.%, а у плівках на основі Fe і Au максимум на концентраційній залежності в області пластичних деформацій зміщується - до $c_{Au} = 45$ ат.%

Отримані результати ми пояснюємо таким чином. У нашому випадку зразки представляють собою одношарову плівку гранульованого сплаву на основі ГЦК решітки Ag або Au і атомів Fe. Оскільки величина $(\gamma)_{int}$ пропорційна концентрації магнітної компоненти, то електронні властивості твердого розчину (т.р.) не зможуть обумовити нелінійний концентраційний ефект в тензочутливості (рис.1).

Ми приходимо до висновку, що вказану нелінійність забезпечує система гранул. При відносно малих концентраціях магнітної компоненти гранули із атомів Fe мають малі розміри, що обумовлює їх суперпарамагнітний стан. В інтервалі концентрацій біля максимуму реалізується найбільш ефективно з точки зору спин-залежного розсіювання електронів система гранул, що і забезпечує велике значення $(\gamma)_{int}$. По мірі збільшення концентрації атомів Fe у системі гранул відбуваються суттєві зміни, оскільки коалесценція гранул призводить до формування електричнозв'язаних острівців, а потім і суцільної плівки Fe.

Відмітимо, що описаний концентраційний ефект спостерігався також у дещо специфічній плівковій системі Ni:a-C:H авторами роботи [2], хоча ефект пояснюється на основі уявлень про тунелювання електронів провідності із острівців Ni.

Робота виконана у рамках держбюджетної тематики МОН України №0118U003580 (2018 – 2020 рр.).

1. Pylypenko O. V., Odnodvoret L.V., et al., *J. Problems of Atomic Science and Technology*, No5(105), 131 (2016).
2. Schmid-Engel H., Schwebke S., Werner U., *J. Sens. Sens. Syst.*, **7**, 1 (2018).

Термічний коефіцієнт опору плівкових матеріалів сенсорів на основі феромагнітних і благородних металів

Пилипенко О.В., асистент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Вивчення електрофізичних властивостей плівкових систем на основі феромагнітних і благородних металів залишається актуальною з точки зору їх використання як матеріалів чутливих елементів мікроелектронних і сенсорних приладів. Узагальнені розмірні залежності питомого опору (ρ) та термічного коефіцієнту опору (β) для плівок Fe, Ag та Au представлені на рис.1. Із рис.1 видно, що при зростанні товщини плівок величина ρ зменшується, а β – збільшується.

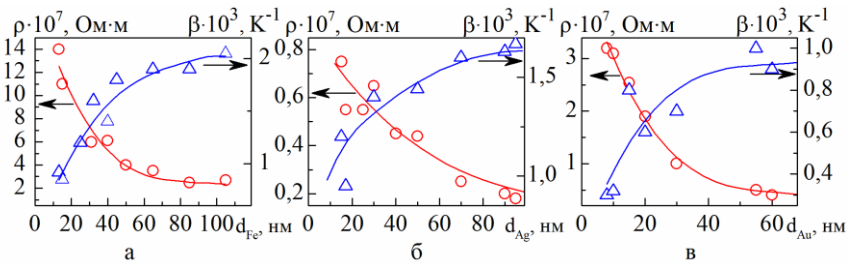


Рис. 1. Розмірні залежності ρ та β для плівок Fe (а), Ag (б) та Au (в)

Концентраційні залежності питомого опору та β для систем (Fe+Ag)/П та (Fe+Au)/П (П – підкладка), сформованих методом одночасної конденсації металів, загальною товщиною 20 нм, мають слабо виражені максимуми і мінімуми.

Установлено, що для плівкової системи (Fe+Ag)/П характерним є плавний спад та зростання питомого опору з мінімумом при $c_{\text{Ag}} = 65$ ат. %. У випадку зразків на основі Fe і Au концентраційна залежність питомого опору характеризується наявністю різкого максимуму при $c_{\text{Au}} = 65-70$ ат. %. У плівках (Fe+Au)/П максимуму на залежності $\rho(T)$ при $c_{\text{Au}} = 65-70$ ат. % пояснюється структурним переходом: твердий розчин $\text{Au}(\text{Fe}) \rightarrow \text{т.р. } a\text{-Fe}(\text{Au})$. Величина β змінюється в інтервалі $(0,5 - 3,0) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Вплив кількості повторів фрагменту Pu/Ag на магніторезистивні властивості компонентів електронних систем

Шуляренко Д.О., *аспірант*; Долгов-Гордійчук С.Р., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Компоненти електронних систем сформовані на основі багат шарові плівкові системи, до складу яких входять феромагнітні і благородні матеріали, цікаві як з фундаментальної (проявляють різноманітні магнітні властивості, такі як магнітна анізотропія, коерцитивність, магнітоопір тощо), так і прикладної (широкий спектр застосування в галузях магнітного або магнітооптичного запису, магнітних датчиків) точок зору. Їх властивості суттєво залежать від товщини окремих шарів, порядку їх чергування, умов формування.

У даній роботі показано як впливає кількість повтору бішару Pu/Ag , де Pu – пермалоєвий сплав $Ni_{80}Fe_{20}$, на магніторезистивні властивості багат шарової плівкової системи $[Pu/Ag]_n/П$ (П – ситалові підкладка) при збереженні загальної товщини системи. Формування зразків проводилося методом пошарової електронно-променевої конденсації у вакуумі при тиску газів залишкової атмосфери 10^{-4} Па. Вихідною була вибрана система $Pu(16)/Ag(38)/П$ (П – ситалова підкладка), при формуванні наступних кількість повторів бішару Pu/Ag збільшувалася з 2 до 16, а загальна товщина системи залишалася незмінною і становила 54 нм. Дослідження магніторезистивних властивостей проводилося в трьох геометрія: перпендикулярній, повздовжній та поперечній за кімнатної температури у зовнішньому магнітному полі $B = \pm 500$ мТл.

Аналіз отриманих польових залежностей магнітоопору (МО) показав, що для всіх геометрій вимірювання зміна кількості повторів бішару Pu/Ag у багат шаровій системі з 2 до 16 при збереженні загальної товщини системи призводить до зростання величини МО в межах від 0,1 до 0,3 %. При цьому слід зазначити, що для системи з кількістю повторів $n = 2$ та 4 залежності $МО(B)$ мають анізотропний характер, в той час як при $n = 8$ та 16 спостерігається ізотропний магнітоопір.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0119U100777 (2019-2021 рр).

Керівник: Пазуха І.М., *доцент*

Високоентропійні плівкові сплави: методика формування та фазовий склад

Подуремне Д.В., *молодший науковий співробітник*;
Кулак А.С., *студент*; Рилова А.К., *студент*;
Лободюк О.С., *завідувач лабораторією*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Високоентропійні плівкові сплави (ВЕС) – це функціональні матеріали, що складаються із атомів п'яти або більше металів приблизно в однакових концентраціях. Останніми роками проводяться інтенсивні дослідження механічних і магнітних властивостей масивних ВЕС. Нами започатковані [1, 2] дослідження електрофізичних (термічний коефіцієнт опору, коефіцієнт тензочутливості) властивостей плівкових ВЕС на основі металів.

Нами запропонована методика формування плівкових ВЕС методами одночасної і пошарової конденсації (рис.1) з наступною термообробкою в інтервалі температур 300 – 700 К. Конденсація проводилася електронно-променевим (Со) та терморезистивним (Fe, Ni, Cr, Al, Cu) методами, товщина окремих шарів варіювалась від 10 до 30 нм. Концентрація компонентів оцінювалась розрахунковим методом на основі значень товщини шарів, виміряних кварцовим резонатором, і уточнювалась методом енерго-дисперсійного аналізу. Одночасна конденсація металів проводилася при окремому розташуванні випарників, підкладок та датчиків товщини (рис.1 а), або при окремому розміщенні лише випарників (рис.1 б), що дозволяло здійснювати як пошарову, так і одночасну конденсацію зразків.

Результати електронографічних досліджень вказують на те, що багатокомпонентні плівкові системи на основі Fe, Co, Al, Ni та Cu мають двофазний склад: ГЦК фаза ($a = 0,360 - 0,365$ нм або при надлишку Al – $a = 0,402 - 0,405$ нм) і сліди ОЦК фази, яка відповідає інтерметалідам на основі Ni і Al або Fe і Cr. Після відпалювання фазовий склад гомогенізується і відповідає ГЦК фазі із параметром $a = 0,360 - 0,365$ нм, що можна пояснити так. Відомо (див., наприклад, [3]), що формування ВЕС відбувається при виконанні умов: величина ентропії змішування $\Delta S_{mix} = 1,75 R = 14,54$ Дж/(моль·К) для еквіатомного сплаву та параметри різниці атомних

розмірів $\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i (1 - \frac{r_i}{r})^2}$, де r_i – атомний радіус і-ої компоненти;

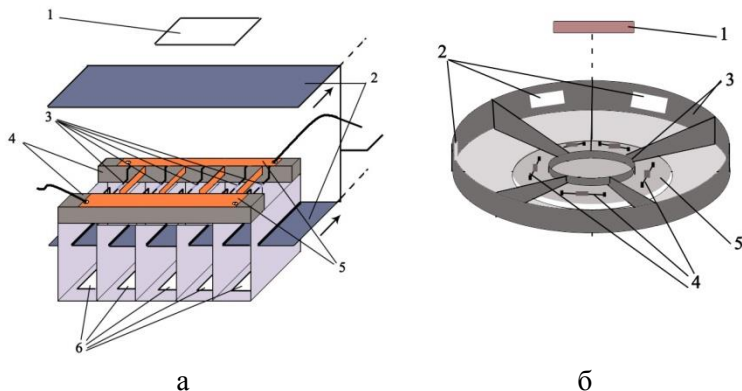


Рис.1. Конструкція систем випарників для одночасної (а) і пошарової (б) конденсації металів: 1 – підкладка; 2 – суміщені рухливі екрани; 3 – вольфрамові випарники; 4 – керамічні ізолятори; 5 – металеві контакти для підведення напруги до випарників; 6 – свідки для визначення товщини окремих компонентів ВЕС інтерферометричним методом

$\bar{r} = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i r_i^2}$ – середній атомний радіус, повинен бути меншим 6,6 % (у нашому випадку $\delta < 1\%$). Виконання цих умов і обумовлює формування однофазового ВЕСу.

Робота виконана у рамках держбюджетної тематики МОН України №0118U003580 (2018 – 2020 рр.).

1. S.I.Vorobiov, D.M.Kondrakhova, S.O.Nepijko, D.V.Poduremne, N.I.Shumakova, I.Yu. Protsenko, *J. Nano- Electron. Phys.*, **8**, 3, 03026 (2016).
2. Yu.Bereznyak, L.V.Odnodvoret, D.Poduremne, I.Yu.Protsenko, Yu.M. Shabelnyk, High-entropy film alloys: electrophysical and magnetoresistive properties (Springer Proceedings in Physics. Nanooptics, nanophotonics, nanostructures, and their applications: Springer International Publishing: 2018).
3. Y.Zhang, Y.Zhou, *Materials Science Forum*, **561 – 565**, 1337 (2007).

Науковий керівник: Проценко І.Ю., професор

Електрофізичні властивості одношарових та двошарових систем на основі Cu та фулериту C₆₀

Бездідько О.В., *аспірант*; Отог Д.В. *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Унікальні електрофізичні властивості фулерену C₆₀ у конденсованому стані вказують на значні перспективи використання цього матеріалу в електроніці, опто- і наноелектроніці та в інших галузях техніки. Метою роботи було дослідження електрофізичних властивостей одношарових та двошарових систем на основі Cu та фулериту C₆₀. Відмітимо певні особливості отриманих температурних залежностей. Для плівки Cu/Π (рис 1а і 2а) спостерігається збільшення питомого опору при збільшенні температури при I та II циклах термовідпалювання. Це можна пояснити відсутністю дефектів кристалічної будови у зразках.

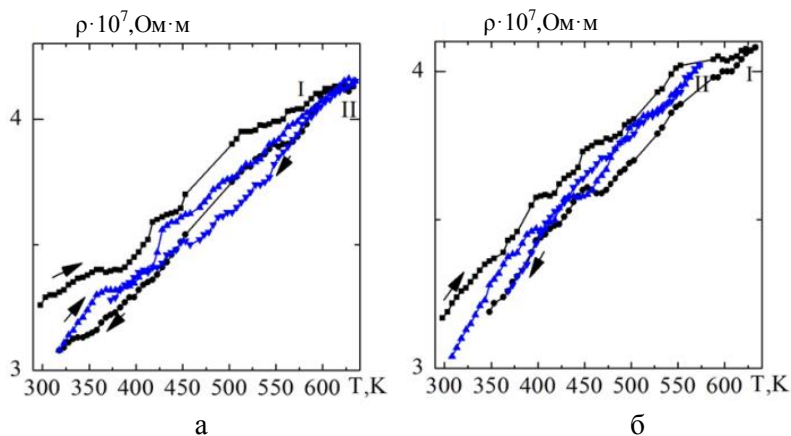


Рис. 1. Залежність питомого опору від температури плівок Cu(15)/Π (а) та C₆₀(69)/Cu(15)/Π (б). У дужках вказана товщина в нм

На рис. 1 б і 2 б наведені відповідно температурні залежності для систем C₆₀(69)/Cu(15)/Π, C₆₀(69)/Cu(40)/Π, на основі яких вивчена зміна питомого опору плівок Cu після осадження на них фулериту C₆₀.

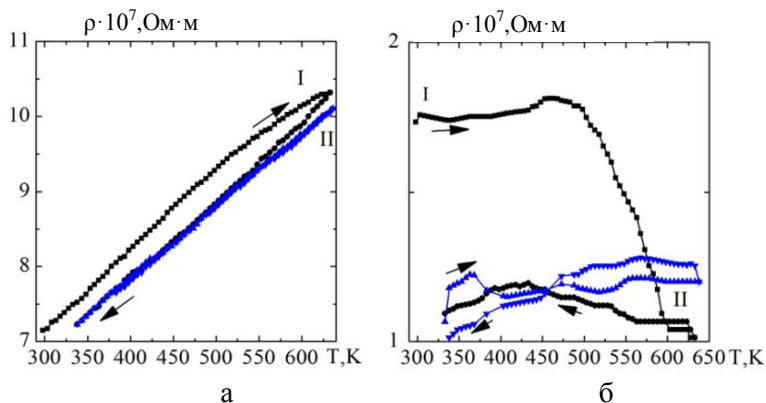


Рис. 2. Залежність питомого опору від температури плівок $\text{Cu}(40)/\text{PI}$ (а) та $\text{C}_{60}(69)/\text{Cu}(40)/\text{PI}$ (б)

Спостерігається зміна характеру залежностей кривих: від збільшення питомого опору в системі $\text{C}_{60}(69)/\text{Cu}(15)/\text{PI}$ (рис. 1 б) до поступового його зменшення у системі $\text{C}_{60}(69)/\text{Cu}(40)/\text{PI}$. Це можна пояснити процесом заліковування дефектів (вакансія, інорідний атом). Із залежності на рис. 2 витікає, що роль дефектів в електричних властивостях не дуже значна, оскільки зниження питомого опору спостерігається в інтервалі від $1,75 \cdot 10^{-7}$ до $1,25 \cdot 10^{-7} \text{Om} \cdot \text{m}$. Це говорить про те, що в окремих фулеренах утворюється мала кількість вуглецевих вакансій, які могли б замістити атоми домішок. Порівняння залежностей та величини питомого опору на рис.1б і 2б дозволяє зробити висновок про велику роль в електропровідності двошарової плівки $\text{C}_{60}(69)/\text{Cu}(40)/\text{PI}$ шару фулериту. Вона може проявлятися в обов'язковому зменшенні питомого опору при переході до паралельного з'єднання двох плівок та можливій інжекції вільних електронів із шару фулериту у плівку Cu .

