



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ФЕЕ :: 2018

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

(Суми, 05-09 лютого 2018 року)

Суми,
Сумський державний університет
2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ФЕЕ :: 2018

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

(Суми, 05–09 лютого 2018 року)



Суми
Сумський державний університет
2018

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 ЕлІТ 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://elitconf.sumdu.edu.ua/index.php/electronics/fee18>.

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 – д-р фіз.-матем. наук, проф. Лопаткін Ю.М.
Секретар секції – канд. фіз.-матем. наук, доц. Лютий Т.В.

Початок: 08 лютого 2018 р., ауд. ЕТ 310, 13²⁵

1. Calculation of the Stability of the Fiber Ring Laser with Liquid Crystal Polarization Controllers.

Authors: Assist. Hnatenko O.S.,
Stud. Obozna V.P.

2. Formation of Laser Radiation Pulses for Encoding Information.

Authors: Stud. Obozna V.P.,
Assist. Hnatenko O.S.

3. АЧХ коэффициента прохождения звука замкнутого кольцевого слоя в задаче излучения звука цилиндрическим источником нулевого порядка.

Автор: ассист. Филиппова Н.Ю.

4. Investigation of the Generation of Droplet Lasers.

Authors: Stud. Sivni V.B.,
Assist. Hnatenko O.S.

5. Master Equation for a Localized Particle Driven by Poisson White Noise.

Authors: Stud. Bohopolskyi V.M.,
Stud. Shypilov N.E.,
Prof. Denisov S.I.

6. Energy Spectrum of a Particle in an Infinitely Deep Potential Well with a Non-flat Bottom.

Authors: Stud. Husachenko A.V.,
Stud. Ryzhkov O.S.,
Prof. Denisov S.I.

7. Influence of Spin-polarized Current on Spin Waves in Ferromagnets.

Authors: Stud. Shchotkin V.V.,
Prof. Denisov S.I.

8. Temperature Dependence of the Drift Velocity of Ferromagnetic Nanoparticles in Viscous Fluids.

Authors: Stud. Yermolenko A.S.,
Stud. Bosenko V.S.,
Prof. Denisov S.I.

9. Дослідження системи екранованих діелектричних хвилеводів із розподіленим зв'язком за допомогою чисельного моделювання.

Автори: асп. Буряк І.А.,
доц. Кривець О.С.,
доц. Журба В.О.

10. Стабилизация равновесного состояния динамической системы при воздействии взаимно-коррелированных шумов.

Автор – ст. препод. Витренко А.Н.

11. Minimal Set of Equations for Drift of Ferromagnetic Nanoparticles Induced by Magnetic Fields in Fluids.

Authors: Stud. Kvasnina O.V.,
Stud. Yermolenko A.S.,
Assoc. Prof. Lyutyu T.V.,
Prof. Denisov S.I.

12. The Response of an Uniaxial Ferromagnetic Nanoparticle to a Spin-polarized Current.

Authors: Stud. Krekshyn D.M.,
Assoc. Prof. Lyutyu T.V.,

13. Застосування теоретико-групового аналізу для дослідження флуоресценції поліметинових барвників.

Автори: студ. Шевченко Ю.О.,
проф. Лопаткін Ю.М.,
проф. Кондратенко П.О.

14. Дослідження природи аномальної флуоресценції поліметинових барвників.

Автори: студ. Белоус Д.О.,
проф. Лопаткін Ю.М.,
проф. Кондратенко П.О.

15. Елементи пам'яті на основі симетричних молекул пероксиду

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

СЕКЦІЯ № 2
«НАНОМАТЕРІАЛИ: ЗАСТОСУВАННЯ ТА
ВЛАСТИВОСТІ»

Голова секції – д-р фіз.-матем. наук, проф. Погребняк О.Д.
Секретар секції – магістрант Лісовенко М.О.

Початок: 09 лютого 2018 р., ауд. ЕТ 218, 15⁰⁰

1. Наносистеми ZnO та їх сенсорні характеристики.

Автор – студ. Манжола Б.В.
Керівник – доц. Космінська Ю.О.
Консультант – проф. Перекрестов В.І.

2. Моделювання росту наносистем металів кінетичним методом Монте-Карло.

Автор – студ. Крячок С.Л.
Керівник – доц. Космінська Ю.О.

3. Багатокомпонентні наноструктурні покриття (TiAlSiY)N з надвисокою твердістю.

Автори: студ. Шахова І.М.,
асп. Смирнова К.В.,
доц. Бондар О.В.

4. Структурні особливості та фізико-механічні властивості аморфноподібних покриттів AlN-TiB₂-TiSi₂.

Автори: студ. Біловол К.О.,
доц. Бондар О.В.
Керівник – проф. Погребняк О.Д.

5. Чорнила на основі наночасток Ag, ZnO, Cu₂ZnSnS₄ для друку електронних схем.

Автори: асп. Гузенко О.І.,
асист. Доброжан О.А.,
проф. Опанасюк А.С.,
студ. Єрмаков М.С.,
студ. Ярошенко Я.В.

6. Вивчення структури поверхні полікристалічних плівок Zn₂SnO₄.

Автори: студ. Салогуб А.О.,
проф. Опанасюк А.С.

7. Синтез і характеристика нових високоентропійних сплавів $(\text{TiZrHfNbTa})\text{N}/\text{MoN}$ з багатошаровою архітектурою.

Автори: студ. Ключниченко Д.В.,
ст. викл. Багдасарян А.А.

8. Зміни структурно-морфологічних характеристик при окисненні наносистем Zn .

Автор – студ. Ковтун А.І.
Керівник проф. Перекрестов В.І.

9. Мікроструктура та фізико – хімічні властивості високоентропійних сплавів, які містять міжвузлові атоми.

Автори: студ. Пуліка В.І.,
ст. викл. Багдасарян А.А.

10. Дослідження наноструктурних багатошарових CrN/MoN покриттів в залежності від умов осадження.

Автори: студ. Лісовенко М.О.
доц. Бондар О.В.
Керівник – проф. Погребняк О.Д.

11. Аналіз впливу параметрів магнетронного розпилення на формування наноструктурних покриттів TaV_2 .

Автори: асп. Шелест І.В.,
студ. Буранич В.В.,
студ. Бровко Д.Ю.,
асп. Кравченко Я.О.

12. Синтез надтвердих плівок дибориду танталу методом магнетронного розпилення на постійному струмі.

Автори: асп. Шелест І.В.,
студ. Буранич В.В.,
студ. Єпіфанов І.Н.,
асп. Кравченко Я.О.

13. Дослідження колективних ефектів при обертальному русі наночастинок.

Автори: доц. Ющенко О.В.,
студ. Руденко М.А.

14. Наближення Ландау при аналізі магнітних фазових переходів першого роду в нанокластерних системах.

Автори: доц. Ющенко О.В.,
асист. Бадалян А.Ю.,
студ. Стеценко А.О.

15. Термодинамічна модель етапів енуклеації нанокластерних систем.

Автори: доц. Ющенко О.В.,
студ. Ткаченко А.І.,
студ. Шрамко М.С.

16. Оксидні нанотрубки на поверхні поруватих напівпровідників.

Автори: пров. фах. Дяденчук А.Ф.
проф. Кідалов В.В.

17. Розробка та проектування складних концентрованих сплавів.

Автори: студ. Антошенко А.А.,
ст. викл. Багдасарян А.А.

18. Особенности формирования сверхтвердых амалоподобных покрытий на основе сплавов переходных металлов 11 группы.

Автор – инж. Михалев А.Д.

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

Голова секції – канд. фіз.-матем. наук, доцент, Чешко І.В.

Секретар секції – канд. фіз.-матем. наук, ст. викладач

Шабельник Ю.М.

Початок: 07 лютого 2018 р., ауд. Ц 321, 13⁰⁰

1. Кореляція між електрофізичними властивостями і ступенем ентропійності плівкових сплавів.

Автори: проф. Одноворець Л.В.,
мол. наук. співроб. Подуремне Д.В.,
проф. Проценко І.Ю.,
доц. Шумакова Н.І.,
ст. викл. Шабельник Ю.М.

2. Magnetoresistive Properties of Py/Ag/Co Pseudo Spin-valves.

Authors – Stud. **Levchenko K.S.**,
Assoc. Prof. Pазukha I.M.

3. Температурна залежність магніторезистивних властивостей гранульованих плівкових сплавів на основі Co і Ag.

Автор – магістр. **Коломієць І.С.**,
Керівник – доц. Шпетний І.О.

4. Формування функціональних синтетичних антиферромагнітних шарів спін-клапанних структур на основі Ru та Co.

Автори: студ. **Коваленко О.В.**,
асп. Логвинов А.М.
Керівник – доц. Чешко І.В.

5. Методика формування графену на тонких плівках Ru.

Автори: студ. Васюхно М.В.,
асп. Логвинов А.М.

Керівник – доц. Чешко І.В.

6. Магнітооптичні властивості плівкових систем на основі Fe і Cr.

Автори: магістр. Луценко В.А.,
асп. Бездідько О.В.

Керівник – проф. Проценко С.І.

7. Плівкові матеріали на основі фулерену C₆₀: методи одержання і властивості.

Автори: **магістр. Швидченко А.В.**,
магістр. Швидченко О.В.,
пров. фах. Степаненко А.О.

Керівник – доц. Шумакова Н.І.

8. Елементний склад плівкових систем на основі Fe_xCo_{1-x} та Cu.

Автор – **асп. Салтиков Д.І.**

Керівник – доц. Шкурдода Ю.О.

9. Елементний склад та оптичні властивості плівок Zn_xCd_{1-x}S.

Автори – мол. наук. співроб. Єрьюменко Ю.С.,
студ. **Єрмаков М.С.**,
проф. Опанасюк А.С.

10. Формування електрохімічних оксидних шарів на алюмінієвих сплавах.

Автори: студ. **Пилишко В.В.**,
доц. Проценко З.М.,

11. Електрохімічне одержання багаточарових структур на основі Со і Си.

Автори: студ. **Чена В.О.**,
доц. Проценко З.М.

12. Симетрична «псевдо спін-вентильна» структура та її властивості.

Автор – студ. Босенко В.С.
Керівник – доц. Шкурдода Ю.О.

СЕКЦІЯ № 4 «ЕЛЕКТРОННЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ»

Голова секції – д-р фіз.-матем. наук, проф. Однорорець Л.В.
Секретар секції – канд. фіз.-матем. наук, доц. Ткач О.П.

Початок: 07 лютого 2018 р., ауд. Ц 325 б, 13⁰⁰

1. Деформаційні ефекти в тензочутливості плівкових матеріалів як чутливих елементів електроніки.

Автори: студ. Кулак А.С.,
зав. лаб. Лободюк О.С.,
студ. Рилова А.К.,
асист. Тищенко К.В.
Керівник – проф. Проценко І.Ю.

2. Термічний коефіцієнт опору гранульованих плівкових сплавів.

Автори: студ. **Ковнер А.А.**,
студ. **Льїн С.С.**,
проф. Проценко І.Ю.

3. Вплив температури на властивості чутливих плівкових сенсорних елементів на основі Fe і Pd або Au.

Автори: асп. **Шумакова М.О.**,
проф. Однодворець Л.В.

4. Магнітоопір плівкових матеріалів на основі Fe і Pd або Pt.

Автори: студ. **Подопригора О.О.**,
проф. Однодворець Л.В.

5. Автоматизований комплекс для дослідження стабільності елементів гнучкої електроніки.

Автори: студ. **Васюхно М.В.**,
асист. Тищенко К.В.,
Керівник – доц. Чешко І.В.

6. Дослідження електричних і оптичних характеристик світловипромінювальних діодів.

Автори: маг. **Сущенко Б.І.**,
студ. Рилова А.К.
Керівник – доц. Ткач О.П.

7. Тензорезистивні властивості плівкових наносистем на основі пермалою та срібла як чутливих елементів тензодатчиків.

Автори: маг. **Овруцький А.С.**,
асп. Шуляренко Д.О.
Керівник – доц. Пазуха І.М.

8. Тонкоплівковий чутливий елемент датчика магнітного поля на основі $Ni_{80}Fe_{20}$ та Ag.

Автори: студ. Овруцький М.С.,
асп. **Шуляренко Д.О.**
Керівник – доц. Пазуха І.М.

9. Спін-вентильні структури на основі благородних і феромагнітних металів для вимірювання магнітного поля.

Автор – маг. **Сафіулін В.О.**
доц. Ткач О.П.

10. Реалізація моделі пучка електронів у системі растрового електронного мікроскопу.

Автор – студ. **Барсегян Н.М.**
Керівник – доц. Дрозденко О.О.

11. Програмна модернізація зношеної системи координатних рухів для ЧПК верстату.

Автор – студ. Храпай Р.Г.
Керівник – доц. Дрозденко О.О.

12. Investigation of Ordered Structures Formed on the Surface of Piezoceramic Elements

Authors: Prof. Bondarenko I.I.,
Post-graduate Medianyuk V.V.,
Prof. Bondarenko M.A.,
Post-graduate Titarenko V.S.

13. Квантова генерація у плазмонних наносистемах.

Автор – Пуляєв Ю.С.
Керівник – Курський Ю.С.

14. Акустоелектронний сенсор фізичних величин на поверхневих акустичних хвилях.

Автори: маг. **Сухін Є. І.**,
студ. Однодворець К.С.
доц. Ткач О.П.

15. Исследование пьезоэлектрических датчиков с акустическим резонатором.

Автори: маг. Тычков Д.В.,
 доц. Базило К.В.,
 ст. преп. Тычков В.В.

16. Ультразвуковий пристрій для інтенсифікації біохімічних процесів.

Автори: Базило К.В.,
 Заїка В.М.

17. Програма для моніторингу чадного газу.

Автор – маг. **Приходько В.В.**
Керівник – доц. Шумакова Н.І.

18. Альтернативний метод отримання електроенергії з атмосфери.

Автор – Дідоренко О.О.

19. Оптичні властивості плівок MoS_2 для приладів функціональної електроніки

Автори: студ. **Данильченко П.С.**,
 доц. Опанасюк Н.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: 06 лютого 2018 р., ауд. ЕТ-211, 11²⁵

1. Побудова кодуючих пристроїв на квазірівноважних кодах.

Автори: студ. **Усик К.О.**,
студ. Зозуля Д.О.,
асист. Скордіна О.М.

2. Solution of Combinatorial Problems by the Method of Random Search Based on Factorial Numbers.

Автори: Stud. **Moschna I.B.**,
Senior Lect. Goryachev A.E.

3. Моделювання фізичних процесів у напівпровідникових сонячних елементах на основі гетеропереходів n -ІТО(ZnO)/ n -CdS(n -ZnS, ZnSe)/ p -CZTS.

Автори: асист. Доброжан О.А.,
студ. **Данильченко П.С.**,
проф. Опанасюк А.С.

4. Фоточутливі плівки $Cd_{1-x}Zn_xTe$ для детекторів жорсткого випромінювання.

Автори: мол. наук. співроб. Знаменщиков Я.В.,
студ. **Курінський Б.Ю.**,
проф. Опанасюк А.С.

5. Голосовий інформатор автомобіля.

Автори: студ. **Марченко В.В.**,
доц. Новгородцев А.І.

6. Оцінка параметричного стану автоматизованих виробничих процесів.

Автори: студ. **Домніч О.С.**,

доц. Новгородцев А.І.,
ст. викл. Протасова Т.О.

7. Дешифратори кодів Фібоначчі.

Автори: проф. Борисенко О.А.,
асист. Маценко С.М.,
студ. **Посна Е.М.**,
студ. Титаренко О.А.,
студ. Савостьян А.М.

8. Вплив оптичних втрат на ККД гетероперехідних фотоперетворювачів на основі міді.

Автори: студ. **Фролов А.І.**,
мол. наук. співроб. Д'яченко О.В.,
проф. Опанасюк А.С.,

9. АВ-сжатие двоичной информации для телекоммуникационных систем.

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

10. Биномиальное сжатие информации для телекоммуникационных систем.

Автори: студ. **Гайворонская А.Г.**,
доц. Кулик И.А.

11. Устройство вычисления числа двоичных единиц.

Автори: студ. **Бугайов А.А.**,
доц. Кулик И.А.

12. Ретранслятор УКХ радіоканалу системи передачі даних.

Автори: доц. Гриненко В.В.,
студ. **Дунь А.А.**

13. Цифрова система комутації для міні-АТС.

Автори: доц. Гриненко В.В.,
студ. **Ємельяненко Д.О.**

14. Фотоефект у приладовій структурі на основі гетеропереходу SnS/CdS.

Автори: студ. **Подопригора О.О.**,
мол. наук. співроб. Єрмоменко Ю.С.,
асп. Возний А.А.,
студ. Фролов А.І.,
проф. Опанасюк А.С.

15. Інтелектуальні пристрої для «розумних» мереж.

Автори: доц. Бережная О.В.,
ген. дир. Арбузов А.А.,
студ. **Безгинский В.В.**,
студ. Клок А.В.

16. Блок живлення з програмною установкою параметрів

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

17. Застосування адаптивного шифрування в автоматизованих системах.

Автори: доц. Бережна О.В.,
студ. **Качан Ю.Ю.**,

студ. Гермес М.О.,
студ. Шевченко М.С.

СЕКЦІЯ № 6 «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

Голова секції – канд. техн. наук, доц. Лебединський І.Л.
Секретар секції – аспірант Дяговченко І.М.

Початок: 08 лютого 2018 р., ауд. М-304, 11²⁵

1. Зарубіжний досвід побудови і реформування ринків електроенергії.

Автори: студ. Хандюк А.В.,
доц. Петровський М.В.,
проф. Сотник І.М.

2. Пристрій виявлення міжвиткових замикань в котушках на феромагнітних осердях.

Автори: студ. Панкевич С.В.,
студ. Косенко І.М.
Керівник – доц. Волохін В. В.

3. Моделювання та контроль характеристик асинхронних двигунів у програмному середовищі Labview.

Автори: студ. Петренко Н. С.,
доц. Петровський М. В.

4. Вплив вирівнювання графіку навантаження підприємства на величину втрат електроенергії в електричних мережах.

Автори: студ. Огій О.О.,
доц. Петровський М.В.

5. Формування моделі для розрахунку втрат електроенергії на базі програмного комплексу АСКОЕ.

Автори: студ. Сокольнікова М.О.,
доц. Петровський М.В.

6. Метод електромагнітної сепарації феромагнітних наночастинок у суспензіях з урахуванням теплових флуктуацій.

Автори: студ. Єрмоленко А.С.,
доц. Петровський М.В.,
доц. Лютий Т.В.

7. Оптимальний вибір контакторів та реле для модернізації системи керування ліфтових установок.

Автори: студ. Полевик А. М.,
асп. Дяговченко І. М.

8. Аналіз методів і засобів забезпечення електромагнітної сумісності споживачів.

Автори: студ. Івченко Д.А.,
студ. Амонських О.І.,
студ. Зимовець А.С.,
ст. викл. Лебедка С.М.

9. Аналіз методу моделювання сигналів контролю функціонування газотурбінної електростанції.

Автори: доц. Толбатов А.В.,
доц. Толбатов В.А.

10. Вплив відхилення напруги на роботу світлодіодних ламп.

Автор – студ. Нечипуренко А.В.
Керівник – доц. Волохін В.В.

11. Перспективні задачі моніторингу використання електроенергії на промислових підприємствах.

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

12. The Influence of Moonbeams on Power Measuring Instruments.

Автори: Assoc. Prof., Vitalii Volokhin,
PhD-student Illia Diahovchenko

13. Моделирование электрических сетей напрягою 6 кВ з різними режимами нейтралі.

Автори: студ. Амонських О.І.,
ст. викл. Лебедка С.М.

14. Аналіз електричної мережі напрягою 0,4 кВ при роботі із імпульсними споживачами електричної енергії.

Автори: студ. Клемберг І.С.,
асист. Макуха Д.М.,
ст. викл. Романовський В.І.

15. Исследование фотоэлектрического преобразователя на основе CuInGaSe.

Автори: студ. Натарова Ю.В.,
доц. Галат А.Б.

16. Исследование характеристик пленочных диэлектрических систем для высоковольтных импульсных конденсаторов.

Авторы: зав. сектором Гунько В.И.,
мл. науч. сотр. Дмитришин А.Я.,
вед. инженер-технолог Фещук Т.А.