1. І.Ю. Проценко, Н.І. Шумакова, *Наноматеріали і нанотехнології в електроніці: підручник*. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – 155 с.

Керівник: Шумакова Н.І., доцент

Метод лазерно-індукованої коагуляції

Коломієць О.О., *інтерн*; Лукавенко І.М., *канд. мед. наук*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Інтеграція радіологічних методів в практичну мамологію призвела до появи нових хірургічних методик, які дозволяють проводити видалення або руйнування вузлових утворень з мінімальною трав-матичністю тканин. Метод лазерно-індукованої коагуляції з використанням високоінтенсивного лазерного випромінювання заснований на фотометричних і абляційних ефектах, які полягають в необоротних змінах тканин (некрозу) в температурному діапазоні 45 – 70°C та їх заміщення з'єднувальною тканиною (див., наприклад, [1]).

Терапевтичний вплив лазерного випромінювання базується на ряді фотоактивованих процесів, які, починаються з поглинання кванта світла молекулами нуклеїнових кислот і кисню, що приводить до утворення вільних радикалів і активації ферментів, за допомогою яких запускаються фізіологічні реакції в клітинах та утворюються фізіологічно активні сполуки. Застосування волоконних лазерів є перспективним напрямом хірургії, оскільки вони відповідають ключовим вимогам: простота користування, надійність, широкий вибір параметрів і можливість їх точного контролю, мобільність і енергоефективність. Мета роботи полягала у визначенні ефективності методу лазер-індукованої коагуляції для облітерації кіст грудної залози (ГЗ) з використанням універсального лазерного коагулятора «Ліка-хірург».

Принцип дії приладу заснований на генерації лазерного випромінювання напівпровідниковими лазерами оптичного модуля приладу. Набір режимів роботи і параметрів здійснюється кнопками блоку клавіатури, які відображаються на індикаторі блоку індикації та подаються на блок управління. До складу блоку управління входять плати драйверів, кількість яких залежить від вихідної потужності лазерного випромінювання. Блоки живлення призначені для подачі стабілізованої напруги на блоки, плати і елементи оптичного модуля. Програмне забезпечення (мова типу Ассемблер) вводиться в мікропроцесор через програматор – програмне середовище «AVR Studio». На рис.1 наведені схеми безконтактного і контактного впливу лазерного випромінювання на біологічну тканину, які застосовують в сучасних приладах.

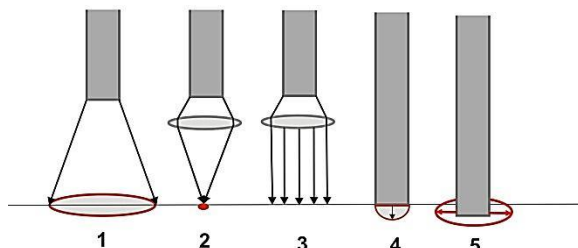


Рис.1. Схематичне зображення впливу лазерного випромінювання на біологічну тканину. Безконтактний вплив: 1 - розфокусованим лазерним променем; 2 – за допомогою фокусуючої насадки; 3 – за допомогою колімуючої насадки. Контактний вплив: 4 – дистальним кінцем світловоду; 5 – радіальний вихід лазерних променів з дистального кінця світловода

При використанні методу лазерно-індукованої коагуляції в порожнину кісти вводять пункційну голку, потім через отвір голки – гнучкий волоконний світловод. Перед лазерним впливом евакуюють не менше 50% вмісту кісти. Вплив здійснюють безперервним випромінюванням з довжиною хвилі променя $\lambda = 650$ нм, потужністю $P = 5,0 - 10,0$ Вт, часом опромінення $\tau = 0,1 - 10$ с. Через пластиковий катетер в порожнину кісти вводиться кварцевий електрод діаметром 600 мкм. Випромінювання апарату передається до місця проведення хірургічних маніпуляцій за допомогою гнучких волоконно-оптичних світловодів малого діаметра. Довжина гнучкої ділянки світловоду $D = 2$ м, діаметр оптичного волокна $d = 400 - 440$ мкм.

Ефективність склерозування кіст ГЗ з використанням методу лазерно-індукованої коагуляції становила понад 97%. Рецидив кісти об'ємом 12 – 15 см³ виник у 3 (2%) хворих, 6 – 12 см³ – у 1 (0,7%). При лазерному опроміненні кіст ГЗ об'ємом 3 – 6 см³ рецидиву не було.

Таким чином, встановлено, що використання методу лазерно-індукованої коагуляції є ефективним для лікування кіст ГЗ великих розмірів та безпечною альтернативою хірургічному лікуванню.

1. Лукавенко І.М., Андрющенко В.В., Язиков О.В., *Журнал нано-електрон. фіз.*, **10**, 6, 06031 (2018).

Конструктивно-технологічні особливості дефібрилятора як електронного пристрою для екстреної медичної допомоги

Хижня Я.В., канд. мед. наук
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Дефібрилятор – це електронний пристрій, що впливає на серце короткочасним потужним електроімпульсом. Під час виконання дефібриляції відбувається деполяризація критичної маси серцевого м'яза. Застосування цього електронного пристрою дає можливість природним клітинам синусового вузла повернути серцю нормальний ритм. Дефібрилятори, що обов'язково входять в обладнання швидкої медичної та екстреної допомоги, мають невеликі розміри та відносно простий інтерфейс користувача. Конструкція сучасних дефібриляторів (Рис.1) складається з пари електродів, які під'єднуються як до грудної клітки пацієнта, так і вхідного каскаду електрокардіографа.

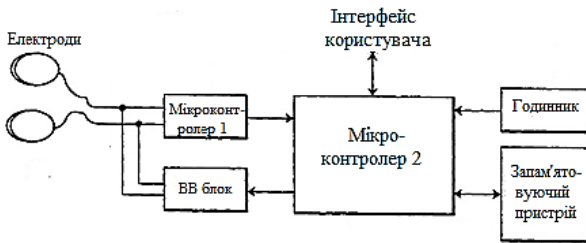


Рис.1. Блок-схема дефібрилятора

Мікроконтролер детектує серцевий ритм і передає сигнал у високовольтний блок для заряду конденсатора при підготовці до подачі електрошоку, активує кнопку електрошоку в інтерфейсі користувача. Коли рятувальник натискає на кнопку електрошоку через електроди до тіла пацієнту подається електричний імпульс. Напруга на робочих частинах електродів досягає 2 кВ. Різні конструкції дефібриляторів відрізняються ємністю конденсатора ($C = 16 - 20$ мкФ) і надають різну форму імпульсу струму. Силу електричних імпульсів визначають як енергію, яка одержується при розрядці. Для прямої дефібриляції використовуються імпульси з енергією 5, 10, 25, 50 або 75 Дж, а для непрямой дефібриляції – 100, 200 і 360 Дж.

Особливості реалізації в LabVIEW віртуального стенду для дослідження коливального контуру

Вітренко А.М., *старший викладач*; Миронов Є.М., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Як відомо, коливальний контур (КК) – електрична схема, що складається з послідовно з'єднаних конденсатора C , котушки індуктивності L та резистора R . В ідеальному КК ($R=0$) можуть відбуватися вільні гармонічні коливання заряду, сили струму і напруги; в реальному – затухаючі періодичні або аперіодичні, в залежності від величини опору. Якщо до КК послідовно підключити змінну напругу $U_m \cos \omega t$, то в ньому збуджуються вимушені електромагнітні коливання. Причому при наближенні власної частоти КК до частоти зовнішньої напруги амплітуда сили струму зростає – виникає резонанс напруг. КК використовується в радіоелектронних пристроях, які працюють на частотах від сотень кілогерц до сотень мегагерц. Завдяки резонансу напруг виділяються коливання певної частоти.

Мета даної роботи – розробити віртуальний стенд для дослідження КК, який би можна було використовувати як інтерактивну демонстрацію під час занять як зі студентами, так і школярами. Для реалізації мети обрано середовище LabVIEW. Звичайне диференціальне рівняння 2-го порядку вимушених коливань в КК зводиться до системи двох дифрівнянь 1-го порядку. Розв'язавши її чисельно методом Ейлера, встановили, що при вільних коливаннях заряду q і сили струму i їх амплітуди не залишаються постійними в продовж всього декількох періодів. Тому перейшли до більш точного методу Рунге-Кутта 4-го порядку, який позбавляє вказаного артефакту. За основу взято приклад Shooting Method VI з довідкової системи LabVIEW. «Серцем» блок-діаграми стенду є віртуальний прилад ODE Runge Kutta 4th Order. Підстановку чисельних значень у формулу правої частини одного з дифрівнянь здійснює віртуальний прилад Substitute Variables. На лицьовій панелі стенду розташовуються елементи керування Pointer Slide, за допомогою яких виставляються початкові значення q_0 , i_0 , параметри R , C , L та U_m , ω . Розроблений віртуальний стенд дозволяє досліджувати не тільки типові осцилограми КК, наведені у підручниках, а і перехідні процеси.

СЕКЦІЯ 5

«Електронні системи, прилади і засоби кодування інформації»

Про особливості шифрування в розподілених системах відображення числових даних

Борисенко О.А., *професор*; Бережна О.В., *доцент*; Яковлев М.М., *студент*; Рахматоль О.О., *студент*; Фурса М.С., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Моніторинг розподіленого у просторі технологічного процесу потребує для оцінки та керування цим процесом застосування різноманітних засобів вимірювальної техніки, які не тільки надають інформацію про його стан у вигляді числових даних, а ще і забезпечують захист від несанкціонованого доступу при передачі цих даних на значні відстані.

Особливістю шифрування в розподілених системах відображення числових даних є те що система передачі цифрових даних повинна бути захищена не тільки від несанкціонованого доступу, а і від завад, тому що числова інформація за своєю природою має мало надлишкової інформації, а тому є найменш захищеної від дії завад.

Дослідження показали, що в основу рішення захисту від несанкціонованого доступу доцільно покласти шифрувальні таблиці, які перетворюють набір з 10 двійково-десяткових вихідних цифр довжиною 4 біта у взяті випадково довільні перестановки цих же цифр.

Такий підхід дозволяє вирішити практичну задачу побудови цифрових систем передачі та відображення інформації із захистом числових даних від несанкціонованого доступу та помилок, які передаються багато розрядними десятковими числами, з цифрами, що подані в двійково-десятковій формі. Секретність чисел, що передаються, досягається для кожного розряду числа за допомогою окремого шифру підстановок зі своїм ключем та за допомогою ключа шифру перестановок для всіх розрядів десяткового числа. Завадостійкість при цьому забезпечується застосуванням рівноважних кодових комбінацій для кодування двійково-десяткових цифр і використанням надлишковості їх кодових зображень у вигляді 6 заборонених комбінацій.

Система, що розглядається, може бути на практиці реалізована на одній мікросхемі ПЛІС та мати невеликі габарити і оптимальну вартість застосування.

Система передачі і відображення числових даних

Борисенко О.А., *професор*; Хацько А.О., *студент*;
Лащ Ю.В., *студент*; Литвиненко А.М., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Пропонується захищена від несанкціонованого доступу і помилок система передачі і відображення інформації, яка використовує шифрувальні таблиці, які підставляють замість одних двійково-десяткових цифр випадково вибрані інші двійково-десяткові цифри. Дешифрування цих таблиць для стороннього спостерігача є досить складною задачею, тому що числова інформація не має достатнього для її розкриття смислового навантаження.

Нижче на рис. 1 наведена система передачі і відображення інформації для передачі однієї двійково-десяткової цифри, яких, взагалі, може бути декілька

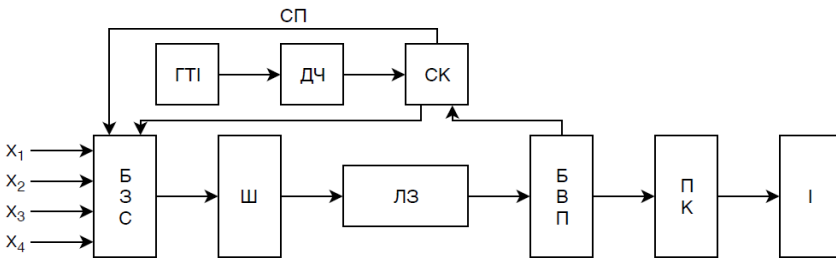


Рисунок 1 - Система передачі та відображення числових даних

Таким чином, система, що пропонується, надійно передає і відображає захищені від несанкціонованого доступу і помилок двійково-десяткові числа і при цьому є досить простою за своєю структурою.

Адаптивна система захисту від помилок на основі площинних кодів

Шевченко М.С., *здобувач*; Гайворонська А.Г., *студент*;
Кулик І.А., *доцент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Однією з актуальних задач при проектуванні систем захисту від помилок є забезпечення заданої вірності повідомлень при максимально можливої швидкості і мінімально можливої вартості передачі даних. Ефективним шляхом вирішення цієї задачі є використання помилковиявляючих та коригуючих кодів, перспективним для застосування з яких є комбінаторний площинний код.

Аналіз показав, що використання площинних кодів забезпечує можливість знаходження будь-якої точки умовної розрядної площини системою комбінаторних координат. У передбачуваному коді число контрольних символів k дорівнює числу координат, а загальне число інформаційних символів m числу комбінацій з k по 2:

$$m = C_k^2 = \frac{1}{2} \cdot k(k-1), \quad (1)$$

де m – число інформаційних символів, k – число контрольних символів.

У проєктованій системі для кращої адаптації до умов передачі реалізується два режими роботи, що дозволяють знайти компромісне рішення по співвідношенню швидкості передачі та вірності інформації: $k = 7$ (режим I) і $k = 4$ (режим II). З (1) випливає, що максимальне число інформаційних символів $m = 21$ (режим I) і $m = 6$ (режим II) відповідно.