СЕКЦІЯ 1

**«Фізика та методика викладання
фізики»**

Calculation of the Stability of the Fiber Ring Laser with Liquid Crystal Polarization Controllers

Hnatenko O.S., Assistant; Obozna V.P., Student

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv

To date, with the ultra-short pulse lasers are used in many areas of science and technology, including information technology. The main task of creating such lasers is to provide output radiation with the shortest pulse duration. The shortest duration pulses achieved in fiber ring lasers with nonlinear rotating polarization modes, namely 20 fs. But in such lasers, there are a number of problems: stability of operation and tuning of the mode locking. This is due to the tuning of the mode-locked by rotating the wave plates in space manually. There are a number of papers in which the authors suggest using liquid crystal (LC) cells instead of wave plates, which are controlled by low-voltage voltage. But to solve a technical task, we need a theoretical solution. In this paper, we propose a method for calculating the stability of a fiber ring laser with LC cells by solving the nonlinear Ginzburg-Landau equation (1) and Oseen-Frank (2):

$$i \frac{\partial \tilde{F}(t, \varsigma)}{\partial \varsigma} = i g_1 \tilde{F}(t, \varsigma) + \left(\frac{\beta_2}{2} + i \rho \right) \frac{\partial^2 \tilde{F}(t, \varsigma)}{\partial t^2} + (D_r + D_i) \tilde{F}(t, \varsigma) \left| \tilde{F}(t, \varsigma) \right|, \quad (1)$$

where β_2 is the coefficient of group velocity; g_1 is the linear gain; ρ is the spectral filtration; D_i is the nonlinear gain; D_r is the self-modulation factor; $\tilde{F}(t, \varsigma)$ is the complex field amplitude.

$$F = \int \left\{ \frac{1}{2} K_{22} \left(\frac{d\theta}{dz} \right)^2 - \frac{1}{2} \varepsilon_0 \Delta \varepsilon E^2 \sin^2(\theta) \right\}, \quad (2)$$

where K_{22} is the constant of elasticity; $\Delta \varepsilon$ is the dielectric anisotropy; $\theta(z)$ is the director inclination angle and E is the electric field.

These equations were solved using numerical methods: expansion with respect to physical quantities with a fast Fourier transform, methods for reducing the differential equation to a system of linear equations, and the method of Jones matrices. As a result of work, stability diagrams of a fiber ring laser were obtained, namely, the dependence of the pulse amplitude on the applied voltage on the LC cells. Calculations were carried out for a LC cell of planar execution.

Formation of Laser Radiation Pulses for Encoding inFormation

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

The main purpose of this work is to study the characteristics of the sequence of output pulses and the distances between the peaks of the pulses of the output radiation of a ring fiber femtosecond laser with nonlinear evolution of mode polarization for encoding information on the phase of pulses. An example of coding information for the phase of pulses is figure 1, which shows the pulse sequence corresponding to the number 101010010100 in the binary system, which is 2708 in the decimal system. Large intervals between pulses correspond to 1, and small ones to 0.

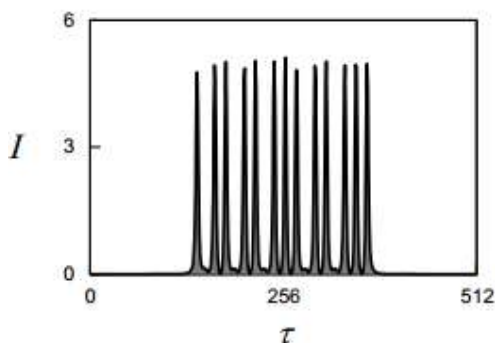


Figure 1 – Stable pulse sequence

In this paper, the mechanisms of pulse sequence formation were determined, and the stability of these pulses was investigated. Pulses sequences with a different phase were obtained by rotating the polarization of the radiation inside the resonator using wave plates. The theoretical dependences of the change in the phase of the pulses on the angle of rotation of the radiation polarization were also obtained. For more accurate adjustment of output pulse parameters, it is proposed to use liquid crystal (LC) cells as devices for controlling the polarization of radiation. Thus, the results of this paper may be of interest for the creation of future high-speed noise-free optical links operating on nonlinear principles.

**АЧХ коефіцієнта проходження звука замкнутого кільцевого
слоя в задаче излучения звука цилиндрическим источником
нулевого порядка**

Филиппова Н.Ю., ассистент
НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского», г. Киев

В настоящее время вопросы дифракции рассмотрены для одиночных, а также для систем электроупругих преобразователей в виде сферических, эллиптических, цилиндрических оболочек для случаев полного электродирования поверхностей преобразователей [1-2]. Однако конструкция гидроакустического преобразователя наряду с активным элементом неизбежно предполагает наличие согласующих волновых слоев, которые решают задачи не только технологического, но еще и волнового характера. Поэтому практический интерес представляют вопросы учета и влияния кольцевых технологических слоев, определенных волновых свойств, нанесенных на преобразователь.

Исследовано частотные зависимости коэффициента прохождения звука через цилиндрический слой, а также безразмерного импеданса излучения преобразователя. Показано, что наличие упругого слоя приводит к появлению дополнительного резонанса системы в области НЧ вследствие взаимодействия упругости цилиндрического слоя и присоединенной массы среды. Изменение упругих свойств слоя приводит к смещению резонанса, обусловленного взаимодействием слоя и присоединенной массой среды, в область более высоких частот. Использование «сквозной» постановки задачи позволяет учесть дополнительную упругость оболочки, что приводит к уточненному определению частоты дополнительного резонанса системы в сравнении с результатами работы [2], где используется традиционная постановка задачи (то есть учитывается только упругость кольцевого слоя).

1. N.Y. Filipova, A.G. Vlasyuk, O.V. Korzhik, Y.Yamnenko, *IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 391 (2016).
2. Н.Ю. Филиппова, *Вестник Забайкальского государственного университета*, 01 (104), 74 (2014).

Investigation of the Generation of Droplet Lasers

Sivni V.B., *Student*; Hnatenko O.S., *Assistant*
Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv

Liquid lasers are used as narrowband light sources in a visible range of wavelengths from 400 nm to 900 nm and have a very wide fluorescent optical band from 100 nm to 200 nm. There are already several commercially available laser dyes that have very high efficiency and allow miniaturization of the laser resonator. Due to the fact that modern laser technology is actively researching and developing so-called "flexible lasers", drip lasers, fig. 1, can give a certain breakthrough in this direction.

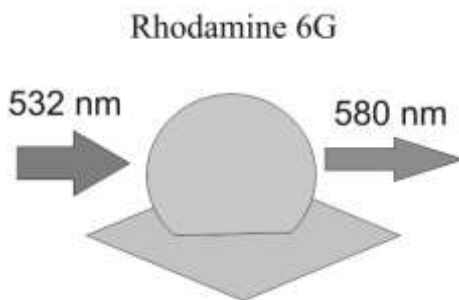


Figure 1 – Scheme of droplet laser

In this paper, the geometric parameters of liquid resonators of the type of a whisperer gallery are investigated and calculated theoretically. Namely, the laser dye Rhodamine 6G in the form of a drop on the substrate is pumped at a wavelength of 532 nm and emits a wavelength of 580 nm. The paper investigates the change in the wavelength of the radiation with a change in the droplet size. And also calculated the maximum angles of adhesion of the drop to the substrate.

The droplet laser can be configured by changing the size of the droplets - they will emit light with another wavelength. The commercial embodiment of the idea is still very far, but in any case, it opens up new ways to improve 3D displays and lasers.

Master Equation for a Localized Particle Driven by Poisson White Noise

Bohopolskyi V.M., *Student*; Shypilov N.E., *Student*; Denisov S.I., *Professor*
Sumy State University, Sumy

Fluctuations in nanosystems play an important role in forming their electric, magnetic, thermal and other properties. Usually, due to the central limit theorem of probability theory, these fluctuations obey Gaussian statistics. However, in some cases, e.g., when the system is subjected to Poisson white noise, that is a random sequence of δ -pulses, the system fluctuations are not Gaussian. Here, we derive the corresponding equation for the probability density function $P(x, t)$ of the system parameter $x(t)$ interpreted as a particle coordinate within an impenetrable box.

We assume that $x(t)$ satisfies the stochastic equation $dx(t)/dt = \xi(t)$, where $\xi(t)$ is Poisson white noise and $x(t) \in [-l, l]$ for all times $t \in [0, \infty)$. By introducing a discrete time $t = n\tau$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) with a time step τ , this equation can be rewritten in the differential form $\Delta x(t) = \Delta\eta(t)$, where $\Delta x(t) = x(t) - x(t - \tau)$ is the increment of the particle position and $\Delta\eta(t) = \int_{t-\tau}^t \xi(t') dt'$. Since Poisson noise $\xi(t)$ is white, the increments $\Delta\eta(n\tau)$ with different n are independent random variables distributed with the same probability density $p(\Delta\eta, \tau) = (1 - \lambda\tau)\delta(\Delta\eta) + \lambda\tau q(\Delta\eta)$. Here, λ is the rate of the Poisson counting process, $\delta(x)$ is the Dirac δ function, and $q(x)$ is an arbitrary probability density function.

Next, using the definition $P(x, t) = \langle \delta(x - x(t)) \rangle$, where the angular brackets denote averaging with respect to $\Delta\eta(t)$, and introducing the function $F(x) = -l, x$ and l if $x < -l, -l \leq x \leq l$ and $x > l$, respectively, we obtain $P(x, t) = \langle \delta[x - F(x(t - \tau) + \Delta\eta(\tau))] \rangle$. From this, calculating the ratio $[P(x, t) - P(x, t - \tau)]/\tau$ as $\tau \rightarrow 0$, one gets the master equation

$$\frac{1}{\lambda} \frac{\partial P(x, t)}{\partial t} = \int_{-l}^l P(x', t) [\delta(l + x)R(l + x') + \delta(l - x)R(l - x')] dx' + \int_{-l}^l P(x', t) q(x - x') dx' - P(x, t). \quad (1)$$

In the steady state, when $\lim_{t \rightarrow \infty} P(x, t) = P_{st}(x)$, Eq. (1) is reduced to

$$\int_{-l}^l P_{st}(x') [\delta(l + x)R(l + x') + \delta(l - x)R(l - x')] dx' + \int_{-l}^l P_{st}(x') q(x - x') dx' - P_{st}(x) = 0. \quad (2)$$

Energy Spectrum of a Particle in an Infinitely Deep Potential Well with a Non-flat Bottom

Husachenko A.V., *Student*; Ryzhkov O.S., *Student*; Denisov S.I., *Professor*
Sumy State University, Sumy

To model the quantum behavior of current carriers in heterogeneous nanostructures, different potential wells and barriers are widely used. Of particular interest are those (including artificial ones) for which the corresponding Schrödinger equation can be solved exactly. One of them is an infinitely deep potential well with a flat bottom defined as $U(x) = \infty$ for $|x| \geq a$ and $U(x) = 0$ for $|x| < a$. Here, we report on exact solution of the stationary Schrödinger equation in the case, when the potential bottom is non-flat, i.e., $U(x) = -fx$ ($f > 0$) if $|x| < a$. Physically, this means that the particle in the well is subjected to an external force f in the x -direction.

For this potential, the stationary Schrödinger equation reads

$$\frac{d^2}{dx^2}\psi(x) + \frac{2m}{\hbar^2}(E + fx)\psi(x) = 0, \quad (1)$$

where $\psi(x)$ is the wave function of the particle of mass m , \hbar is the Planck constant, and E is the particle energy. Introducing new variables

$$y = -\left(x + \frac{E}{f}\right)\left(\frac{2mf}{\hbar^2}\right)^{1/3}, \quad \Psi(y) = \psi\left(-\frac{E}{f} - y\left(\frac{\hbar^2}{2mf}\right)^{1/3}\right), \quad (2)$$

Eq. (1) is reduced to the well-known equation

$$\frac{d^2}{dy^2}\Psi(y) - y\Psi(y) = 0. \quad (3)$$

Its general solution is expressed through the Airy functions $\text{Ai}(y)$ and $\text{Bi}(y)$ as $\Psi(y) = \alpha\text{Ai}(y) + \beta\text{Bi}(y)$. The parameters α and β and the energy E are uniquely determined from the boundary conditions $\alpha\text{Ai}(y_{\pm}) + \beta\text{Bi}(y_{\pm}) = 0$, where $y_{\pm} = (\pm a - E/f)(2mf/\hbar^2)^{1/3}$, and the normalization condition $(\hbar^2/2mf)^{1/3} \int_{y_-}^{y_+} |\Psi(y)|^2 dy = 1$. For example, the discrete energy spectrum of the particle is determined as real solutions of the equation

$$\text{Ai}(y_-)\text{Bi}(y_+) - \text{Ai}(y_+)\text{Bi}(y_-) = 0 \quad (4)$$

with respect to E . In particular, if $f \rightarrow 0$ then Eq. (4) yields the known result $E_n = \pi^2 \hbar^2 n^2 / 8ma^2$ ($n = 0, 1, 2, \dots$), and if $f \rightarrow \infty$ then

$$E_n = -af + \left(\frac{9\pi^2 \hbar^2 f}{8m}\right)^{1/3} \left(n + \frac{3}{4}\right)^{2/3}. \quad (5)$$

Influence of Spin-polarized Current on Spin Waves in Ferromagnets

Shchotkin V.V., *Student*; Denisov S.I., *Professor*
Sumy State University, Sumy

It has been recently established that spin-polarized current can have a direct influence on the magnetization dynamics in conducting ferromagnets. This effect has quantum origin and is of great interest from both fundamental and applied viewpoints. In particular, it can be useful for developing magnetoresistance random access memory, magnetic logic elements and microwave devices, to name a few.

Under certain conditions, the dynamics of magnetization $\mathbf{M} = \mathbf{M}(x, t)$ ($|\mathbf{M}| = M = \text{const}$) in such ferromagnets is described by the equation [1]

$$\frac{\partial \mathbf{M}}{\partial t} = -\gamma \mathbf{M} \times \mathbf{H}_{\text{eff}} + \frac{\alpha}{M} \mathbf{M} \times \frac{\partial \mathbf{M}}{\partial t} - \frac{b_J}{M^2} \mathbf{M} \times \left(\mathbf{M} \times \frac{\partial \mathbf{M}}{\partial x} \right) - \frac{c_J}{M} \mathbf{M} \times \frac{\partial \mathbf{M}}{\partial x}. \quad (1)$$

Here, $\gamma (> 0)$ is the gyromagnetic ratio, $\alpha (> 0)$ is the dimensionless damping parameter, and the parameters b_J and c_J (measured in units of velocity) account the influence of spin-polarized current. To study spin waves in these materials, we assume that the effective magnetic field \mathbf{H}_{eff} is given by $\mathbf{H}_{\text{eff}} = H \mathbf{e}_z + A \partial^2 \mathbf{M} / \partial x^2$, where $H (> 0)$ is the magnetic field magnitude, \mathbf{e}_z is the unit vector along the z axis, and $A (> 0)$ is the exchange constant. Then, representing \mathbf{M} in the form $\mathbf{M} = M \mathbf{e}_z + \mathbf{m}_0 \exp(ikx - i\omega t)$, where $|\mathbf{m}_0| \ll M$ and k and ω are the wave number and frequency, respectively, from Eq. (1) one gets the dispersion relation

$$\omega = \gamma H + \gamma M A k^2 - b_J k - i[\gamma \alpha H + \gamma \alpha M A k^2 - (b_J \alpha - c_J)k]. \quad (2)$$

According to this result, spin waves always decay in ferromagnets without spin-polarized current. In contrast, in ferromagnets with spin-polarized current spin waves may increase, if the conditions

$$b_J \alpha - c_J > 0, \quad H < \frac{(b_J \alpha - c_J)^2}{(2\gamma \alpha)^2 M A} \quad (3)$$

hold simultaneously. This occurs for those spin waves whose wave numbers belong to the interval (k_-, k_+) , where

$$k_{\pm} = \frac{b_J \alpha - c_J}{2\gamma \alpha M A} \pm \sqrt{\left(\frac{b_J \alpha - c_J}{2\gamma \alpha M A} \right)^2 - \frac{H}{M A}}. \quad (4)$$

Temperature Dependence of the Drift Velocity of Ferromagnetic Nanoparticles in Viscous Fluids

Yermolenko A.S., *Student*; Bosenko V.S., *Student*; Denisov S.I., *Professor*
Sumy State University, Sumy

In Refs. [1, 2], the deterministic theory of drift of single-domain ferromagnetic nanoparticles in viscous fluids, which occurs due to the Magnus effect, has recently been developed and numerically confirmed. Here, we present analytical and numerical results obtained within the stochastic theory on the influence of temperature on the drift velocity.

Assuming that the nanoparticle is subjected to a periodic external force acting in the direction of x axis and a magnetic field nonuniformly rotating in the xy plane, we have shown in the limit of small Reynolds numbers that the nanoparticle drifts along the axis y with the dimensionless drift velocity

$$\langle s_y \rangle = \gamma \int_0^1 \langle \sin \theta_{st}(\xi) \sin \chi_{st}(\xi) \rangle \sin(2\pi\xi - \phi) d\xi. \quad (1)$$

Here, the angular brackets denote averaging over thermal fluctuations, $\gamma = \rho a^2 M H_m / 36\eta^2$ is the dimensionless parameter, ρ is the fluid density, a is the particle radius, M is the particle magnetization, H_m is the magnetic field magnitude, η is the dynamic viscosity of the fluid, and ϕ is the initial phase of the external force. The azimuthal angle in the steady state, $\theta_{st}(\tau)$ [$\tau = n + \xi, n = 0, 1, 2, \dots, \xi \in (0, 1)$], and the lag angle in the steady state, $\chi_{st}(\tau)$, are the solutions of the set of stochastic equations

$$\begin{aligned} \dot{\theta}(\tau) &= \alpha \cos \theta(\tau) \cos \chi(\tau) + \beta^2 \cot \theta(\tau) + \sqrt{2}\beta \zeta_1(\tau), \\ \dot{\chi}(\tau) &= \dot{\psi}(\tau) - \alpha \frac{\sin \chi(\tau)}{\sin \theta(\tau)} - \sqrt{2}\beta \frac{1}{\sin \theta(\tau)} \zeta_2(\tau) \end{aligned} \quad (2)$$

at long times ($n \gg 1$). Here, the overdot denotes the derivative with respect to the dimensionless time τ , $\alpha = \pi M H_m / 3\eta\Omega$, Ω is the angular frequency of the external force, $\beta^2 = k_B T / 4\eta a^3 \Omega$, k_B is the Boltzmann constant, T is the absolute temperature, and $\zeta_1(\tau)$ and $\zeta_2(\tau)$ are independent Gaussian white noises of unit intensity. Using Eqs. (1) and (2), we studied in detail the temperature dependence of the particle drift velocity and observed an unexpected reversal of the drift direction with changing the temperature.

1. S.I. Denisov, B.O. Pedchenko, *J. Appl. Phys.* **121**, 043912 (2017).
2. S.I. Denisov et al., *J. Magn. Magn. Mater.* **443**, 89 (2017).

Дослідження системи екранованих діелектричних хвилеводів із розподілим зв'язком за допомогою чисельного моделювання

Буряк І.А., аспірант; Кривець О.С., доцент; Журба В.О., доцент
Сумський державний університет, м. Суми

Електродинамічні системи із розподілим зв'язком знайшли широке застосування в електроніці НВЧ та на даний час достатньо відомі та вивчені [1]. Незважаючи на високий рівень спрямованості та невеликі КСХ, до недоліків спрямованих квазіоптичних відгалужувачів належить достатня залежність їх параметрів від геометричних характеристик, особливо на високих частотах. Тому питання оптимізації електродинамічних параметрів таких систем є актуальним.

У даній роботі проведено дослідження квазіоптичного спрямованого відгалужувача на базі двох діелектричних хвилеводів та отримані відповідні S-параметри із метою порівняння із експериментальними даними [1]. Досліджувана електродинамічна система реалізована двома екранованими та узгодженими із хвилеводним трактом полістироловими хвилеводами перерізом $7,2 \times 3,4$ мм², що розташовані на відстані a один від одного та на відстані b від металевого екрану. Чисельне моделювання проводилося методом FDTD у діапазоні частот 26-37 ГГц із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення [2], система досліджена при відстанях між хвилеводами $a = (0,4 \dots 5)$. У результаті спостерігається достатня кореляція із експериментальними даними та показана можливість механічного керування електродинамічними параметрами шляхом зміни відстані між хвилеводами. Також показана можлива перспектива реалізації на базі такої системи спрямованого відгалужувача із можливістю перемикання виводів електромагнітної енергії, а також побудови 3 дБ спрямованого відгалужувача із керованими параметрами за допомогою екранування.