Одноразові помилки адаптивна система захисту від помилок на основі площинних кодів виявляє та виправляє. Помилки іншої кратності вона може тільки виявити, про що інформує передавач. Сигнали про помилкову передачу аналізуються щодо їх частоти надходження і подальшого вибору режиму передачі.

Якщо в результаті оцінки каналу виявилось, що він є сильно зашумленим, тоді здійснюється вибір режиму I. Цей режим характеризується високим рівнем перешкодостійкості, але більш низькою швидкістю передачі, ніж при режимі II. В випадку, коли при перевірці каналу буде виявлено, що він є незашумленим, здійснюється вибір режиму II. Цей режим характеризується високою швидкістю передачі інформації при низькому рівні помилок в повідомленнях.

Розробка методів тривимірного (3D) біопрінтингу для друку гелевими біополімерами

Колесник М.М., *доцент*; Знаменщиков Я.В., *асистент*;
Дейнека В.М., *аспірант*; Васильєв В.Р., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Людське тіло має здатність до регенерації, проте вона обмежена багатьма чинниками, зокрема розміром дефекту тканини. Будь-яке пошкодження тканини, що перевищує критичний розмір, потребує хірургічних методів лікування. Найбільш поширеним при цьому є метод, що використовує власні тканини чи біоматеріали у вигляді тканинноінженерних скаффолдів [1]. Тривимірні скаффолди відіграють роль штучного міжклітинного каркасу, стимулюють ріст та диференціацію клітин під час формування нової, власної тканини організму. Використання тривимірних скаффолдів обумовлюється двома критичними факторами: вибором біоматеріалу та методу створення. Серед методів створення скаффолдів найбільш перспективний є їх 3D друк [2], зокрема струменевий друк біоматеріалів. Під час струменевого друку біоматеріал наноситься шар за шаром аж до одержання необхідної конструкції. Саме метод 3D біопрінтингу дозволяє створити скаффолд завантажений плюріпотентними клітинними, який після трансплантації зможе відтворити повноцінну тканину.

Нами проведена модифікація 3D принтера та розроблена відповідна головка, що дозволить використовувати для друку біополімери у вигляді гелю (рисунок 1). В подальшому експериментальним шляхом будуть підібрані вид полімеру та визначені його характеристики для оптимальної швидкості полімеризації друківаних шарів.

В результаті цього буде розроблено оптимальну тривимірну будову скаффолду для можливого заселення його культурою клітин та проведена характеристика поверхні та внутрішньої структури зразка за допомогою скануючої електронної мікроскопії.

Для визначення можливості застосування матеріалів для тканинної інженерії буде визначена швидкість біодеградації з використання розчину SBF (simulated body fluid) та отримані дані щодо типу тканини, в якій може бути використаний метод тканинної інженерії.

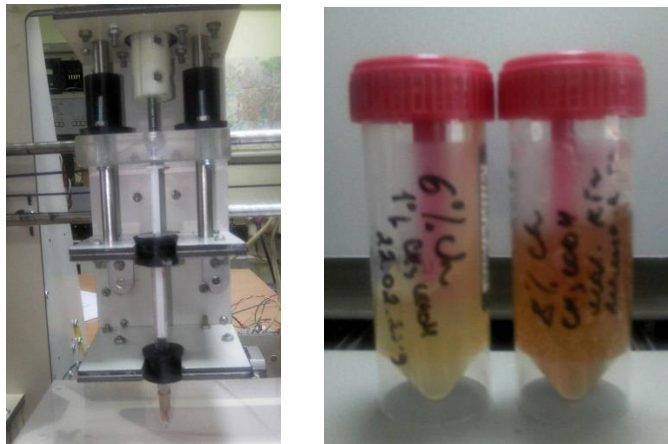


Рисунок 2 – Фото екструдера для 3D друку та біополімери

1. M.V. Pogorielov, V.N. Deineka, R.G. Vasyliiev et al., *Probl Cryobiol Cryomed*, 28(1):069–073 (2018).
2. Shangsi Chen, Yufei Shi, Xin Zhang, Jun Ma *Ceramics International*, In Press, Available online 26 February 2019 <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.02.182>

Структурні та оптичні властивості поліольно синтезованих нанокристалів ZnO легованих магнієм (Mg)

Недосеков К.М., студент; Доброжан О.А., асистент; Курбатов Д.І., начальник НДЧ; Степаненко А.А., провідний фахівець
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У теперішній час, нанокристали оксиду цинку (ZnO) привертають особливу увагу завдяки широкому використанню у приладах геліоенергетики, термоелектрики, сенсорики. ZnO – напівпровідник, який характеризується *n*-типом провідності, широкою забороненою зоною ($E_g \sim 3.37$ eВ при 300 K), великою енергією екситонів (60 меВ), гексагональною елементарною ґраткою з параметрами $a = b = 0,325$ нм, $c = 0,521$ нм. На даний час, велика увага приділяється нанокристалам ZnO завдяки тому, що вони демонструють нові оптичні, електричні, хімічні та механічні властивості на відміну від масивної форми. Але, такі властивості наноматеріалів вивчені недостатньо. Тому, у даній роботі нелеговані та леговані магнієм (Mg) нанокристали оксиду цинку були синтезовані хімічним поліольним методом. У залежності від концентрації домішки (0 ат.% - 20 ат.%) вивчалися структурні та оптичні властивості наноматеріалу.

Нанокристали ZnO були синтезовані використовуючи поліольний метод. Так, суміш 2,2 г ацетату цинку $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ в 10 мл етиленгліколю нагрівалась до 160 °C та витримувалась протягом 4 год. Структурні властивості вивчались рентгенографічним методом, оптичні – за допомогою оптичної спектроскопії.

Показано, що при Mg легуванні до 1 ат.% зберігається однофазність наноматеріалу. Подальше збільшення концентрації Mg призводить до появи вторинної фази $Mg(OH)_2$ та погіршення кристалічної якості матеріалу. Збільшення параметрів кристалічної ґратки підтверджує заміну катіонів Zn^{2+} на Mg^{2+} у елементарній комірці матеріалу. Установлено, що оптична ширина забороненої зони, E_g , змінювалась у діапазоні 3,40-3,80 eВ. Таке збільшення може бути пояснено неузгодженістю кристалічної ґратки та надлишком атомів кисню у наноматеріалі.

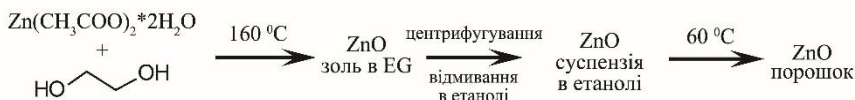
Отримані нанокристали ZnO леговані Mg мають оптичні та структурні властивості, які придатні для використання у тонкоплівкових сонячних елементах та термоелектричних приладах, тощо.

Чорнила на основі наночастинок ZnO призначені для 2D та 3D друку

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

Завдяки великій ширині забороненої зони, прозорості у видимій області спектру, екологічності, високій термічній, та хімічній стабільності оксид цинку (ZnO) протягом останнього часу стає предметом все більш зростаючого інтересу науковців. Ця напівпровідникова сполука є перспективним матеріалом для створення чутливих елементів сенсорів газів, УФ випромінювання, температури, вологості, віконних та струмопровідних шарів сонячних елементів тощо. Для нанесення плівок оксиду цинку нещодавно було запропоновано використовувати 2D та 3D друк. Для цього потрібно створити чорнила на основі суспензії частинок ZnO у розчиннику з малою температурою випаровування.

Наночастинки (НЧ) ZnO були одержані нами методом поліольного синтезу з використанням ацетату цинку $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ та етиленгліколю як реакційного середовища. При синтезі змінювалася концентрація прекурсору (0,5; 1,0; 1,5 моль/л) та час (30, 60, 120, 180 хв.) Схематично процес одержання НЧ оксиду цинку можна представити наступним чином:



Проведений рентгеноструктурний аналіз свідчить, що при синтезі в різних обраних умовах утворюється нанокристалічний оксид цинку гексагональної модифікації (пр. гр. P63mc).

Аналіз ПЕМ знімків показав, що синтезовані НЧ ZnO мають сферичну форму та за розмірами не перевищують (10–30) нм. Розраховані за рівнянням Шеррера розміри ОКР, для зразків з різною концентрацією початкової солі, знаходяться в інтервалі (20 ± 2) нм. На основі одержаних даних встановлено, що зі збільшенням концентрації солі у прекурсорі, зменшуються розміри наночастинок ZnO. В той же час зі збільшенням інтервалу синтезу, розмір утворених частинок збільшується.

Перспективи використання CdS:Du як альтернативного віконного шару в приладах геліоенергетики

Єрмоєнко Ю.С., *молодший науковий співробітник*; Ярошенко Я.В., *студент*; Пономарьов О.Г. *професор*, Опанасюк Н.М., *доцент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Одним з традиційних матеріалів напівпровідникової електроніки та геліоенергетики, являється сульфід кадмію (CdS). Окрім широкого використання в багатьох напівпровідникових приладах (наприклад, в нелінійних інтегральних оптичних пристроях та оптичних хвилеводах), він знайшов своє застосування в якості одного з функціональних матеріалів фотоелектричних приладів. Завдяки високій оптичній прозорості, досить низькому питомому опорі та особливостям зонної діаграми, CdS являється ідеальним матеріалом для використання в якості віконного шару плівкових сонячних елементів (СЕ). Однак, в боротьбі за підвищення коефіцієнту корисної дії та подолання максимальної теоретично можливої ефективності СЕ (так званої межі Шоклі-Квайссера) практикують нові підходи до створення приладів та методи покращення властивостей традиційних напівпровідників, одним з яких може бути їх легування рідкісноземельними елементами (РЗЕ). Зокрема, в результаті легування даними домішками сполук A_2B_6 , в напівпровідниках утворюються глибоко залягаючі випромінювальні центри. Це дозволяє проводити оптичне перетворення сонячного світла з пониженням його частоти, що в свою чергу має привести до підвищення ККД [1]. Тому, вивчення властивостей легованого сульфїду кадмію являється актуальним напрямком досліджень. В даній роботі проводиться порівняльна характеристика структурних і субструктурних властивостей плівок сульфїду кадмію, легованого рідкісноземельним диспрозієм і чистих плівок CdS, отриманих при аналогічних умовах.

Досліджувані плівки CdS і CdS:Du були отримані методом вакуумного випаровування в квазізамкненому об'ємі в вакуумній камері установки ВУП-5М на скляних підкладках, очищених за допомогою ізопропанолу. При нанесенні нелегованих плівок проводилось випаровування шихти CdS напівпровідникової чистоти. В іншому випадку, використовувалась шихта легована диспрозієм. Температури підкладки змінювалась в діапазоні $T_s = (573-773)$ К. Час конденсації становив $t = 4$ хв. Структурні дослідження плівок були виконані на рентгенодифрактометрі ДРОН 4-07 у Ni-фільтрованому K_α випромінюванні кобальтового анода. Знімання

проводилось в діапазоні кутів 2θ від 25° до 80° , де 2θ – брегівський кут. При дослідженні використовувалося фокусування рентгенівського випромінювання за Бреггом-Брентано. Криві нормувалися на інтенсивність піку (101) гексагональної фази. Фазовий аналіз проводився шляхом співставлення міжплощинних відстаней і відносної інтенсивності дифракційних піків від досліджених зразків та еталона. Методика вивчення структурних (якості текстури, значення періоду ґратки) та субструктурних (розмір областей когерентного розсіювання та рівня мікрореформацій) характеристик плівок докладно описана в [2]. Присутність у легованих плівках диспрозію була підтверджена за допомогою двох методів методів аналізу хімічного складу – EDAX і μ -PIXE. Для оцінки вмісту диспрозію було взято значення отримані з μ -PIXE, як більш точного методу.

В результаті досліджень встановлено, що в легованих плівках вміст Ду становив близько 0,15 атомних відсотків. Спостерігався яскраво виражений вплив легуючої домішки на кристалічну ґратку матеріалу. Загалом для CdS:Du значення періодів ґратки були дещо більшими, ніж у чистих полікристалічних плівок. Це пояснюється тим, що іонний радіус диспрозію дещо перевищує іонний радіус кадмію, який він частково заміщує в підґратці матеріалу. Значення сталих ґратки CdS:Du змінюються в діапазоні $a = (0.4083 - 0.4190)$ нм, $c = (0.6563 - 0.6725)$ нм. Розрахунки полюсної густини та орієнтаційного фактору дозволили прицезійно оцінити якість текстури плівок та визначити текстуру росту [002]. Слід відмітити, що леговані плівки мали дещо гіршу текстурованість. В той же час, для легованих конденсатів спостерігались значно більше області когерентного розсіювання ($L_{(002)} = 55,7-72$ нм проти $L_{(002)} = 41,9-56,8$ нм у чистих плівках), а також дуже низький рівень мікронапружень ($\varepsilon = (0,62-0,77) \cdot 10^{-3}$) не тільки в порівнянні з чистим CdS, але і взагалі з типовими значеннями для плівок A_2B_6 ($\varepsilon > (1,0-1,5) \cdot 10^{-3}$) [3]. Це експериментально підтверджує наявність в легованих плівках меншої кількості рекомбінаційних центрів на границях зерен та структурних дефектах, утворених мікрореформаціями, що робить CdS:Du дуже перспективним кандидатом на заміну традиційного віконного шару.

1. X. Zhong-Qiu, L. Rong-Ping, *Acta Phys. Sin.*, **61**, 1, 017108 (2012).
2. Y. V. Znamenshchikov, V. V. Kosyak, et al., *Funct. Mater.*, **23**, 1, 1 (2016).
3. D. I. Kurbatov, V. V. Kosyak, et al., *Mater. Chem. Phys.*, **138**, 2–3, 731 (2013).

Вплив тильних струмознімальних контактів на робочі характеристики сонячних елементів на основі плівок SnS

Возний А.А.¹, молодший науковий співробітник; Єршоменко Ю.С.¹, молодший науковий співробітник; Ярошенко Я.В.¹, студент; Опанасюк А.С.¹, професор, Aurimas Cerskus², доктор філософії
¹Сумський державний університет, Суми
²Вільнюський технічний університет імені Гедімінаса, Вільнюс

Бінарна система Sn_xS_y викликає значний науковий інтерес, оскільки її унікальні властивості дозволяють створювати гетероперехідні (ГП) плівкові сонячні елементи (СЕ) третього покоління. Однак, рекордна ефективність СЕ на основі поглинальних шарів SnS на наш час становить лише 4,4%, що пояснюється низькою структурною якістю синтезованого матеріалу, великою кількістю рекомбінаційних центрів та утворенням вторинних фаз (SnS_2 та Sn_2S_3). Ще одним важливим фактором, який впливає на ефективну роботу СЕ є вибір низькоомного і термічно стабільного омичного тильного контакту до поглинального шару.