1. G.S. Vorobiyov, A.S. Krivets, M.V. Petrovskiy, A.S. Radko, *23rd International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"*, pp. 211-212, 2013.
2. www.cst.com

Стабилизация равновесного состояния динамической системы при воздействии взаимно-коррелированных шумов

Витренко А.Н., *старший преподаватель*
Сумский государственный университет, г. Сумы

Рассматривается стохастическая динамическая система, которая описывается уравнением Ланжевена с линейной возвращающей силой и двумя взаимно-коррелированными гауссовскими белыми шумами, один из которых – аддитивный, другой – мультипликативный. Система имеет равновесное состояние в $x = 0$. При отрицательной взаимной корреляции ($-1 \leq r < 0$) каждый из шумов характеризуется критической амплитудой, при которой в системе индуцируется унимодальный-бимодальный переход. Ранее было обнаружено, если увеличивается от критической амплитуда σ_1 мультипликативного шума, расстояние между двумя максимумами плотности вероятности системы вначале возрастает от нуля, достигая наибольшего значения, затем убывает до нуля. При этом плотность вероятности системы по крайней мере в «теле» суживается, а её максимумы вытягиваются в острые пики-близнецы, которые впоследствии сливаются в одиночный пик в окрестности $x = 0$. Цель этой работы – изучить данное поведение системы подробнее. Для этого численно находится средний квадрат параметра состояния системы $\langle x^2 \rangle$, который характеризует разброс вероятностной массы относительно среднего $\langle x \rangle = 0$ не только в «теле» распределения, но и в его «хвостах». Построены графики зависимости $\langle x^2 \rangle$ от σ_1 при фиксированной амплитуде аддитивного шума и различных отрицательных значениях параметра r . Установлено: 1) существует пороговое значение для r , выше которого $\langle x^2 \rangle$ монотонно возрастает с увеличением σ_1 ; 2) при взаимной корреляции ниже пороговой средний квадрат $\langle x^2 \rangle$ с увеличением σ_1 вначале убывает (плотность вероятности системы в самом деле суживается), затем начинает возрастать (вероятностная масса в гауссовских «хвостах» становится определяющей); 3) при $r = -1$ средний квадрат $\langle x^2 \rangle$ монотонно убывает с увеличением σ_1 , причем $\langle x^2 \rangle \rightarrow 0$ при $\sigma_1 \rightarrow \infty$. Таким образом, с точки зрения второго статистического момента в изучаемой системе мультипликативный шум, коррелированный с аддитивным, может приводить к стабилизации равновесного состояния системы.

Minimal Set of Equations for Drift of Ferromagnetic Nanoparticles Induced by Magnetic Fields in Fluids

Kvasnina O.V., *Student*; Yermolenko A.S., *Student*;
Lyutyi T.V., *Associate Professor*; Denisov S.I., *Professor*
Sumy State University, Sumy

Recently, it has been established that ferromagnetic nanoparticles subjected to a periodic force and a non-uniformly rotating magnetic field can drift in a viscous fluid due to the Magnus effect. Because the drift phenomenon is of interest for applications such as particle separation, in this work we present a minimal set of equations for describing this phenomenon when a periodic force is induced by a gradient magnetic field.

We consider a spherical particle of radius a which is under the action of the gradient magnetic field $\mathbf{H}_g = gx \sin(\Omega t - \phi) \mathbf{e}_x$ and non-uniformly rotating magnetic field $\mathbf{H} = H_m(\cos \psi \mathbf{e}_x + \sin \psi \mathbf{e}_y)$. Here, g is the magnetic field gradient, x is the space coordinate, Ω and ϕ are the frequency and initial phase, respectively, H_m is the rotating field magnitude, the azimuthal angle ψ is a given periodic function of time with period $2\pi/\Omega$, and \mathbf{e}_x and \mathbf{e}_y are the unit vectors along the axes x and y . Assuming that the Reynolds numbers are small, the particle is single-domain, its magnetization $\mathbf{M} = M\mathbf{m}$ ($|\mathbf{M}| = M$) is “frozen” into the body and $\mathbf{m} = \cos \varphi \mathbf{e}_x + \sin \varphi \mathbf{e}_y$, we derived the following set of equations

$$\begin{aligned} \mathbf{u} &= (\mathbf{e}_x + (\gamma/\alpha)\dot{\varphi}\mathbf{e}_y) \cos \varphi \sin(2\pi\tau - \phi), \\ \dot{\varphi} &= \alpha[\sin(\psi - \varphi) - q \sin \varphi \sin(2\pi\tau - \phi)] \end{aligned} \quad (1)$$

for the dimensionless particle velocity $\mathbf{u} = \mathbf{v}/v_0$ (\mathbf{v} is the dimension velocity, $v_0 = 2Mga^2/9\eta$, η is the dynamic viscosity of the fluid) and the azimuthal angle φ of \mathbf{M} . Here, the overdot denotes the derivative with respect to the dimensionless time $\tau = \Omega t/2\pi$, $\alpha = \pi MH_m/3\eta\Omega$ and $\gamma = \rho a^2 MH_m/36\eta^2$ (ρ is the fluid density) are the dimensionless parameters, and the time-dependent parameter q is defined as

$$q = (g/H_m)[x(0) + (2\pi v_0/\Omega) \int_0^\tau u_x(\tau') d\tau'], \quad (2)$$

where $\mathbf{x}(0)$ is the initial \mathbf{x} coordinate of the particle. The dimensionless particle drift velocity in the steady state, $\mathbf{u}_{dr} = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_n^{n+1} \mathbf{u}(\tau') d\tau'$, can be calculated by solving Eqs. (1) together with (2).

The Response of an Uniaxial Ferromagnetic Nanoparticle to a Spin-polarized Current

Krekshyn D.M., student; Lyuty T.V., Associate Professor
Sumy State University, Sumy

The actuality of the considered problem is originated from the practically reasons firstly. Since bistable states of ferromagnetic particle magnetic moment can be associated with the binary bit, such particles are widely used in modern media-devices. In this regard one should underline the patterned media HDD and MRAM devices. The writing process here physically needs the remagnetization of a particle, which can be performed in a few ways. The simplest of them imply the application of the external field. But actually the remagnetization can be assisted by heating or spin-polarized current.

The deep understanding of the magnetic moment forced dynamics is a key to fast and reliable writing process. In this study we use the Landau-Lifshitz-Gilbert equation to explore the stable motion of the nanoparticle magnetic moment. The action of spin-polarized current is interpreted on the effective field term in the Slonczewski-Berge form $\mathbf{h}_c = \beta \mathbf{s} \times \mathbf{m}$, where β is a coefficient, which is proportional to the current, \mathbf{s} is the vector of spin polarization, \mathbf{m} is the nanoparticle magnetic moment. It is implied that a circularly polarized field, rotated in the plane, perpendicular to the easy axis, can be also applied.

The analytical results have been obtained for the following cases. **1.** The permanent spin-polarized current flow in the way, when spin polarization \mathbf{s} is *parallel* to the easy axis. In addition, the circularly polarized field is applied as well. **2.** The alternating spin-polarized current flow in the way, when spin polarization \mathbf{s} is parallel to the easy axis. Here small anisotropy limit is considered. **3.** The alternating spin-polarized current flow in the way, when spin polarization \mathbf{s} is *perpendicular* to the easy axis. In addition, the circularly polarized field is applied as well.

The derived exact expressions allow us to establish the relationship between the parameters of the external action and the \mathbf{m} trajectory characterizations. In turn, now we can analyze the conditions of the optimal control of the magnetic moment dynamics. In particular, together with the common amplitude-frequency characteristics of the field the current density is discussed. This especially interesting because of the current can produce the particle heating, which assist the writing process as well.

Застосування теоретико-групового аналізу для дослідження флуоресценції поліметинових барвників

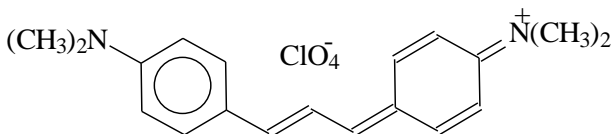
Шевченко Ю.О.¹, студент; Лопаткін Ю.М.¹, професор;

Кондратенко П.О.², професор

¹Сумський державний університет, м. Суми

²Національний авіаційний університет, м. Київ

Для виявлення природи флуоресценції барвника при переходах з вищих збуджених станів в дослідженнях енергетичної структури молекул використовувався теоретико-груповий аналіз. Катіони поліметинових барвників (ПМБ) в транс-конфігурації описуються групою симетрії C_{2v} .



Отримано дані щодо кількості та симетрії молекулярних орбіталей (МО) σ - і π - типу. Як впливає з результатів, в групі C_{2v} σ -МО і π -МО відносяться до різних уявлень.

Таблиця 1 – Дозволені за симетрією групи C_{2v} квантові переходи з поглинанням або випромінюванням світла

МО	$\sigma-A_1$	$\pi-A_2$	$\sigma-B_1$	$\pi-B_2$
$\sigma-A_1$	$y-A_1$	$-A_2$	$x-B_1$	$z-B_2$
$\pi-A_2$	$-A_2$	$y-A_1$	$z-B_2$	$x-B_1$
$\sigma-B_1$	$x-B_1$	$z-B_2$	$y-A_1$	$-A_2$
$\pi-B_2$	$z-B_2$	$x-B_1$	$-A_2$	$y-A_1$

Як впливає з табл.1, квантові переходи між двома π -МО завжди дозволені і поляризовані в площині молекули вздовж осі x або y . Аналогічно між двома σ -МО. А вже квантові переходи $\pi \leftrightarrow \sigma$ можуть бути поляризованими уздовж осі z , або заборонені по симетрії.

Звичайно, крім заборони квантових переходів за симетрією може існувати просторова заборона. Вона проявляється в тому випадку, коли МО, між якими розраховується квантовий перехід електрона, просторово розділені і не перекриваються.

Дослідження природи аномальної флуоресценції поліметинових барвників

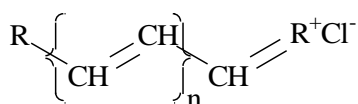
Белоус Д.О.¹, студент; Лопаткін Ю.М.¹, професор;

Кондратенко П.О.², професор

¹Сумський державний університет, м. Суми

²Національний авіаційний університет, м. Київ

Довгий час вважали, що азулен – єдина сполука з аномальною флуоресценцією, смуга якої в спектрі випромінювання лежить вище першої смуги поглинання молекули. Однак, синтез нових барвників для створення лазерів і їх дослідження показали, що азулен в цьому плані далеко не унікальний. Одним з таких нових класів барвників є поліметинові барвники (ПМБ):



Виявилось, що деякі молекули з великого класу ПМБ люмінесціюють в області прозорості барвника між першою і наступними смугами поглинання. Ці смуги умовно названі флуоресценцією типу $S_2 \rightarrow S_0$. Природа збуджених станів ПМБ досліджена недостатньо, і причина флуоресценції барвників з вищих збуджених станів залишається нез'ясованою. Тому в даній роботі проведені відповідні квантово-хімічні дослідження, які б змогли вирішити дану проблему. Квантові переходи $S_0 \rightarrow S_2$ і $S_0 \rightarrow S_3$ слабкі й непомітні на тлі інших смуг поглинання. Звичайно, під впливом розчинника сила осцилятора в цих смугах може дещо змінитися, але вони все одно залишаться слабкими.

Щоб зрозуміти причину, чому сила осцилятора в другій і третій смугах поглинання мала, розглянуто вид відповідних молекулярних орбіталей. На підставі отриманих результатів дослідження флуоресценції з вищих збуджених станів молекул ПМБ можна стверджувати, що необхідною умовою для появи $S_3 \rightarrow S_0$ флуоресценції є відсутність $S_0 \rightarrow S_1$ (ν)-поглинання в області $S_0 \rightarrow S_3$ -переходу, в той час як достатньою умовою може бути відповідна симетрія збуджених станів, яка може накладати заборону на $S_3 \rightarrow S_1$ релаксаційний процес.

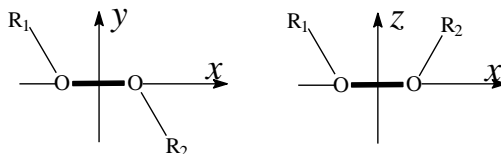
Елементи пам'яті на основі симетричних молекул пероксиду

П.О. Кондратенко¹, *професор*; Ю.М. Лопаткін², *професор*;
Т.М. Сакун¹, *доцент*; Г.Г. Малащенко², *аспірант*;
Г.Є. Марінченко¹, *доцент*

¹ Національний авіаційний університет, м. Київ

² Сумський державний університет, м. Суми

Розвиток комп'ютерної техніки і мініатюризація її елементів вже поставили питання про можливість використання окремих молекул як елементів інтегральних схем. В [1, 2] було показано, що енергетична структура пероксидів з загальною формулою молекули



характеризуються двоюмною потенціальною поверхнею при зміні величини двогранного кута $R_1-O-O-R_2$. При цьому перехід від однієї потенціальної ями до іншої може супроводжуватись зміною напрямку дипольного моменту молекули на протилежний. У зв'язку з цим в даній роботі автори вивчали можливість взаємоперетворень між двома конфігураціями в симетричних молекулах ($R_1=R_2$), поміщених в зовнішнє електричне поле, з метою розробки рекомендацій щодо створення молекулярного перемикача.

Величина дипольного моменту μ і висота бар'єру (eV) складає: при $R=NH_2$ 0.2676 D і 0,4378 eV, при $R=NO_2$ 0.8894 D і 0,5034 eV, при $R=NC$ 0.9398 D і 0,1915 eV, при $R=Br$ 0.8763 і 0,62 eV.

В доповіді обговорюється конструкція комірки пам'яті і можливість використання таких молекул.

1. А.Г. Малащенко, Т.Н. Сакун, П.А. Кондратенко, Ю.М. Лопаткін, *Ж. нано- електрон. фіз.* **5** №4, 04069 (2013).
2. Petro O. Kondratenko, Yuriy M. Lopatkin, Anna G. Malashenko, Tatyana N. Sakun, *Phys. Chem. An Indian J.* **9**, No 5, 160 (2014).

СЕКЦІЯ 2

«Наноматеріали: властивості та застосування»

Наносистеми ZnO та їх сенсорні характеристики

Манжола Б.В., студент

Сумський державний університет, м.Суми

На сьогоднішній день для детектування і аналізу небезпечних, токсичних газів в системах екологічного моніторингу, життєзабезпечення, раннього виявлення і запобігання пожежі широко використовуються напівпровідникові газові сенсори резистивного типу. У більшості випадків для створення чутливих елементів газових сенсорів використовуються оксиди різних металів, один з таких є ZnO. Проведення досліджень процесів формування і з'ясування закономірностей впливу режимів росту на електрофізичні параметри наноструктурованих плівок ZnO є актуальною задачею газової сенсоріки [1].

Фізичний принцип газової чутливості оксидних напівпровідників полягає в зміні провідності цих матеріалів при адсорбції різних газів на їх поверхні. Оксиди металів, в тому числі ZnO, внаслідок нестехіометрії ґратки мають певний дефіцит кисню, тому вільні кисневі комірки утворюють донорні стани. Якщо поверхню ZnO підготувати так, щоб концентрація вільних комірок поверхні залежала від парціального тиску газу, то цей метал-оксид можна застосовувати в якості газочутливого сенсора.

В цій роботі досліджуються наносистеми ZnO типу нейронних мереж. Ці структури були отримані методом модифікованого магнетронного розпилення при різних тисках та температурах, після цього відпалювались при 350-400 °C. Були отримані вольт-амперні характеристики наносистем ZnO за допомогою комплексу приладів та власного програмного забезпечення на основі Arduino при зміні умов середовища, таких як температура, тиск, наявність газів інших речовин. Отримані результати дозволяють відслідкувати сенсорні властивості ZnO при різних параметрах середовища.

Керівник: Космінська Ю.О., доцент

Консультант: Перекрестов В.І., професор

1. R. Moos, *Sensors* **9**, 4323 (2009).

Моделювання росту наносистем металів кінетичним методом Монте-Карло

Крячок С.Л., студент

Сумський державний університет, м. Суми

Комп'ютерне моделювання є важливим інструментом для дослідження механізмів росту тонких плівок на атомарному рівні.

В цій роботі проводиться комп'ютерна імітація росту плівок металів для пояснення впливу технологічних параметрів експерименту (температура підкладки, швидкість осадження та споріднені параметри) на формування отриманих структур поблизу рівноваги. Для цього використовується програмний код NASCAM (NAAnoSCAleModeling) [1], який базується на кінетичному методі Монте-Карло (КМК). В основу методу покладена пропорційність ймовірності процесів їх швидкості. NASCAM дозволяє отримувати комп'ютерну модель структур, отриманих в реальних експериментах, а також знаходити їх деякі кількісні характеристики, такі як густину, пористість, шорсткість поверхні та ін.

Для моделювання росту плівок NASCAM використовує такі основні елементарні процеси ("події"):

- вільна дифузія атомів на підкладці;
- відрив атому від острівця;
- стрибок атому вгору і вниз між моноатомними шарами;
- випаровування з підкладки.

Головною перевагою КМК є те, що цей метод не враховує коливальний рух атомів і тому може бути використаний для моделювання еволюції системи протягом більш тривалого періоду часу порівняно з методом молекулярної динаміки, для якої поки що можливі тільки короткі проміжки часу, близько 10^{-9} с. Залежно від кількості атомів в системі поряд з деякими іншими параметрами, такими як температура та властивості атомів, емпіричний час при використанні КМК може складати навіть сотні та тисячі секунд.

Керівник: Космінська Ю.О., доцент

1. S. Lucas, P. Moskovkin, *Thin Solid Films* **518**, 5355 (2010).

Багатокомпонентні наноструктурні покриття (TiAlSiY)N з надвисокою твердістюШахова І.М., студент; Смирнова К.В., аспірант;

Бондар О.В., доцент

Сумський державний університет, м. Суми

До ріжучих інструментів та різноманітних деталей, що використовуються у металургійній промисловості та в аерокосмічній галузі останнім часом висуваються підвищені вимоги щодо їх ефективності та витривалості при експлуатації в екстремальних умовах. Вони повинні демонструвати високу твердість, стійкість до окислення, термічну стійкість, а також витримувати великі навантаження без руйнування. Для поліпшення характеристик основного матеріалу ріжучих інструментів найчастіше застосовують нанесення на його поверхню шару захисного покриття. Останнім часом у якості таких покриттів широко застосовуються системи багатокомпонентних нітрідів.

(TiAlSiY)N покриття отримували методом катодно-дугового випаровування із парової фази TiAlSiY мішені у атмосфері азоту. До підкладки був прикладений потенціал зміщення -200 В. Катод мав наступний склад: Ti - 58 ат.%, Al - 38 ат.%; Si - 3 ат.%, Y - 1 ат.%. Покриття товщиною приблизно 9 мкм осаджувалися на сталеві підкладки протягом 2 годин. Аналіз кристалічної структури проводився за допомогою рентгенівської дифрактометрії. Топографія поверхні отриманих зразків досліджувалась методом растрової електронної мікроскопії. Елементний склад вивчався з використанням енерго-дисперсійного аналізу. Мікротвердість вимірювалася за допомогою індентора методом Вікерса.

Результати досліджень демонструють формування у покриттях твердого розчину (Ti, Al)N та текстури росту з віссю [111]. В отриманих зразках спостерігається весь елементний склад мішені, а концентрація азоту близька до 50%. При обраних параметрах осадження у покриттях формується відносно однорідна структура з наявними крапельними фракціями. Осаджені зразки демонструють твердість 49 ± 1.2 ГПа, що дозволяє класифікувати їх як надтверді та робить їх перспективними з точки зору використання у якості захисних покриттів.

Керівник: Погребняк О.Д., професор

Структурні особливості та фізико-механічні властивості аморфноподібних покриттів $\text{AlN-TiB}_2\text{-TiSi}_2$

Біловол К.О., студент; Бондар О.В., доцент
Сумський державний університет, м. Суми

Тенденції постійного зростання вимог щодо продуктивності і якості деталей механізмів зумовлюють високі вимоги до матеріалів покриттів, а саме високу твердість і стійкість до окислення. Останнім часом сформувалася тенденція до розробки покриттів, що мають у своєму складі п'ять і більше елементів; правильно підібрана комбінація яких обумовлює унікальні переваги таких покриттів перед покриттями з меншою кількістю компонентів.