Згідно до принципів узгодження зонних діаграм метал-напівпровідник, найбільш оптимальним контактом до SnS є титан (Ti), який сприяє зменшенню втрати контактної напруги фотоперетворювача, порівняно із приладами, що використовують неоптимальні контакти з молібдену (Mo). В роботі, нами було виготовлено прилади з конструкцією «Substrate» (Mo(Ti)/SnS/CdS/i-ZnO/ZnO:Al) та вивчено вплив тильних струмознімальних контактів з Ti та Mo на їх основні робочі характеристики. Показано, що формування тильного контакту з титану сприяє підвищенню значення густини струму короткого замикання ($J_{\text{кз}}$) у 1,21 рази до $J_{\text{кз}} = 3,4 \text{ мА/см}^2$. Як результат, виготовлено прилад з середнім значенням ефективності перетворення сонячної енергії в електричну, склало $\eta = 0,15\%$.

Додатково, для виявлення основних факторів які впливають на низьку ефективність виготовлених приладів, було проведено моделювання фізичних процесів у фотоперетворювачах з використанням програмного пакету SCAPS. Встановлено, що низька ефективність приладів пов'язана з малим часом життя неосновних носіїв заряду ($\tau = 1 \text{ пс}$) та високою швидкістю рекомбінації згенерованих світлом носіїв заряду S на гетеромежі CdS/SnS ($S = 10^4 \text{ см/с}$). Продемонстровано, що СЕ з оптимізованими параметрами теоретично можуть мати ККД до $\eta \sim 10\%$

Оптимальна фільтрація сигналу на фоні флюктуаційної завади

Коник В. М., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Виділення сигналу із завад є однією з найважливіших задач, які необхідно вирішити при розробці практично будь-якої телекомунікаційної системи. Критерій якості такого виділення сильно варіюється в залежності від призначення системи. Так, при передачі аудіо - чи відео важливо забезпечити мінімально можливе спотворення його форми, а в радіолокаційної апаратури - встановити факт наявності відбитого ехо-сигналу і визначити момент його приходу.

Крім критеріїв якості, різними є також наші знання про структуру корисних сигналів і шумів і, відповідно, використовувані для їх подання математичні моделі. Тому не існує єдино оптимального пристрою, у всіх випадках оброблюваного сигналу найкращим чином. Поняття оптимальності має сенс тільки в зв'язку з постановкою конкретного завдання, тобто для конкретної комбінації критерію якості, моделей сигналів і шумів.

Визначимо відношення «сигнал / шум» на вході і виході узгодженого фільтра. В якості моделі ми використовували білий шум, дисперсія якого нескінченно велика. Для того, щоб знайти вихідні відношення «сигнал / шум», необхідно попередньо визначити вид корисного вихідного сигналу. Вихідний сигнал узгодженого фільтра є зміщеного в часі кореляційною функцією детермінованого сигналу максимум якої досягається при $\tau = 0$ і дорівнює його енергії. Максимальне значення сигналу на виході узгодженого фільтра досягається при $t = t_0$. Тепер необхідно визначити властивості шуму на виході. Для випадку проходження білого шуму через лінійне коло з постійними параметрами, отримуємо, що спектральна щільність потужності, кореляційна функція і дисперсія вихідного шуму рівні.

Отримані результати показують, що спектральна щільність потужності і кореляційна функція вихідного шуму збігаються за формою з енергетичним спектром і кореляційною функцією корисного сигналу відповідно.

Отже, ми з'ясували, що відношення «сигнал/шум» на виході узгодженого фільтра не залежить від форми оброблюваного сигналу, а визначається лише його енергією і спектральною щільністю потужності вхідного білого шуму.

Керівник: Кобяков О.М., доцент

Швидкодійний формувач багатозначних біноміальних кодів

Протасова Т.О., *старший викладач*; Д'яченко О.В., *науковий співробітник*; Доля М.О., *студентка*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Застосування нестепеневих систем числення в теперішній час дає наступні переваги:

1 – вони здатні виявляти помилки, відповідно, пристрої на їх основі можуть бути застосовані при побудові високонадійних систем керування;

2 – нестепеневі системи числення можна застосовувати для розробки алгоритмів стиску повідомлень;

3 – на базі нестепеневих систем числення будуються високонадійні спеціалізовані пристрої генерування та перебирання комбінаторних з'єднань.

При вирішенні цих задач на першому кроці необхідно здійснити перехід від двійкової системи числення до системи числення з відмінним від степеневого функціонального зв'язку, наприклад, багатозначної біноміальної системи числення.

Зазвичай, такий перехід виконувався з застосуванням двох лічильників, які працювали одночасно. Двійкове число, яке необхідно було перетворити, записувалось до віднімаючого двійкового лічильника. Другий лічильник повинен працювати в новій системі числення. В початковому стані він знаходиться в нулі, і за кожним імпульсом, що потрапляє на його лічильний вхід, збільшує своє значення на одиницю. Одночасно двійковий лічильник за кожним імпульсом зменшує свій стан на одиницю. Кінцем процесу перетворення буде сигнал з виходу двійкового лічильника, коли він добіжить свого нульового значення. Одночасно, в біноміальному лічильнику встановиться значення, що є еквівалентом числа, що перетворюється. Основним недоліком такого процесу перетворення є низька швидкодія.

Пропонується до розгляду швидкодійний перетворювач, побудований з застосуванням методу порозрядного обчислення, в основі якого покладено порівняння числа, що перетворюється з вагою відповідних розрядів багатозначного біноміального числа.

Метод гамування для захисту текстових повідомлень

Протасова Т.О., *старший викладач*, Д'яченко О.В., *науковий співробітник*, Мірошніченко В.С., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Цінність інформації для людини в теперішній час важко переоцінити. Оскільки інформація набула комерційного значення її купують, перепродують, виробляють, зберігають, транспортують, а тепер ще й викрадають та підроблюють! Таким чином, необхідно надійно захищати все більш зростаючі об'єми інформації, в першу чергу від конкурентів. Викрадання найцінніших відомостей може призвести навіть до збанкрутіння та загрози безпеки держави. Тому потреба в захисті інформації постійно зростає [1].

Застосовуються різні методи захисту інформації, але застосування комп'ютерних технологій та значне збільшення обсягів інформаційних потоків викликає значне зростання інтересу до криптографії.

Одним з найбільш стійких до завад методів шифрування є метод гамування. Цей метод належить до симетричних методів шифрування.

Метод гамування забезпечує надвисоку швидкість шифрування, стійкість до розмножування помилок та не змінює розмірів повідомлень. Найголовнішою перевагою методу є абсолютна стійкість шифрування.

При шифруванні методом гамування найбільш надійною, в той же час найбільш простою, є структура однократного використання.

Спочатку формується ключ шифру – випадково згенерована двійкова послідовність, яку знають лише відправник та одержувач повідомлень. Цю послідовність називають гаммапослідовністю, накладають її на відкритий текст, застосувавши додавання за вибраним модулем та передають приймачеві [2]. При розшифруванні проводиться повторна генерація ключа та накладання його на закодоване повідомлення.

1. Яценко В.В. Введение в криптографию. 2001. — 185 с.
2. Бабак В.П. Теоретичні основи захисту інформації / В. П. Бабак: Підручник. – Книжкове видавництво НАУ, 2008. – 752 с.

Оптимізація конструкції оптично-прозорих сонячних елементів на основі гетеропереходу $n\text{-Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O} / p\text{-Cu}_2\text{O}$

Погуляй О.Р., студент; Д'яченко О.В., науковий співробітник;
Івашенко М.М., старший викладач; Опанасюк А.С., професор
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Геліоенергетика є одним з найбільш ефективних та екологічно безпечних методів одержання електричної енергії. Як правило, для того щоб збирати та перетворювати сонячне випромінювання в електрику, потрібний значний простір (дахи будинків чи прибудинкова територія) для встановлення сонячних елементів (СЕ). Ці вимоги є суттєвою перешкодою для практичного використання таких приладів. Вказаний недолік привів дослідників до необхідності створення прозорих фотоелектричних перетворювачів, які можуть накладатися на віконне скло без відчутного зниження коефіцієнта пропускання світла, перетворюючи його в СЕ.

Перспективним поглинальним матеріалом для створення СЕ третього покоління є оксид міді Cu_2O , оскільки він є прозорим у видимій області, а використання плівок твердого розчину $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ як віконного шару дає змогу оптимізувати електричні параметри цього приладу.

Для визначення конструктивних та технологічних особливостей СЕ на основі ГП $n\text{-Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O} / p\text{-Cu}_2\text{O}$ з використанням програми SCAPS, було проведено моделювання фізичних процесів у цих приладах.

В результаті моделювання визначені оптимальні товщини поглинального, струмознімального, віконного шарів та концентрація магнію у твердому розчині, які можуть забезпечити максимальну ефективність прозорих СЕ. Ці значення дорівнюють: $d_{\text{Cu}_2\text{O}} = 5$ мкм, $d_{\text{ZnMgO}} = 25$ нм, $d_{\text{ZnO:Al}} = 25$ нм, $x(\text{Mg}) = (0,25-0,30)$. Розраховано основні робочі характеристики приладів з конструкцією $\text{ZnO:Al} / \text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O} / \text{Cu}_2\text{O}$, а саме: $U_{\text{xx}} = 1,48$ В, $J_{\text{кз}} = 16,11$ мА/см², $FF = 81,69$ %, $\eta = 9,63$ %.

Встановлено, що СЕ із поглинальним шаром Cu_2O , не зважаючи на те що мають відносно низкі значення ККД, через високу прозорість у видимій області спектру (87,38%) можуть бути використані як накладки на автомобільне, віконне скло, та екрани смартфонів, планшетів, ноутбуків чи інших гаджетів.

Порівняння робочих характеристик фоточутливих приладових структур з віконними шарами CdS та ZnCdS

Єрмоєнко Ю.С., *молодший науковий співробітник*; Недосєков К.М., *студент*; Возний А.А., *молодший науковий співробітник*; Опанасюк А.С., *професор*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На сьогодні в матеріалознавстві для сонячної енергетики дослідники активно займаються пошуком альтернативних матеріалів та підходів до створення сонячних елементів (СЕ) третього покоління. Головні вимоги, що ставляться до матеріалів – нетоксичність, дешевизна та покращені робочі характеристики приладів на їх основі. Тому, в цьому дослідженні було створено та вивчено основні характеристики фоточутливих елементів типу superstrate, що містять гетеропереходи n -CdS (n -ZnCdS)/ p -SnS. SnS – дешевий екологічний матеріал, що має оптимальні параметри для поглинання світла та непогані перспективи використання в якості базового шару СЕ [1]. В той же час, в традиційний віконний матеріал CdS вводиться Zn, щоб одночасно зменшити вміст в приладах токсичного Cd, та підвищити коефіцієнт корисної дії (ККД) приладу за рахунок покращених оптичних (пропускання, ширина забороненої зони) та структурних (можливість кращого узгодження параметрів кристалічних ґраток віконного та поглинаючого шарів з мінімізацією кількості рекомбінаційних центрів на границі розділу матеріалів) характеристик вікна [2].

Для досліджень було створено два СЕ на основі гетеропереходів з конструкцією ITO/ n -CdS/ p -SnS/Sn та три з конструкцією ITO/ n -ZnCdS/ p -SnS/Sn. В якості фронтального металевого контакту був вибраний Sn, оскільки він є омичним контактом для SnS. Плівки CdS, ZnCdS і SnS отримувались методом випаровування шихти в квазізамкненому об'ємі з використанням установки ВУП-5М. У випадку ZnCdS випаровувалась шихта з масовою часткою цинку близько 20%. Нанесення напівпровідникових функціональних шарів проводилось на очищені скляні підкладки зі струмопровідним підшаром ITO. CdS і ZnCdS випаровувались при температурі випарника $T_e = 973$ К та осаджувались на підкладку з $T_s = 723$ К. Температура випарника при отриманні SnS становила $T_e = 990$ К, в той час як температура підкладок з нанесеними раніше віконними шарами складала $T_s = 523$ К. Час випаровування становив 3 хв. для віконних і 2 хв. для поглинального шару. Для того щоб визначити основні робочі характеристики приладу (густина струму короткого замикання J_{sc} , напруга

холостого ходу V_{oc} , фактор заповнення вольт-амперної характеристики (FF) і ККД приладів (η) було знято та проаналізовано їх темнові та світлові вольт-амперні характеристики (ВАХ). У випадку дослідження світлових ВАХ освітлення фоточутливого приладу проводилось з використанням спеціального симулятора сонячного випромінювання, який дозволяє отримати світловий потік, що за спектральними характеристиками та інтенсивністю подібний до сонячного в наземних умовах (AM1,5).

На рис. 1 наведено світлові ВАХ СЕ на основі гетеропереходів n -CdS/ p -SnS (a) та n -ZnCdS/ p -SnS (b).

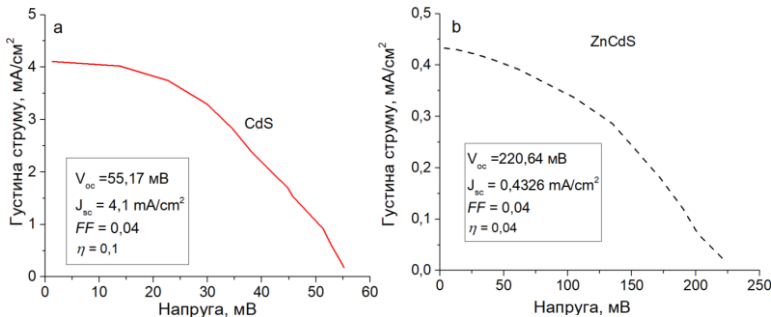


Рисунок 1 – Світлові гетеропереходів n -CdS/ p -SnS (a) та n -ZnCdS/ p -SnS (b).

Темнові ВАХ приладів носили типовий діодний характер. В результаті аналізу світлових ВАХ та проведених розрахунків встановлено, що при освітленні в усіх гетероструктурах спостерігався фотоефект. СЕ з віконним шаром ZnCdS показали значно вищі значення напруги холостого ходу ($V_{oc}=(220,64-308,9)$ мВ) в порівнянні з CdS ($V_{oc}=(55,17-57,54)$ мВ). Однак, вони суттєво поступаються за значеннями струмів короткого замикання ($J_{sc}=(0,10-0,43)$ мА/см² проти $J_{sc}=(3,83-4,09)$ мА/см² для CdS) та загальним ККД ($\eta=0,03-0,05\%$ проти $\eta \approx 0,1\%$ для CdS). Фактор заповнення для всіх досліджуваних структур становив близько $FF = 0,4$. Більш низькі значення ефективності для приладів з віконним шаром ZnCdS свідчать, що дана структура потребує оптимізації (насамперед – підбору оптимальної товщини та елементного складу).

1. J. A. Andrade-Arvizu, M. Courel-Piedrahita, et al., *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, **26**, 7, 4541 (2015).
2. Yu. Yeromenko, A. Opanasyuk, et al., *Funct. Mater.*, **26**, 1, 16 (2019).

Розробка принтерів для 2D і 3D друку плівок чорнилами на основі наночастинок напівпровідників та металів

Гузенко О.І., *аспірант*; Знаменщиков Я.В., *асистент*;
Шаповалов О.І., *студент*; Курбатов Д.І., *науковий співробітник*;
Опанасюк А.С., *професор*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Двовимірний та тривимірний друк наночорнилами є перспективною заміною сучасним технологіям, наприклад літографії, для простого та економного процесу створення елементів електроніки, сенсорики, геліоенергетики, оскільки він не вимагає складних етапів виробництва (наприклад створення фотомасок, нанесення фоторезисту, використання ультрафіолетового відпалу, процесів травлення, тощо). Для друку створеними дешевими наночорнилами на основі металевих та напівпровідникових частинок із заданими концентраціями матеріалів, звичайний 2D принтер модифікований нами шляхом заміни стандартного картриджу на такий, що є придатним для друку наноматеріалами. Відповідно 3D принтер був модифікований заміною екструдера для друку твердими матеріалами на розроблений нами екструдер для друку рідкими чорнилами з контрольованою в'язкістю. Цей екструдер дає змогу друкувати елементи електроніки на твердих та гнучких підкладках та поверхнях складної форми.

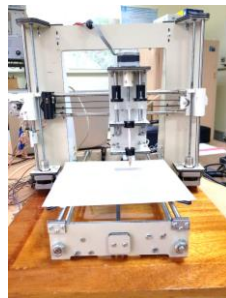
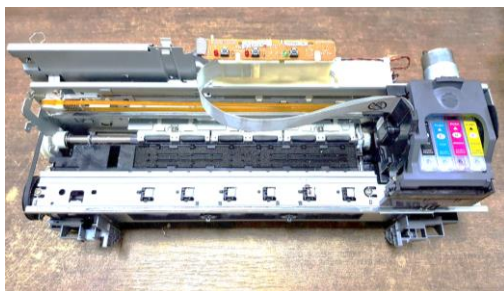


Рисунок 1 - Модифікований струменевий принтер для друку наночорнилами на гнучких та твердих підкладках, та 3D принтер зі встановленим екструдером для друку рідкими чорнилами

Use of femtosecond lasers to encode information

Sivni V.B., *Student*; Hnatenko O.S., *Teacher*

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

Today, the development of new information security devices is very relevant. High-speed transmission of information over long distances has given rise to the direction of quantum cryptography. Up to this point, there are a large number of methods and techniques of quantum cryptography: polarization encryption, phase encryption, based on entangled states, etc. This paper proposes a method of coding information by changing two interfering femtosecond pulses. There is no secret that using femtosecond lasers it is possible to get supercontinuum, which implies a set of discrete closely spaced spikes of radiation decomposed in the frequency domain. The encryption method consists of cutting out one or several discrete frequencies from the spectrum of the supercontinuum. This makes it possible to form the code first in binary, figure 1.

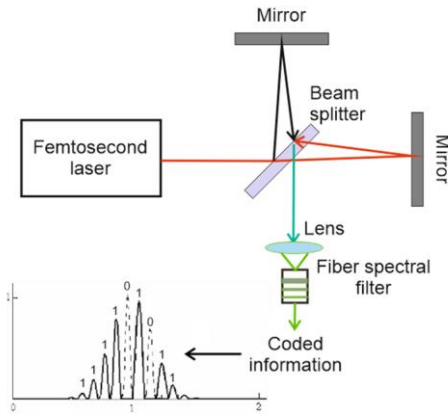


Figure 1 – Quantum information encoding device

For this, a Michelson interferometer is used. By changing the length of one of its shoulders, it changes the interference pattern, which makes it possible to control the spectral characteristic of the laser within small limits. After that, a set of narrow-band frequency filters "Bragg gratings" are used, which are applied directly in the core of the optical fiber. The result of the work is theoretical modeling of the information coding device using quantum effects. The creation of such

a device will open up new opportunities for high-speed transmission of classified information over fiber-optic communication lines, as well as the development of THz laser technology.

Плівки CZTS, отримані методом струменевого друку чорнилами на основі поліольно-синтезованих нанокристалів

Васильєв В.Р., студент; Доброжан О.А., асистент; Опанасюк Н.М., доцент; Опанасюк А.С., професор
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Напівпровідникова сполука $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS), що має p -тип провідності, високий коефіцієнт поглинання видимого світла (10^4 - 10^5 см^{-1}), оптичну ширину забороненої зони, що відповідає максимуму Шоклі-Квайзера ($E_g \sim 1,5 \text{ eV}$) є екологічно чистою, дешевою альтернативою традиційним поглинальним матеріалам (Si, CIGS, CdTe) тонкоплівкових сонячних елементів (СЕ). Одним з перспективних шляхів зниження собівартості виробництва таких приладів є застосування гнучких підкладок для нанесення тонких плівок CZTS та використання для їх одержання 3D чи 2D друку.

В роботі досліджено вплив післяростового відпалу на розмір і форму зерен, товщину, кристалічну структуру, фазовий і хімічний склад тонких плівок CZTS, нанесених на поліамідні підкладки.

Наночастинки (НЧ) синтезували за методикою описаною в [1]. Після цього їх виділяли з суспензії центрифугуванням при 4000 об/хв протягом 10 хв та двічі промивали етанолом для видалення побічних продуктів реакції. Чорнило формували диспергуванням 1 г вакуумно висушених нанокристалів в суміші 8 г дистильованої води і 1 г EG. Утворені чорнила були використані для друку плівок на гнучких підкладках Картон. Під час процесу нанесення застосувалось 5 циклів друку з короткою стадією попереднього відпалу на гарячій пластині принтеру 30 сек при температурі 150°C . Після осадження плівки відпалювали при трьох температурах ($T_a = 150, 175, 200^\circ\text{C}$) протягом трьох різних часів ($t_a = 30, 60, 90 \text{ хв}$).

Встановлено, що синтезовані НЧ $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ мали розмір (7 ± 4) нм. Методами SAED і XRD підтверджено, що вони мали кристалічну структуру кестериту з незначною кількістю вторинної фази Cu_2S . Відпалювання плівок при температурі попереднього відпалу 150°C і наступних післяростових відпалах при $(150-200)^\circ\text{C}$ протягом $(30-120)$ хв дозволили незначно зменшити вміст фази Cu_2S , а також збільшити розмір їх зерен від 5,1 нм до 7,6 нм, що свідчить про поліпшення якості кристалічної структури шарів.

Перспективи розвитку АВ-стиснення двійкових даних

Савченко Ю.В., студентка; Кулик І.А., доцент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Метод АВ-стиснення двійкових послідовностей характеризується високою швидкістю та простотою практичної реалізації при забезпеченні досить хороших коефіцієнтів стиснення. Алгоритми АВ-стиснення відрізняються тим, що включають в себе такі прості операції та обчислювальні процедури, як підрахунок кількості одиниць (нулів), конкатенацію службового слова та формування адрес одиниць або нулів. Подальший розвиток цього методу стиснення в рамках запропонованих напрямів дозволить підвищити ефективність АВ-стиснення двійкової інформації та розширити області його ефективного застосування в системах обробки, передачі та зберігання даних.

Сутність АВ-стиснення полягає в переключенні від адресного методу кодування до векторного та зворотно в залежності від кількості двійкових одиниць в послідовностях, які стискаються. Водночас при змінному характері числа двійкових одиниць (нулів) для однозначного відновлення стиснутих комбінацій необхідно використовувати службові слова – кількість одиниць.

До ряду перспективних напрямів розвитку методу АВ-стиснення відносяться наступні:

1. При досить великій довжині двійкових послідовностей пропонується кодувати службові слова – кількість двійкових одиниць – також одним з методів стиснення, наприклад методами Хафмена або Шеннона-Фано, що додатково підвищить ступінь АВ-стиснення.

2. Розробити критерії розбиття двійкових послідовностей на рівні або нерівні відрізки, до кожного з яких потім застосовувати АВ-стиснення, з метою досягнення в цілому більшого результуючого коефіцієнту стиснення цієї довгої послідовності.

3. Розробити механізми адаптації методу АВ-стиснення до зміни ймовірнісних характеристик різних джерел інформації, що дозволить ефективно використовувати АВ-стиснення до мультимедійних даних або загального інформаційного потоку в локальних та глобальних мережах, розподілених базах даних.

Оптимізація конструкції сонячних елементів на основі гетеропереходу $n\text{-Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O} / p\text{-CuO}$

Євдокименко В.Ю., студент; Д'яченко О.В., науковий співробітник;
Іващенко М.М., ст. вкладач; Опанасюк А.С., професор
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Перспективними для створення сонячних елементів (СЕ) третього покоління є плівки CuO , як поглинальний шар, та $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$, як віконний шар. Важливим етапом у створенні таких СЕ є моделювання фізичних процесів у приладах з метою оптимізації їх конструкції.

З використанням програмного пакету SCAPS, було проведено моделювання темнових і світлових ВАХ та квантового виходу СЕ, визначено максимальну ефективність таких приладів.

Моделювання проводилося за наступними параметрами: товщина поглинального шару CuO , віконного шару $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$, фронтального струмозмінального шару ZnO:Al , концентрація домішки магнію у твердому розчині x , також визначено вплив робочої температури на ефективність такого приладу. Оптимізація конструкції СЕ проводилась поетапно, чотири з п'яти параметрів моделювання мали фіксоване значення, в той час, як один з них змінювався. При цьому, значення параметрів моделювання, які показували найвищу ефективність, фіксувалися надалі. Розрахунки проводилися в умовах освітлення AM 1.5G. Основні робочі характеристики СЕ з оптимальними товщинами шарів при різних концентраціях магнію твердому розчині, одержані в результаті моделювання, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні робочі характеристики СЕ.

x , %	$U_{\text{ох}}$, В	$J_{\text{кз}}$, mA/cm^2	FF , %	η , %
0,10	0,90	34,95	76,04	23,81
0,20	0,90	34,95	76,04	23,81
0,30	0,90	34,95	76,46	23,89
0,40	0,90	34,95	76,14	23,81

Таким чином, в результаті моделювання було визначено оптимальні конструктивні та технологічні параметри, які можуть забезпечити максимальну ефективність СЕ на основі гетеропереходу $n\text{-Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O} / p\text{-CuO}$: $d_{\text{CuO}} = 7\text{-}8$ мкм, $d_{\text{ZnMgO}} = 25$ нм, $d_{\text{ZnO:Al}} = 25$ нм, $x(\text{Mg}) = 0,30$.

Error detection in the codes on permutations

Horiachev O.Y., *Senior Lecturer*; Laznenko Y.A., *Student*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

With the growth of information transmitted in telecommunication networks, an important task is to ensure its high noise immunity. One approach to solving this problem is the use of error-correcting codes that can detect errors. These codes include codes on permutations [1].

The use of permutations to increase the reliability of data transmission requires the development of effective methods for detecting errors in permutations. Such methods include the method of compared elements. It detects errors in the process of continuous monitoring and subsequent correction of them by asking again only those elements in which errors have been detected. The peculiarity of this method is that a sign of an error in it is the presence of two or more identical elements in the permutation. It is these elements that need to be called up during the retransmission, and not all elements of the permutation, as it happens in the checksum method. As a result, the process of information transfer is accelerated if there are a large number of errors and frequent questioning is observed. It is especially important that the replacement of erroneous elements of the permutation occurs in the process of its transfer. To do this, each transmitted element of the permutation is compared with all the previously transmitted elements, and if an error signal appears when comparing the received element with any previous element, then only these two elements are needed to be retransmitted. After they appear at the receiving end, the process of transferring the permutation continues further until it ends.

The speed of the method is determined by the number of operations of comparing the permutation elements, which is required for detecting an error.

The main disadvantage of permutation codes, the difficulty of obtaining permutations of a great length, is eliminated with the help of factorial number systems, which allow relatively simple conversion of the original messages into permutations and back - the permutations into the original messages [2].

3. O. Borysenko, O. Horiachev, et al., *DESSERT'2018*, 645.
4. A. Borisenko, V. Kalashnikov, et al., *ISDA 2008*, 57.

Оптимальна фільтрація сигналів: вплив адитивного шуму

Лізунов А.О., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Однією з головних проблем функціонування телекомунікаційних систем є проблема завадостійкості зв'язку. Існує багато методів боротьби із завадами: одним із таких методів є відновлення форми сигналу, що передається.

Особливим випадком цього методу є оцінка форми сигналу із урахуванням адитивного шуму і дисперсійності каналу за допомогою схеми лінійного фільтра з еквівалентним генератором шуму на вході приймача. Даний фільтр має постійні параметри і дисперсійну (частотну) характеристику.

Для ідеального фільтра, що не враховує задержку сигналу, оцінюваний параметр сигналу – T_0 : $\omega(t) = x(t - T)$. Його стаціонарне відображення:

$$T_1: z(t) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t - \sigma)x(\sigma)d\sigma + u(t) \quad (1)$$

Структурна схема оптимального фільтра (ОФ) за формулою (1) зображена на рис.1.

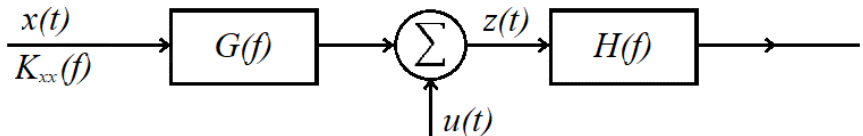


Рисунок 1 – Структурна схема оптимального фільтра.

Приймаючи шум і сигнал статистично незалежними, отримуємо наступні співвідношення:

$$k_{zz}(\tau) = \iint_{-\infty}^{\infty} g(t + \tau - \sigma)g(t - \eta)k_{xx}(\sigma - \eta)d\sigma d\eta + k_{uu}(\tau), \quad (2)$$

$$\text{де } k_{xz}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} k_{xx}(t + \sigma)g(\sigma)d\sigma$$

Використаємо перетворення Фур'є, щоб знайти $K_{xz}(f)$:

$$K_{zz}(f) = |G(f)|^2 K_{xx}(f) + K_{uu}(f).$$

Спочатку знаходимо $K_{zz}(f)$, яка складається із суми спектральних щільностей сигналу та шуму. $K_{zz}(f)$ – у нашому випадку – спектральна щільність суміші «сигнал + шум», яка є результатом проходження складових цієї суміші через суматор.

$$K_{xz}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} K_{xx}(f)g(\sigma)e^{j2\pi f\sigma} d\sigma = K_{xx}(f)G^*(f) \quad (3)$$

Передавальну функцію ОФ знаходимо у наступному вигляді[1]:

$$H(f) = \frac{K_{xx}(f)G^*(f)e^{j2\pi Tf}}{|G(f)|^2K_{xx}(f)+K_{uu}(f)} \quad (4)$$

Такий фільтр називається фільтром Вінера [1].