Введення добавки TiSi_2 в композит AlN-TiB_2 за допомогою методу імпульсного магнетронного розпилення мішені дозволяє отримати покриття $\text{AlN-TiB}_2\text{-TiSi}_2$, яке, ймовірно, за рахунок формування аморфноподібної структури, володітиме комплексом властивостей, що зробить його перспективними при використанні в якості дифузійного бар'єру, у вигляді самостійного захисного елемента або у якості контактуючого шару в багатошарових зносостійких покриттях.

Розмір областей впорядкування після осадження покриття склав близько 1 нм, що відносить структурний стан досліджуваних покриттів до аморфноподібного. При високотемпературному відпалі ($900\text{ }^\circ\text{C}$ і $1300\text{ }^\circ\text{C}$) спостерігається кристалізація покриттів з утворенням кристалітів розміром 11-25 нм. Відпал до температури $1300\text{ }^\circ\text{C}$ призводить до принципової зміни картини дифракційного спектра – основними складовими покриття стають оксид алюмінію Al_2O_3 і до 30 об.% залишкового AlB_2 .

Нанотвердість H і модуль пружності E_f для покриттів після осадження мали значення 15,20 ГПа і 177,6 ГПа, а після відпалу при $900\text{ }^\circ\text{C}$ дорівнювали 24,41 ГПа і 212,46 ГПа, відповідно.

Нанокompозитне керамічне покриття системи $\text{AlN-TiB}_2\text{-TiSi}_2$ може бути використано в якості ефективного захисного покриття для ріжучого інструменту, що дозволить підвищити зносостійкість інструменту в 1,32 рази при температурі в зоні різання до $1300\text{ }^\circ\text{C}$.

Керівник: Погребняк О.Д., професор

**Чорнила на основі наночасток Ag, ZnO, Cu₂ZnSnS₄ для друку
електронних схем**

Гузенко О.І., аспірант; Доброжан О.А., асистент;
Опанасюк А.С., професор; Єрмаков М.С., студент;
Ярошенко Я.В., студент
Сумський державний університет, м. Суми

Останнім часом виготовлення елементів побуту переходить від адитивного методу виробництва до формування цілісного об'єкта методом 3 Друку. Це пов'язано з тим, що цей метод дає змогу здешевити і пришвидшити виробництво, а в подальшому перенести виготовлення нескладних предметів побуту безпосередньо в людські домівки. Технологія друку чорнилами на основі наночастинок металів та напівпровідників дає змогу швидко та дешево створювати електричну розводку і напівпровідникові елементи приладів сенсорики, прозорої електроніки та геліоенергетики.

Досить перспективним та достатньо дешевим методом отримання чорнил на основі наночастинок металевих (Ag) та напівпровідникових (ZnO, Cu₂ZnSnS₄) сполук є колоїдний метод. Він створює можливість синтезувати наноматеріали із заданими формою, розмірами та фазовим складом. З аналізу літературних джерел, можна зробити висновок, що контроль заданих параметрів частинок відбувається за допомогою зміни температурних режимів процесу, концентрації початкових прекурсорів та часу реакцій. Для формування чорнил на основі колоїдних наночастинок нами використовувалися розчинники з низькою токсичністю, які мають низькі температури випаровування (звичайно до 150 °С) такі як гексан, вода, ацетон. Це створює можливість нанесення чорнил, що містять наноматеріал, на різні типи поверхонь, включаючи гнучкі, а сам процес накладання шарів робить енергоощадним.

В результаті синтезу нами були отримані колоїдно стабільні наночастинки Ag, ZnO, Cu₂ZnSnS₄, які при заданих параметрах синтезу мали малий розбіг за розмірами. В подальшому були досліджені їх морфологічні властивості та фазовий склад. Отже, в роботі були визначені основні характеристики синтезу наночастинок Ag, ZnO, Cu₂ZnSnS₄ для подальшого створення на їх основі чорнил з оптимальними для друку розводки та пасивних і активних елементів електронних схем параметрами.

Вивчення структури поверхні полікристалічних плівок Zn_2SnO_4

Салогуб А.О., студент; Опанасюк А.С., професор
Сумський державний університет, м. Суми

Полікристалічні плівки Zn_2SnO_4 були отримані хімічним методом пульсуючого спреї-піролізу. Джерелом Sn та Zn слугували водні розчини 0,25 М пентагідратутетрахлориду олова і 0,5 М гексагідрату нітрату цинку. Температура скляної підкладки при нанесенні шарів Zn_2SnO_4 змінювалась в діапазоні 250-450 °С з кроком в 50 °С.

У подальшому вивчалася структура поверхні напівпровідникових плівок Zn_2SnO_4 з використанням 3-D конфокального лазерно-скануючого мікроскопу (CLSM) Keyence VK-X200. Безконтактне сканування CLSM сфокусованим лазерним пучком, дозволило виконати 3-D реконструкцію поверхні зразків. При цьому отримані 2-D зображення (рис. 1) показали змінюваність шорсткості поверхні та пористості плівок з підвищенням температури підкладки.

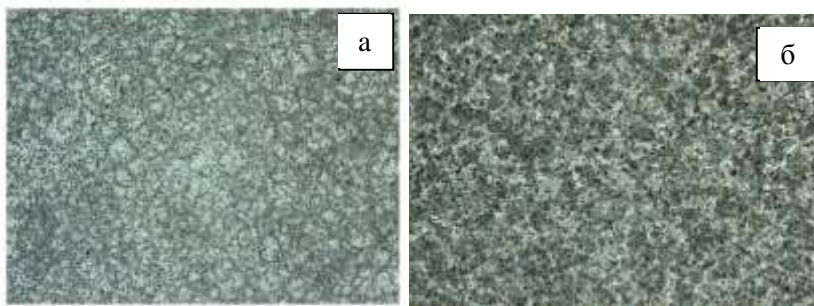


Рисунок 1 – 2-D зображення поверхні Zn_2SnO_4 для (а) 250 °С та (б) 450 °С

Таким чином, в роботі досліджена шорсткість поверхні, як критичного параметра, що додатково визначає властивості плівок під час нанесення. Аналіз отриманих за допомогою CLSM 2-D та 3-D зображень свідчить про підвищення пористості поверхні плівок Zn_2SnO_4 з ростом температури підкладки.

**Синтез і характеристика нових високоентропійних сплавів
(TiZrHfNbTa)N/MoN з багат шаровою архітектурою**

Клюшниченко Д.В., студент; Багдасарян А.А., старший викладач
Сумський державний університет, м. Суми

Нова концепція легування, відома як високоентропійні сплави (ВЕС) є новим класом перспективних матеріалів, які мають широкий спектр унікальних властивостей. Основними перевагами ВЕС є висока ентропія змішування, яка може сприяти стабілізації неупорядкованого твердого розчину та запобігати утворенню впорядкованих сполук. У цій роботі ми досліджували нові високоентропійні сплави (TiZrHfNbTa)N/MoN з унікальною наноламінованою структурою.

Покриття (TiZrHfNbTa)N/MoN наносили на шліфовану підкладку (сталь 12X18H9T), вакуумно-дуговим осадженням. Робочий тиск газу, який використовувався при осадженні, становив 0,53 Па, до підкладки було прикладено негативну напругу від -100 до -300 В. Вплив потенціалу зміщення підкладки на мікроструктуру та механічні властивості покриття (TiZrHfNbTa)N/MoN досліджували за допомогою методів скануючої електронної мікроскопії, енергодисперсійної спектроскопії, рентгеноструктурного аналізу, трансмісійної мікроскопії, та вимірюванням твердості. Типові рентгенівські дифракційні картини покриття (TiZrNbTaHf)N/(MoN), показують присутність гранецентрованої кубічної решітки γ -Mo₂N (111), (200) та (311) разом з піками (TiZrNbTaHf)N (111), (200), (220) і (311). При збільшенні потенціалу зміщення підкладки до -200 В, інтенсивність піків (111) збільшувалася, демонструючи бажаний ріст у напрямках (200), (220), (222). Незначне зменшення розміру зерен (з 11 нм до 9 нм для шару (TiZrNbTaHf)N та для шару γ -Mo₂N з 6,5 нм до 5 нм) при більшому потенціалі зміщення (-200 В), пов'язано зі збільшенням швидкості зародження іонно-індукованих поверхневих дефектів. Твердість та модуль Юнга багат шарового нітридного покриття (TiZrNbTaHf)N/(MoN), нанесених при -100 В, складають 29 і 306 ГПа, при -200 В: 33 та 315 ГПа та при -300 В: 20 та 349 ГПа відповідно. Відносно високу твердість можна пояснити ущільненням плівок (внаслідок енергетичного бомбардування іонами), вищою інтенсивністю (111) більш замкнутих піків і зменшенням розміру зерна.

Зміни структурно-морфологічних характеристик при окисленні наносистем Zn

Ковтун А.І., студент;

Сумський державний університет, м. Суми

Процес окислення вихідних наносистем Zn проводився в кварцовій трубці до якої підведені системи розігріву, вакуумної відкачки і напуску суміші таких газів, як CO₂ і O₂, а також повітря. Температура зразків вимірювалася за допомогою термопар. При цьому в процесі окислення контролювалася провідність наносистем. Результат окислення та структурно-морфологічні характеристики вихідних структур Zn контролювалися за допомогою скануючої та просвітлюючої електронної мікроскопії, дифракції електронів, рентгено-фазового аналізу, фотолюмінесценції, а динаміка змін елементного складу визначалася рентгенівським енерго-дисперсійним аналізом. Для окислення наносистем в атмосфері повітря використовувалися режими повільного (0.27 ÷ 0.35 град./с) та прискореного (16 ÷ 21 град./с) початкового розігріву до температури окислення. Останній із режимів був реалізований при внесенні зразків в попередньо розігріту до температури 350 °С область трубки. Температура окислення в суміші газів CO₂ і O₂ змінювалася в межах від 200 до 400 °С, а при окисленні в атмосфері повітря – від 80 до 350 °С. При повільному початковому розігріві до температури окислення на поверхні нанониток спостерігається формування розвинутої системи наростів ZnO.