Пояснимо фізичний зміст отриманого результату, розглянувши вираз для функціоналу I в частотній області (візьмемо $T_0 = 0$):

$$I = \int_{-\infty}^{\infty} K_{xx}(f)|1 - G(f)H(f)|^2 df + \int_{-\infty}^{\infty} K_{uu}(f)|H(f)|^2 df \quad (5)$$

Перший та другий члени у формулі (5) – похибки, зумовлені неповною компенсацією середньої потужності сигналу та шуму відповідно. Формула (5) являє собою середній квадрат похибки, який показує, наскільки вхідний сигнал зміщується у частотній області під впливом адитивного шуму.

Даний ОФ призначений для компенсації дисперсійності на частотах, де спектральна щільність сигналу, що приймається $K_{xx}(f)|G(f)|^2$, набагато перевищує спектральну щільність адитивного шуму $K_{uu}(f)$. Якщо в певних частотних областях значення спектральної щільності шуму велике, даний фільтр вносить затухання цього шуму.

Таким чином, на прикладі лінійного фільтра з адитивним шумом та дисперсійністю ми переконались, як виконуються завдання оптимальної фільтрації сигналів. Розглянутий фільтр подавляє шум та компенсує дисперсійність каналу.

Керівник: Кобяков О.М., доцент

Узгодження антени з фідером при передачі інформації

Новгородцев А.І., *доцент*; Саганяк О.О., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Максимальна потужність передачі інформації від джерела до навантаження забезпечуються рівністю їх опорів, тобто узгодження лінії зв'язку між передатчиком і приймачем. При відсутності узгодження не вся випромінююча потужність надходить у навантаження.

У дослідженні розглядаються випадок, коли при використанні звичайної штиревої антени, яка є випромінювачем радіосигналу, важливо, щоб уся потужність йшла в антену, а не назад у хвилевод (кабель).

Метою дослідження є виявлення одного із засобів узгодження пристроїв передачі та прийому інформації, який забезпечує оптимальний зв'язок у заданому діапазоні частот за наявності двох умов:

- відсутності реактивної складової в опорі антени на частоті передачі;
- рівності хвильового опору антени і приймально-передавальної апаратури.

Ступінь узгодження антени оцінювався за коефіцієнтом стоячої хвилі (КСХ), який змінюється від 1 (ідеальне узгодження) до величини хвильового опору антени фідера. На практиці хорошим узгодженням вважається коли $КСХ \leq 1,5$.

За дослідженням було отримано оптимальну залежність коефіцієнта стоячої хвилі від частоти, яка дозволяє визначити величину і тип реактивного елемента для компенсації реактивного опору антени, а також згідно коефіцієнта стоячої хвилі отримати інформацію про потужність передавача та потужність утрат.

Установлено залежність втрат потужності передавача від величини КСХ. Потужність відбитого сигналу від навантаження (антени) повинна бути мінімальна, тобто КСХ повинен прагнути до 1. Утрати потужності при зростанні КСХ зростають.

Зниження дисперсії в оптоволоконній лінії зв'язку

Новгородцев А.І., *доцент*; Токаренко Д.В., *студент*;
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Показник заломлення волокна залежить від довжини хвилі сигналу, що призводить до залежності швидкості поширення сигналу від довжини хвилі (матеріальна дисперсія). Сумісна дія матеріальної і хвилеводної дисперсій складає хроматичну дисперсію. Хроматична дисперсія приводить до розширення оптичних імпульсів при передачі їх по волокну.

При великій протяжності лінії зв'язку це проявляється в тому, що імпульси сусідніх волокон починають перекриватися, погіршуючи якість сигналу. Чим більша відстань і швидкість передачі даних в DWDM системах, тим більший вплив надає хроматична дисперсія на якість сигналу.

При проходженні сигналу через оптичне волокно різні довжини хвиль зміщуються відносно один одного і імпульси сигналу стають менш вираженими.

Для поліпшення якості сигналу, потрібно використовувати середу передачі даних, в якій швидкість поширення світла в залежності від його частоти зміниться в зворотну сторону. Покращену форму імпульсів сигналу можна отримати використовуючи компенсатори дисперсії. Компенсатори дисперсії дозволяють відновити фронт імпульсів сигналу, перекручених через ефект дисперсії при проходженні по оптичній лінії зв'язку.

Компенсатор дисперсії являє собою пристрій з котушкою особливого оптичного волокна DCF (dispersion compensation fibre), яке має негативне значення хроматичної дисперсії, при проходженні по якому оптичного сигналу відновлюється фронт імпульсів цього сигналу. Компенсатор дисперсії може бути встановлений в будь-якому місці оптичних ліній. До 80 км компенсатор установлювати не потрібно, а при протяжності лінії до 120 км компенсатор установлюють через інтервал $\sim 20-40$ км (із застосуванням DWDM транспондерів 10Гбіт / с).

Автоматизація вуличного освітлення

Лобуренко Б.М., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Зростання швидкості урбанізації міст викликає в свою чергу проблему освітлення вулиць, внаслідок чого виникають складнощі з кількістю використаної електроенергії. З року в рік використання енергії мегаполісами та звичайними містами становиться все більшим. На сьогодні проблема економії електроенергії є однією з найактуальніших у світі.

Найбільш витратними в плані використання електроенергії в сучасних мегаполісах та містах є системи освітлення вулиць, доріг, житлових та нежитлових приміщень.

Розроблений в даній роботі проект націлений на вирішення проблеми електроспоживання системами освітлення вулиць та доріг шляхом оптимізації та раціоналізації використання електричної енергії вуличними ліхтарями.

Рішенням проблеми надвеликих енерговитрат є оптимізація використання електроенергії шляхом впровадження автоматизованої системи чергування режимів ранок-вечір-ніч в авторежимі в людних місцях, а в малолюдних, - робота ліхтаря в режимі 25% від максимальної потужності світлового потоку режиму ранок-вечір-ніч в разі відсутності рухомих об'єктів поблизу, а за появою об'єкту – збільшення потужності до 100% від потужності режиму та подальшим зменшенням після виходу з зони роботи.

Впровадження даної системи за попередніми підрахунками буде здатне зменшити енергоспоживання більше ніж на 30% порівняно з режимною роботою ліхтарів день-ніч, а також значного зменшення сумарних витрат на обслуговування та підтримку роботи освітлювальних систем.

Керівник: Протасова Т.О., *старший викладач*

Система клімат контролю для кімнатних квітів

Лаврик А.В., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На сьогодні квіти – це те, що можна зустріти у кожному будинку. Завдяки ним можна доповнити будь-яке інтер’єрне рішення в закладах різного типу. Але ж для того, щоб квіти дарували емоції оточуючим, їх необхідно спочатку виростити. Одні виросшують власноруч, інші звертаються до компаній, які займаються цим професійно. Але, не зважаючи ні на що, кожен бажає досягти найкращого зовнішнього вигляду своїх квітів. Проте, на шляху до цього необхідно створити ідеальні умови для рослини: тривалість світлового дня, температурний режим та вологість повітря, в деяких випадках неприпустимим є потрапляння прямих сонячних променів на квітку. Звичайно в промислових масштабах можливо побудувати заклені промислові приміщення для цілодобового перебування рослини в світловому режимі доби. Беззаперечним недоліком даного способу вирощування будуть великі витрати на підтримання необхідної температури, за рахунок теплових втрат скла, неможливістю підтримання зазначеного рівня вологості повітря. Також необхідно підтримувати тривалість світлового дня: взимку необхідно подовжувати період освітлення, влітку – зменшити потрапляння прямих сонячних променів на рослину. Іншим варіантом вирішення проблеми буде використання звичайних приміщень з переведенням рослин на примусове освітлення. В даному випадку зменшуються витрати на підтримання заданої температури та вологості повітря. За рахунок двозонних тарифів можливо зменшити витрати на електроенергію шляхом вибору світлового режиму дня і ночі. Дане рішення можливо використовувати і в домашніх цілях.

В ході проекту створено систему керування режимом світлового дня, підключено систему вентиляції та опалення, повністю виключене потрапляння прямих сонячних променів на квіти. Для того, щоб цілком замінити сонячне світло використовуються лампи з різною світловою температурою або лампи типу «Флора».

Керівник: Протасова Т.О., старший викладач

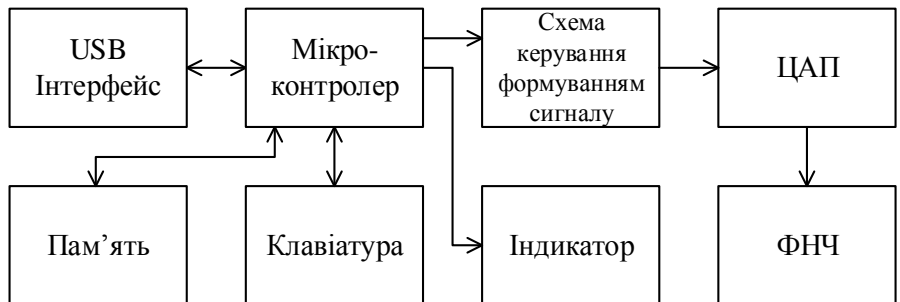
Цифровий синтезатор сигналів довільної форми

Гриненко В.В., *доцент*; Недосков К.М., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На сьогодні в багатьох завданнях пов'язаних з технічною діагностикою складного телекомунікаційного та телевізійного обладнання, при проведенні різних експериментів та інших задач для формування складних за формою сигналів використовують генератори сигналів довільної форми.

Найбільш поширеними способами побудови таких генераторів є прямий аналоговий синтез, непрямий синтез на основі фазового підстроювання частоти, прямий цифровий синтез та гібридний синтез, що представляє собою комбінацію декількох методів. Цифрові синтезатори побудовані за принципом прямого цифрового синтезу мають високу швидкодію, дозволяють забезпечити високу роздільну здатність та швидкий перехід на іншу частоту без викидів пов'язаних з перехідними процесами.

При проведенні досліджень були розглянуті різні підходи до побудови синтезаторів частоти на основі прямого цифрового синтезу. Була запропонована структурна схема синтезатора частоти, що дозволяє оператору змінювати параметри формованого сигналу як безпосередньо через програмний інтерфейс так і обирати сигнал з тих, що зберігаються в пам'яті пристрою.



Були розглянуті питання впливу розрядності пам'яті на шумові характеристики синтезатору та залежність обраного типу фільтра низьких частот на усунення побічних компонентів на виході синтезатора сигналів довільної форми.

Генератор сигналів КХ діапазону на основі методу непрямого когерентного синтезу

Гриненко В.В., *доцент*; Євдокименко В.Ю., *студент*;
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Генератори сигналів є одними з основних елементів сучасних радіоелектронних систем і пристроїв, пов'язаних з передачею, отриманням і обробкою радіосигналів в промисловості, медицині, телекомунікаційних мережах та ін.

Сучасні підходи до побудови генераторів сигналів КХ діапазону базуються на методах прямого когерентного узгодження антени з фідером при передачі інформації прямого і непрямого когерентного синтезу. При виборі методу орієнтуються на область застосування пропонованої схеми.

Метод прямого синтезу, заснований на лінійному перетворенні ряду опорних частот і виділення необхідної частоти за допомогою фільтрів, має переваги для отримання на виході синтезатора когерентних сигналів з різними частотами. Він забезпечує малий крок сітки частот вихідного сигналу та час перемикання з однієї частоти на іншу, який може бути доведений до одиниць наносекунд.

Метод непрямого синтезу, заснований на порівнянні вихідної частоти керованого генератора з деякою стабільною частотою, і в наступному налаштуванні вихідної частоти за сигналом помилки за допомогою контуру управління, що забезпечує досить «чистий» спектр вихідного сигналу за умови ефективного використання фільтру нижніх частот, високочастотний стабільний сигнал, малий час перебудови частоти, низький рівень фазового шуму та відносно низьку потужність енергоспоживання.

Одним з головних завдань при використанні методу непрямого синтезу частот є виділення коливання потрібної гармоніки. Для цього використовують фільтри налаштування або петлі фазового автопідлаштування частоти.

За результатом проведеного аналізу була запропонована структура генератора сигналів КХ діапазону на основі методу непрямого когерентного синтезу з фазовим автопідлаштуванням частоти, що забезпечить «чистий» спектр вихідного сигналу, малий час перебудови частоти, низький рівень фазового шуму та енергоспоживання для отримання заданої частоти.

СЕКЦІЯ 6
«Електротехніка»

Вимірювання показників якості електроенергії

Ніконов М.С., *студент*; Крамський І.О., *студент*;

Петровський М.В., *доцент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В реальних умовах експлуатації електричних мереж виникають режими, що характеризуються відхиленням своїх параметрів від номінальних значень. Особливо важливими з точки зору експлуатації електричного обладнання є відхилення амплітуди напруги та частоти струму. Допустимі та граничні значення відхилення цих параметрів нормуються у відповідності з ДСТУ EN 50160:2014. У зв'язку з цим розробка автоматизованих вимірювальних систем показників якості електричної енергії з використанням цифрових приладів збору та обробки даних в реальному часі є актуальною задачею.

У даній роботі за допомогою електронного приладу збору даних фірми National Instrument USB-6009 та програмного пакету MatLAB розроблено вимірювальну систему для визначення основних показників якості електроенергії: відхилення амплітуди напруги та частоти у відповідності до ДСТУ.

Для визначення відповідності відхилення досліджуваних параметрів нормам ДСТУ, проводиться вимірювання діючого значення фазної напруги за допомогою плати збору даних, яка перетворює вхідний сигнал в цифровий вигляд, котрий обробляється за допомогою програмного пакету MatLAB.

У подальшому, отриманий масив даних розбивається на односекундні інтервали, в межах яких сигнал розкладається методом дискретного перетворення Фур'є (ДПФ). Для збільшення точності у визначенні частоти сигналу та амплітуди напруги методом ДПФ використовується додатковий метод Квіна (Quinn's Estimator). У процесі перетворень отримуємо амплітудо - частотний спектр, з якого визначаємо амплітуду та частоту основної гармоніки $U_{1(1)}$.

Після усереднення $U_{1(1)}$ на кожному односекундному проміжку, обчислюємо усталене відхилення амплітуди напруги U_y у відсотках. Аналогічний підхід використовується для визначення усталеного відхилення частоти.

Перспективи розвитку ринку SMART GRID в Україні

В'юненко О.Б., *доцент*; Толбатов А.В., *доцент*
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Постійне зростання ВВП України передбачає збільшення попиту на енергію. Хоча викопне паливо продовжуватиме відігравати значну частину енергетичного балансу країни, майбутнє зростання буде здійснюватися з акцентом на зобов'язаннях України щодо зміни клімату. Перспективи відновлюваної енергетики, зокрема сонячної, відіграватимуть значну роль в майбутньому енергопостачанні. Основна увага України в інтелектуальному просторі енергосистем полягає в тому, щоб обмежити тривалу втрату доходу в енергетичному секторі, зменшити державну підтримку безгосподарного управління, вивільнити банківські кредити і створити стійкий енергетичний сектор. Дотримуючись маркерів політики і щоб зрозуміти сфери, які безпосередньо становлять інтерес для України та пов'язаний з ними ринковий потенціал, в межах простору smartgrid, повинна приділятися особлива увага інтелектуальним вимірювачам, екосистемі електромобільності та здатності до перепідготовки, підвищення кваліфікації та вмінню працювати з проривними енергетичними технологіями. З метою розвитку ринкових взаємовідносин, спеціально для малих і середніх підприємств, існує можливість використання існуючого південнокорейського досвіду, який був створений компаніями, які прийшли на український ринок раніше, так і іншими зацікавленими сторонами, які розвивають відносини з українським урядом на державному рівні. Саме розвиток інтелектуальних Smart Grid технологій в електричних мережах дозволить споживачам реалізовувати своє право на управління своїм попитом та вплив на власні рахунки за спожиту електричну енергію.

Зміна динаміки розвитку smartgrid є наслідком хвилеподібного характеру розвитку будь-яких проривних технологій, менша частота коливань в порівнянні з кривими розвитку ряду інших технологій, може бути пояснена технологічною і галузевою специфікою. Прогнозується, що наступний виток розвитку, починаючи з 2020р., буде заснований на нових бізнес-моделях і схемах монетизації, а також гармонізації технологічних і функціональних можливостей «розумних мереж» з реальними запитами суб'єктів економіки.

Нові напрями освіти з питань відновлювальної енергетики

В'юненко О.Б. *, *доцент*; Толбатов А.В. *, *доцент*;
Толбатов В.А. **, *доцент*

* Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

** Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Індустрія поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) стрімко зростає на тлі зростаючих побоювань щодо виснаження запасів нафти та зміни клімату. Багато хто вважає, що відновлювані джерела енергії (ВДЕ) є частиною відповідного реагування на ці проблеми, а деякі національні уряди запровадили програми для підтримки більш широкого використання збалансованих енергетичних систем. Все це призводить до швидкого зростання попиту на фахівців з відновлюваної енергетики (ВЕ), які здатні розробляти, встановлювати та підтримувати подібні системи. Більшість інженерів не підготовлені до використання технологій відновлюваної енергії, і більшість з них не знають про принципи стійкості, тому існує нагальна потреба у розробці та впровадженні нових курсів, які готують інженерів, науковців та енергетиків до роботи з ВДЕ для створення систем сталого виробництва енергії. Сучасна освіта з ПДЕ включає вивчення технології, ресурсів, проектування систем, економіки, галузевої структури та політики в інтегрованому пакеті. Це готує випускників до проектування збалансованих систем з числа доступних варіантів. На сьогодні освіта відіграє вирішальну роль у розвитку індустрії ВЕ. Загалом можна виділити наступні потреби у навчанні з відновлюваної енергії: 1) перепідготовка фахівців, які бажають перейти до галузі ВЕ; 2) перепідготовка техніків і професіоналів, які бажають працювати в цій галузі; 3) початкове навчання вчених і інженерів для розробки нових систем; 4) навчання технологій та політики у сфері ВЕ для фінансистів, інвесторів та аналітиків; 5) короткі курси підвищення кваліфікації з питань ВЕ; 6) уроки та ресурси для шкіл з енергетичних питань; 7) сучасна інформація про технології відновлюваних джерел енергії для широкої громадськості. Така інформація та навчання не повинні обмежуватися технологічними питаннями та питаннями політики, тому важливо, щоб подібні тренінги вирішували економічні, соціальні та екологічні питання, що виникають внаслідок впровадження цієї технології.

Прогнозування швидкості вітру з використанням штучних нейронних мереж для вітрових електростанцій

В'юненко О.Б., *доцент*; Толбатов А.В., *доцент*
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Енергія вітру все частіше використовується в усьому світі, частково тому, що вона є відновлюваним і екологічно чистим джерелом енергії. Невизначеність, викликана переривчастим характером енергії вітру, критично впливає на стабільне і ефективне використання будь-якої енергосистеми. Отже, прогнозування поведінки вітру є важливим етапом для енергоменеджерів та постачальників електроенергії, для того щоб подолати ризики непередбачуваності при використанні енергії вітру. Прогнозовані значення вітру можуть бути використані в різних додатках, таких як оцінка потенціалу енергії вітру, проектування вітрових електростанцій, управління прогнозом вітрових турбін і планування енергії вітру [1].

Для проведення розрахунків по короткостроковому прогнозуванню швидкості вітру пропонується використовувати чотири методи прогнозування: штучні нейронні мережі з радіальною базисною функцією, систему адаптивного нейро-нечіткого виводу, гібридний генетичний алгоритм штучної нейронної мережі та оптимізований рій частинок штучної нейронної мережі. В якості вихідних даних використовуються показники швидкості вітру, виміряних в інтервалі часу в одну годину. Розрахунки по зазначеним моделям проводяться за допомогою програмного забезпечення MATLAB та PolyAnalyst Pro, при цьому найкращим методом, що може бути використаний для короткострокового прогнозування швидкості вітру, є модель із використанням генетичного алгоритму. Однак необхідно враховувати, що всі представлені моделі мають точний результат і можуть бути використані для короткострокового прогнозування швидкості вітру з прийнятною точністю.

1. Fazelpour, Farivar & Tarashkar, Negar & Rosen, Marc. (2016). *Short-term wind speed forecasting using artificial neural networks for Tehran, Iran. International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 10.1007/s40095-016-0220-6.

Апроксимація вольт-амперних характеристик

Ащепков С.А., студент; Ащепкова Н.С., доцент
ДНУ ім. Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна

При конструюванні значної кількості РЕА використовуються опір, індуктивність та ємність. Ці елементи мають суттєво нелінійну залежність вихідного струму від прикладеної вхідної напруги, яку прийнято називати вольт-амперною характеристикою (ВАХ). Нелінійні характеристики вимірюють експериментально та подають у вигляді таблиці або графіка. Якщо аналіз нелінійного кола необхідно провести аналітичними методами виникає задача поліноміальної інтерполяції ВАХ, тобто підбору степеневі функції яка проходить через задані вузлові точки.

Мета дослідження: знайти многочлен $P(x)=P_n(x)$ ступеня не вище за n , значення якого у вузлах x_i ($i=0, 1, 2, \dots, n$) співпадають зі значеннями даної функції, тобто $P(x_i)=y_i$. Доведено, що в такій постановці задача інтерполяції має єдиний розв'язок [1, 2].

Таблична форма ВАХ отримана на основі експериментальних даних обумовлює дискретність характеристики з довільним кроком :

$$h_i = x_{i+1} - x_i,$$

де x_{i+1} і x_i – сусідні вузлові точки. Для уточнення значень ВАХ в проміжках між вузловими точками застосовані формули Гауса, Стірлінга або Бесселя [3]. Після того як ВАХ перетвориться у дискретну функцію з рівновіддаленими вузлами можна застосовувати інтерполяційні формули Ньютона.

У пакеті прикладних програм MathCad розроблено програмне забезпечення розрахунку значень ВАХ в проміжках між вузловими точками і визначення коефіцієнтів поліноміальної інтерполяції. Наведено приклади, які підтверджують ефективність запропонованого метода апроксимації вольт-амперних характеристик.

1. И.С. Березин, Н.П. Жидков, *Методы вычислений, т.1*, (Москва: Наука: 1966).
2. Р.С. Гутер, Б.В. Овчинский, *Элементы численного анализа и результатов обработки опыта*, (Москва: Наука: 1970).
3. Н.В. Копченков, И.А. Марон, *Вычислительная математика в примерах и задачах* (Москва: Наука: 1972).

Розробка моделі перехідних процесів в електричній мережі напругою 0,4 кВ

Кучерявий Р.М., студент; Лебедка С.М., старший викладач
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розрахунок перехідних режимів роботи електричної мережі неможливий без використання відповідного програмного забезпечення. Воно звільняє від рутини складних математичних розрахунків та використання в дослідженнях дорогого лабораторного обладнання і вимірювальних засобів для перевірки правильності виконаних розрахунків.

Метою проведення дослідження є побудова математичної моделі реально існуючої трансформаторної підстанції, що дозволяє моделювати аварійні режими роботи та фіксувати цифrogramи перехідних процесів, що протікають в мережі напругою 0,4 кВ.

Для цього використаний пакет програм MATLAB, а саме інтерактивний інструмент Simulink, що має велику бібліотеку блочних компонентів та зручну панель редагування цих компонентів.

Simulink автоматизує найскладніший етап моделювання – він складає і розв’язує системи диференціальних рівнянь, що описують задану модель та одночасно забезпечує зручний візуальний контроль за поведінкою моделі.

Для досягнення зазначеної мети розв’язані наступні задачі:

- побудована схема заміщення дослідженої підстанції, використовуючи пакет програм Simulink;
- здійснено налаштування параметрів кожного елемента схеми;
- здійснено моделювання відповідних аварійних режимів роботи та зафіксовано результати дослідів.

Проведено моделювання перехідних процесів та отримано результати у вигляді відповідних графіків в результаті проведення досліду з підключення до мережі активно-індуктивного навантаження, конденсаторної установки з наступним виникненням однофазного короткого замикання на землю та досліду з пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором і наступним виникненням трифазного короткого замикання.

Результатами моделювання є отримані цифrogramи (графіки) зміни електричних та механічних характеристик елементів мережі.

Модель іонного двигуна

Ходун С.О., *студент*; Фісенко О.В., *студент*;
 Макуха Д.М., *асистент*
 Сумський державний університет, м. Суми, Україна

З розвитком науки та техніки в промисловості все частіше використовуються різного типу двигуни, котрі перетворюють енергію природних ресурсів у механічну. Одним із видів електродвигуна, котрий використовує електричну енергію є іонний двигун. Принцип роботи оснований на ефекті Біфільде-Брауна.

Схема іонного двигуна складається із наступних основних блоків: генератор високої напруги, помножувач напруги та несиметричний конденсатор, схема якого зображена на рис. 1. Помножувач напруги складається з 12 ступенів, зібраних по схемі Кокфорда-Уолтона. Безпосередньо сам іонний двигун складається з обкладинки у вигляді полоски фольки, наклеєної на рамку та обкладинки із тонкого мідного провідника. В процесі роботи також розглядалися схеми живлення при змінному струмі напругою до 50кВ, схема живлення від напруги 12В, та схеми живлення від електричної мережі 220В струму високої частоти. Тестування проводилось при напрузі від 2 до 30 кВ.

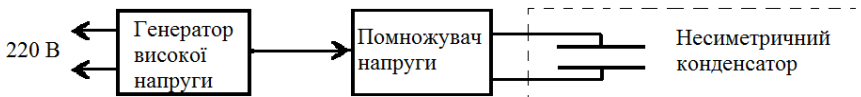


Рисунок 1 – Схема іонного двигуна.

Результатом роботи було побудовано прототипи літаючих платформ, запропонована модель іонного двигуна дозволяє встановити залежність між поданою напругою на обкладинки конденсатора та підйомною силою, залежність між струмом та підйомною силою. Дане явище ще потребує подальшого дослідження, адже підйомної сили вистачає лише для підйому невеликих об'єктів, але використання його в безпілотних літальних апаратах малих розмірів це вже найближча реальна перспектива.

Побудова моделі контактної мережі постійного струму для розрахунку втрат напруги на потужності в її елементах

Торяник Р.О., *студент*; Петровський М.В., *доцент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Системи електропостачання постійного струму мають ряд переваг перед системами змінного струму – це рівномірне завантаження фаз живильних ліній енергосистем, відсутність індуктивних складових опорів і електромагнітного впливу на суміжні системи. На території України контактні мережі постійного струму дуже поширені, а тому дослідження енергетичних процесів в таких системах є актуальною задачею.

Для аналізу системи тягового електропостачання постійного струму в роботі використаний пакет MATLAB/Simulink. При цьому використовується спосіб імітаційного моделювання розрахунку, що безпосередньо відтворює хід процесів у реальному часі. Вихідними даними є блок сигналів, що задає графік руху електровозів. Розробка проходить на основі двох моделей, перша враховує тягові елементи електровоза, а друга враховує фізичні процеси, що протікають в контактній мережі при русі електровозів.

В роботі побудовано моделі тягових елементів електровоза ЕП-20: модель асинхронного двигуна ДТА-1200; модель трифазного силового інвертору та LC фільтру. Також прийнято певний сигнал управління, що надходитиме до широтно-імпульсного перетворювача, який у свою чергу задає момент модуляції системи та генерує імпульси постійного струму для роботи перетворювача. Для відображення результатів моделювання введений блок «powergui», що являє собою графічний інтерфейс. Основними вимірювальними блоками є мультиметри та осцилографи. Для визначення шляху, пройденого електровозом, проводиться інтегруванні лінійної швидкості. Таким чином, вхідними параметрами для моделі є струм та шлях.

В результаті роботи моделі контактної мережі можемо спостерігати, як в певний період часу на певній частині дороги змінюється споживаний струм та напруга всіх ділянок мережі та двигунів електровозів. В результаті проведених розрахунків було визначено втрати напруги та потужності для всіх елементів та ділянок контактної мережі постійного струму напругою 3 кВ.

Спосіб визначення струму витоку по поверхні тарілчастого ізолятора типу ПФ-70А

Борзенков І.І. *, *аспірант*; Шевченко С.Ю. **, *професор*;

Данильченко Д.О. **, *старший викладач*

*Сумський державний університет, м. Суми, Україна

**Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Для розрахунків струмів витоку через поверхню ізоляційних конструкцій можна використати наступну формулу:

$$I_{\text{вит}} = \frac{U}{R_{\text{вит}}}, \quad (1)$$

де $R_{\text{вит}}$ – опір струму витоку, який визначається за наступною формулою:

$$R_{\text{вит}} = \frac{\rho \cdot L_{\text{вит}}}{\pi \cdot \Delta \cdot D}, \quad (2)$$

де Δ – товщина слою забруднення; ρ – питомий опір слою забруднення, $L_{\text{вит}}$ – довжина шляху витоку.

Але, якщо розглянути формулу (2) можна зробити висновок, що, задача по визначенню таких параметрів, як Δ – товщина слою забруднення; ρ – питомий опір слою забруднення дуже складна, а також формула (1) наведена для розрахунку струмів витоку через поверхню гладкого циліндра, що значно ускладнює задачу по розрахунку струму витоку.

Тому з урахуванням вище наведеного, для вирішення задачі по визначенню струму витоку через поверхню ізолятора нами було запропоновано визначити такі два параметри, як тангенс кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$ та ємність ізолятора C_x експериментальним шляхом, з подальшим розрахунком струму витоку.

Було проведено серію експериментів (в лабораторних умовах) по визначенню тангенса кута діелектричних втрат та ємності ізолятора, за допомогою вимірювального приладу «Вектор 2М» для трьох станів

поверхні ізолятора: чиста суха, чиста змочена водою та суха забруднена слоєм пилу. Як досліджуваний об'єкт було вибрано фарфоровий ізолятор типу ПФ-70А Середні значення отриманих результатів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Середні вимірні значення ємності ізолятора C_x та $tg\delta$.

Тип	Стан поверхні ізолятора					
	Чиста суха		Суха забруднена слоєм пилу		Чиста змочена водою	
	C_x, pF	$tg\delta, \%$	C_x, pF	$tg\delta, \%$	C_x, pF	$tg\delta, \%$
ПФ-70Е	87,82	9,12	82,86	21	120,3	20,9

Як видно з таблиці 1 при різних станах забруднення поверхні ізолятора змінюються і вимірні параметри, тому можна заробити висновок про те, що і струм витоку теж буде змінюватися.

Після отримання експериментальних значень було розраховано активну складову струму витоку по поверхні ізоляції. Результати розрахунку зведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Розрахункові значення величин ізолятора типу ПФ-70А

Стан поверхні ізолятора	Параметри					
	U, кВ	f, Гц	$X_c, Ом$	$I_p, А$	$I_a, А$	$P_a, Вт$
Чистий сухий	10	50	$3.63 \cdot 10^7$	$0.3 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-5}$	0.25
Забруднений слоєм пилу	10	50	$3.85 \cdot 10^7$	$0.3 \cdot 10^{-3}$	$5.8 \cdot 10^{-5}$	0.58
Чистий змочений водою	10	50	$3.85 \cdot 10^7$	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$7.9 \cdot 10^{-5}$	0.79

Як видно з таблиці 2 значення активної складової струму витоку по поверхні ізолятора типу ПФ-70А змінюється в залежності від стану забруднення поверхні ізоляції. З використанням такого підходу для вирішення задачі, можна більш детально дослідити струми витоку по поверхні ізолятора в залежності від ступеня забруднення атмосфери та дії погодних умов.

Застосування установок розподіленої генерації та вплив їх на параметри мережі

Заведенко А.О., *студент*; Волохін В.В., *доцент*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Сьогодні виникає питання застосування установок розподіленої генерації (РГ). Це обумовлено рядом чинників: відносною дороговизною електроенергії, завантаженістю мережевої інфраструктури, у результаті відсутня можливість підключення нових споживачів до мережі. Ці обставини підштовхують власників промислового виробництва до спорудження власних об'єктів малої генерації (МГ), що дозволить знизити витрати на електроенергію. Тому питання про установки МГ стає гарним рішенням.

Мета роботи – оцінити вплив РГ на параметри і режим мережі, оцінити економічну привабливість проекту установки РГ для власника, а також можливість ведення взаємовигідних відносин між власниками РГ та іншими учасниками ринку електроенергії. Для розгляду вище помічених питань була розглянута районна мережа 220/110 кВ і розподільна система електропостачання (СЕС) однією з ПС 110/10 кВ. Обрано варіант схеми 220/110 кВ та основне обладнання: трансформатор, переріз проводів ПЛ.

Вплив на мережу 220/110 кВ менш значно. Установка РГ на одній з ПС дозволяє закласти проводи меншого перерізу ПЛ. Крім того можливе зменшення потужності трансформатору.

Таким чином, установка РГ дає позитивний вплив на параметри і режими мережі:

- Зниження рівня капіталовкладень в мережу;
- Можливості підключення нових споживачів;
- Зниження втрат електроенергії в мережі;
- Підвищення якості електроенергії та надійності електропостачання споживачів;
- Зниження пікових навантажень мережі.

Негативним є те, що внаслідок установки РГ зростають струми короткого замикання. Найбільше збільшення струмів спостерігається на шинах, де під'єднані генератори. Однак зростання струмів КЗ не перевищує 30%, без застосування будь-яких заходів щодо їх зниження.

Генерування високовольтних напруг за допомогою помножувача напруги Кокрофта-Уолтона

Петренко Н.С., студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Схема помножувача напруги становить собою типову схему діодного випрямляча, яка може генерувати вихідну напругу у багато разів більше, ніж прикладена вхідна напруга. Помножувачі напруги використовуються в телебаченні, радарях і радіоелектроніці. Мета даної роботи є моделювання у програмному середовищі MATLAB помножувача напруги.

Каскадний генератор - пристрій, що перетворює низьку змінну напругу у постійну високу. У кожному окремому каскаді змінна напруга випрямляється, потім випрямлена напруга підключається послідовно і як підсумок підсумовуються. Зв'язок каскадів з джерелом живлення здійснюється найчастіше через ємності або за допомогою взаємної індукції. Серед ємнісних каскадних генераторів з послідовним живленням найбільш поширений асиметричний генератор Кокрофта-Уолтона, схема якого наведена на рис. 1.

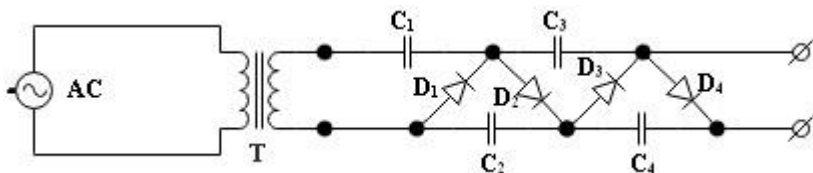


Рисунок 1 – Принципова схема помножувача напруги Кокрофта-Уолтона

У графічному середовищі Simulink програми MATLAB побудовано модель помножувача напруги із занесеними вихідними даними. З результатів моделі одержали, що помножувач напруги підкреслює простоту схеми, що об'єднує діоди та конденсатори, які дають змогу збільшити вхідну напругу у декілька разів. Перевагою є простота і дешевизна установки, оскільки відсутня потреба у трансформаторі. За необхідністю є спроможність отримання від'ємної напруги, шляхом зміни полярності діодів та конденсаторів.

Дослідження роботи трифазного лінійного двигуна на основі моделі трифазного синхронного двигуна оберտального руху в пакеті MATLAB

Полевик А.М., студент; Волохін В. В., доцент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На даний час використовуються архаїчні двигуни оберտального руху у електроприводах транспорту(поїзди електровози і т.п.), верстаків (металооброблювальних, ткацьких і т.д.), нажаль використання даного типу електродвигунів пов'язане з використанням різних пристроїв для передачі моменту від двигуна до робочого органу (РО). Недоліки електроприводів оберտального руху (через ремінну і гвинтову передачу обертального моменту):

- велика кількість проміжних елементів від джерела енергії до РВ;
- величезна інерційність цих елементів, особливо в великогабаритних верстатах;
- наявність зазорів в передавальних пристроях;
- тертя в безлічі деталей, (різко змінюється при переході системи зі стану спокою в стан руху);
- температурні і пружні деформації практично всіх передавальних ланок;
- знос сполучених елементів в процесі експлуатації і втрата початкової точності;

похибки в кроці ходового гвинта і накопичена похибка по довжині.

У роботі наведена методика моделювання трифазного синхронного лінійного двигуна на основі моделі синхронного двигуна обертального руху, що присутня в пакеті MATLAB. Вказані умови і допущення при моделюванні даної системи. Приведені результати моделювання на основі раніше розрахованих параметрів.

Дана модель дозволить на етапі проектування трифазного лінійного електроприводу провести моделювання його роботи. Визначити поведінку лінійного електроприводу при зміні якості електроенергії, а саме:

- коливанні частоти;
- відхилення амплітуди напруги;
- появи 3-ї і вище гармонік.

Розв'язок ресурсоемних обернених задач електротехніки методами сурогатної оптимізації

Гальченко В.Я., *професор*; Трембовецька Р.В., *доцент*;

Тичков В.В., *доцент*; Сторчак А.В., *аспірант*

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

Розв'язок обернених задач електротехніки оптимізаційним методом характеризується наступними особливостями: по-перше - некоректність задач проявляється в складній топографії цільової функції, яка має багатовимірний «яружний» вигляд; по-друге - цільова функція для реальних завдань електротехніки обчислюється в переважній більшості випадків алгоритмічно з використанням чисельних методів, кінцево-різницевого (МКЕ), граничних або об'ємних інтегральних рівнянь, що є вельми витратними в сенсі обчислювальних ресурсів. По-третє – методи оптимізації, що застосовуються, повинні враховувати вид формулювання цільової функції, яка в деяких випадках може бути не гладкою. І на останок, алгоритми оптимізації повинні бути зорієнтовані на пошук глобального, а не локального, оптимуму і через це більшість з відомих детермінованих методів пошуку екстремуму не можуть бути використані в наслідок високої обчислювальної ресурсоемності, а в деяких випадках недеференційованості цільової функції, що також унеможливило використання градієнтних методів оптимізації.

Всі зазначені проблеми розв'язку обернених електротехнічних задач можуть бути вирішені в результаті застосування сурогатної оптимізації з використанням метаевристичних популяційних алгоритмів пошуку екстремуму.

Тоді, основним моментом розв'язку задачі стає побудова метамоделі, що представляє собою нейромережеву апроксимацію багатовимірної поверхні відгуку, що має високу обчислювальну ефективність. Запропоновано обчислювальна технологія використання каскаду композитів нейромереж у комплексі з їх комітетами, які дозволили реалізувати цю задачу в рамках заданої похибки, що не перевищує 5-6%.

В якості ілюстрації вирішена задача оптимального параметричного синтезу вихрострумів перетворювачів з рівномірною апрорі заданою чутливістю в зоні контролю.

Дослідження напрацювань ламп розжарювання приладів головного освітлення автомобілів

Веснін А.В., *доцент*; Почужевський О.Д., *доцент*;
Почужевська Ю.Л. *студент*

Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна

Метою роботи є – встановлення відповідності параметрів та проведення ресурсних випробувань автомобільних ламп розжарювання представлених у вільному продажі на ринку України.

Об'єкт дослідження – процес роботи, основні світлотехнічні та ресурсні параметри ламп розжарювання, що застосовуються в автотранспортній техніці.

Предмет дослідження – автомобільні лампи розжарювання з цоколями H4, H7 та без цокольні W5W.

Для досягнення поставленої мети використано комплексний метод досліджень, що включає наукове узагальнення й аналіз літературних джерел; лабораторні дослідження та метод морфологічного аналізу, який дозволяє провести синтез і аналіз отриманих результатів.

Згідно проведеного аналізу можна зробити висновок про те, що одним з основних недоліків галогенних ламп є те, що термін служби лампи залежить від її робочої температури. При низькій напрузі падає не тільки яскравість світіння, але й зменшується термін служби. Той же ефект спостерігається й при перевищенні напруги. (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Загальні залежності між напругою живлення, відносною яскравістю свічення та термінами служби ламп розжарювання

Напруга, В	11,48	12,15	12,83	13,5	14,18	14,85	15,2
Напруга, %	85	90	95	100	105	110	120
Відносна яскравість лампи, %	53	67	83	100	120	145	200
Відносний термін служби, %	1000	440	210	100	50	28	10

Розглянувши питання важливості якісної роботи систем головного освітлення та світлової сигналізації, а також проаналізувавши особливості конструкцій, роботи їх джерел світла, можливо стверджувати, що проведення досліджень у напрямках визначення

параметрів якісного світла ламп головної оптики автомобіля, а також встановлення строків напрацювань ламп розжарювання, що представлені у вільному продажі на ринку України є достатньо актуальним питанням.

Дослідження проводилися: 1 частина – в рамках методики перевірки відповідності світлотехнічних характеристик джерел світла згідно діючих вимог ЕЕК ООН №112-00 та Правил 37 ЕЕК ООН; 2 частина – методика ресурсних досліджень (циклічний режим при постійній напрузі живлення й постійній температурі, циклiчний режим при постійній напрузі живлення й постійній низькій температурі і циклiчний режим при підвищеній напрузі живлення й постійній температурі).

Як предмет для досліджень була прийнята вибірка автомобільних ламп таких брендів: Bosch, Narva, Osram, Philips, General Light, Диалуч, Інноватор.

Провішивши аналіз отриманих даних можна дійти таких висновків:

- щодо першої частини дослідження – не слід вірити у всемогутність галогенних ламп нібито підвищеної яскравості (з написами на коробках «+100%» або «+120%»). Вони означають тільки те, що в зразковій фари ця лампа краще освітлює одну з контрольних точок у порівнянні з лампою тієї ж марки попереднього покоління. А в інших умовах світло може виявитися навіть гірше. Пофарбовані колби здатні підвищити контрастність картинки, але лише за певних умов. Так, жовтий небагато поліпшує видимість при дощі або тумані, але в ясну погоду з ним видно гірше. А із блакитним світлом все навпаки. У будь-якому разі, що і як буде бачити водій, залежить не від кольорів світлового пучка, а від його джерела й налаштування (правильного регулювання) фари.

- щодо другої частини дослідження – першими згоріли вироби з поліпшеними потужністними характеристиками, як у випадку ресурсних випробувань галогенних ламп з цоколями H7, H4 та при проведенні ресурсних випробувань ламп розжарювання W5W. Набагато довше протрималися звичайні лампочки (без заявлених поліпшених характеристик потужності), що зуміли навіть пережати більшість ламп з позначками «Long Life», або «Ultra Life». Переможці ресурсних випробувань випереджають їх ненабагато. Тобто, якщо немає бажання часто міняти лампочки, не слід встановлювати «поліпшені» вироби з різного роду «ксеноновими ефектами», а слід віддати перевагу лампам зі збільшеним ресурсом, у нашому випадку ними стали лампи брендів Bosch, Диалуч, Osram та Philips.

Наукове видання

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ФЕЕ :: 2019

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

Відповідальний за випуск
декан ф-ту ЕлІТ

проф. **С.І. Проценко**

Комп'ютерне верстання
Дизайн обкладинки

ст. викладач **Ю.М. Шабельник**
ст. викладач **Ю.М. Шабельник**

Відповідальний редактор

ст. викладач **Ю.М. Шабельник**

Стиль та орфографія авторів збережені.

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. ____ Обл.-вид. арк. ____ 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.