При переході від малої (~ 0.27 ÷ 0.35 град./с) до підвищеної (~ 16 ÷ 21 град./с) швидкості початкового розігріву до температури подальшого повного окислення (350 °С) відбувається перехід до наносистемам ZnO зі слабо виступаючими наростами округлої форми. Можна припустити, що відсутність добре виражених наростів при прискореному розігріві пояснюється зменшенням дифузійних процесів за рахунок швидкого окислення поверхні ниток.

Співвідношення величини УФ і зелених піків фотолюмінесценції вказує на більш розвинену систему структурних дефектів в недоокислених зразках, а також в наносистемах ZnO, окислення яких відбувалося при прискореному початковому розігріві.

Керівник: Перекрестов В.І., професор

**Мікроструктура та фізико – хімічні властивості
високоентропійних сплавів, які містять міжвузлові атоми**

Пуліка В.І., студент; Багдасарян А.А., старший викладач
Сумський державний університет, м. Суми

Тенденції постійного зростання вимог, до надійності металообробної техніки та механізмів, обумовлює необхідність розвитку принципово нових концепцій синтезу або удосконалення матеріалів покриттів, а саме вимоги к стійкості до корозії, високої твердості та стійкості до окислення.. Останнім часом високоентропійні багатокомпонентні сплави (high-entropy alloy) привернули велику увагу дослідників завдяки своїй унікальній багатоеlementній структурі твердого розчину і чудовими властивостями.

Основні методи отримання захисних покриттів на основі високоентропійних сплавів з різною товщиною: термічне розпилення, дугове зварювання, магнетронне розпилювання, вакуумно-дугове осадження та лазерне зварювання. Проведений аналіз ряду статей, спрямованих на вивчення механічних характеристик нітридних покриттів багатокомпонентних сплавів, показав, що основними факторами, що впливають на значення твердості, є: кількість складових елементів, які спроможні формувати тверді розчини, а також параметри умов осадження (тиск робочого газу та потенціал зміщення підкладки).

Встановлено, що так матеріали навіть при високих температурах зберігають стабільність фазової структури та механічні характеристики. Так наприклад, твердість CoCrCuFeNi покриттів практично не змінюється після відпалу при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом п'яти годин. Підвищення температури до $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ призводить до зменшення твердості на 5,5%.

Плівки на основі високоентропійних сплавів, як правило також можуть демонструвати гарну корозійну стійкість. Так, коефіцієнт корозії CuCrFeNiMn покриття, зануреному в 1 моль/л розчину сірчаної кислоти протягом 100 годин при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, становив лише 0,074 мм/год, що значно нижче, ніж у нержавіючій сталі 304.

Дослідження наноструктурних багат шарових CrN/MoN покриттів в залежності від умов осадження

Лісовенко М.О. студент; Бондар О.В., доцент
Сумський державний університет, м. Суми

Актуальним напрямком матеріалознавства є наноструктурні покриття на основі перехідних металів. Для досліджень нами було обрано поєднання нітридів молибдену і хрому. Така система у багат шаровому поєднанні, при підборі оптимальної товщини бішару CrN/MoN забезпечить новий якісний рівень захисних покриттів ріжучих елементів.

Багат шарові покриття MoN/CrN були отримані методом вакуумно-дугового осадження. Всі покриття демонструють стовпчасту структуру росту високим ступенем структурованості. Підвищення негативного потенціалу на підкладці до -300 В привело до зміни переважної кристалографічної орієнтації з (311) на більш стійку орієнтацію (111).

Зменшення товщини бішару призводить до зменшення розмірів кристалітів до 12 нм. Профілі розподілу елементів по глибині, отримані з результатів РЗР аналізу, підтверджують рівномірність шарів і гарну якість покриттів.

Трибологічні випробування покриттів показали, що збільшення питомого обсягу міжфазних границь, а також нанорозмірні ефекти, забезпечують високу адгезійну стійкість і рівномірне стирання покриттів. Найбільше значення твердості покриттів 42,3 ГПа було отримане при зменшенні товщини бішару до 20 нм та від'ємному потенціалі підкладки -150 В.

Таким чином, можна підсумувати, що отримані зразки мають стійку структуру і покращені властивості, і є перспективними для реалізації ряду задач стосовно захисту виробів з різними функціональними призначеннями, насамперед для підвищення продуктивності і збільшення терміну служби ріжучих інструментів, а також деталей машин і механізмів, що працюють в умовах підвищеного тертя і агресивного середовища.

Керівник: Погребняк О.Д., *професор*

Аналіз впливу параметрів магнетронного розпилення на формування наноструктурних покриттів TaB₂

Шелест І.В., *аспірант*; Буранич В.В., *магістр*; Бровко Д.Ю., *студент*;
Кравченко Я.О., *аспірант*
Сумський державний університет, м. Суми

Тонкі покриття на основі боридів перехідних металів мають високу температуру плавлення та твердість, і знайшли широкий діапазон використання у різних галузях промисловості, за рахунок ефективного підвищення захисних властивостей. Для нанесення даних покриттів високу популярність здобув метод нереактивного магнетронного розпилення композиційних мішеней за участю іонного бомбардування, за рахунок високої варіативності в плані регулювання параметрів.

В рамках дослідження порівнювалися магнетронні розпилювальні системи (МРС) на постійному струмі (DC) і високій частоті (RF). Для виділення характерних особливостей варіювали такі параметри як: потенціал зсуву подається на підкладку U_s , щільність іонного струму j_s і температура підкладки T_s . Оцінку структури проводили методами рентгенографічного аналізу.

Результати показали істотний вплив високоенергетичних частинок на формування на поверхні підкладки зростаючих плівок. Ключовим фактором утворення структури яких, є енергія падаючих частинок E_{bi} яка визначається параметрами МРС [1]. За рахунок різниці процесів збудження плазми і відносини концентрацій іонів до нейтральних частинок при масопереносі, в різних магнетронних системах, змінюється дана енергія.

В роботі показано що сильнотекстуровані нанокристалічні плівки TaB₂ з переважною текстурою зростання площиною (00.1), що характерна для даного структурного типу, формуються при різних потенціалах зміщення прикладеного до підкладки: +50 В при RF-магнетронном розпиленні і -50 В при DC, за сталою температурою підкладки $T_s \sim 500$ °С. Плівки з цією орієнтацією мають твердість в 1,5-2 рази вище ніж для масивного стану або для плівок, що не володіють даною структурою.

1. J. Musil, *Surf. Coat. Technol.* **125**, 322 (2000).

Синтез надтвердих плівок дибориду танталу методом магнетронного розпилення на постійному струмі

Шелест І.В., *аспірант*; Буралич В.В., *студент*;
Єпіфанов І.Н., *студент*; Кравченко Я.О., *аспірант*
Сумський державний університет, м. Суми

Матеріали модифіковані покриттями боридів та боридонітрідів набувають високої міцності і температурної стабільності, добре зарекомендували себе у сфері машинобудування. Надтвердість у даних плівках обумовлюється особливим наноструктурним станом з переважною орієнтацією зростання зерен по відношенню до кристалографічної площини. Для отримання покриттів дибориду танталу використовували DC-магнетронну систему для реактивного синтезу з композиційних мішеней, що схематично представлена на рисунку 1.

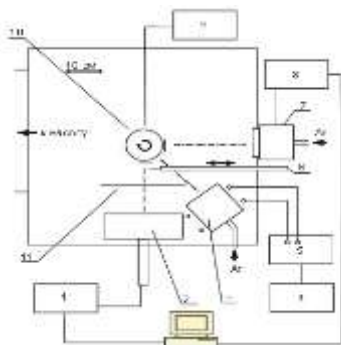


Рисунок 1 – Схема мультифункціональної кластерної установки: 1 - джерело живлення магнетрона, 2 - магнетрон, 3 - ВЧ джерело з індуктивно зв'язаною плазмою, 4 - ВЧ-генератор, 5 - узгоджувальний пристрій ВЧ-генератора, 6 - зонд Ленгмюра, 7 - іонне джерело, 8 - джерело живлення постійного струму, 9 - джерело живлення для поляризації зразків, 10 - система обертання зразків, 11 - заслінка.

В ході даної роботи були отримані нанокристалічні плівки дибориду танталу з високим ступенем текстури площиною (00.1) та було показано суттєвий вплив параметрів розпилення на зростаючу поверхню.

**Дослідження колективних ефектів
при обертальному русі наночастинок**

Ющенко О.В., доцент; Руденко М.А., студент
Сумський державний університет, м. Суми

Останнім часом увагу вчених все частіше привертають проблеми, пов'язані з описом руху наночастинок. Це пов'язано з новітніми технологічними розробками із застосуванням наночастинок. Завдяки контрольованому руху наночастинок можна створювати нові матеріали із заданими властивостями та архітектурою, збирати мікро- та нано-пристрої, контролювати різні каталітичні реакції, організовувати доставку ліків в конкретні точки живих організмів.

При русі ансамблю наночастинок важливу роль відіграють колективні ефекти. Виявлено, що за рахунок активного обертального руху між наночастинками виникає ефективна взаємодія, що призводить до різних станів системи, які можна подати, як фазові переходи.

За основу моделі ми обрали рівняння Ланжевена для поступальної та кутової швидкості руху наночастинок. Ми зосередились на дослідженні такого режиму руху наночастинок, коли надлишок енергії приводить до обертання частинок, що діє на їх поступальну рухливість.

В результаті дослідження була побудована синергетична система чотирьох диференційних рівнянь, що дозволяє представити перехід між обертальним та змішаним режимами руху частинок. В якості параметрів порядку було використано швидкість поступального руху частинок та кутову швидкість обертання. В рамках адіабатичного наближення вказана система зводилася до рівняння Ландау-Халатнікова, вирішуючи яке було отримано ефективну енергію руху ансамблю наночастинок в залежності від швидкості їх поступального руху. За допомогою методу фазової площини було досліджено кінетику системи, застосовуючи різні співвідношення для часів релаксації головних параметрів системи. Були знайдені умови існування стійких станів та проаналізовано типи переходів між ними. Дане теоретичне дослідження може бути корисним при прогнозуванні поведінки ансамблю наночастинок довільної форми та при аналізі можливих типів руху за умов зовнішнього впливу.

Наближення Ландау при аналізі магнітних фазових переходів першого роду в нанокластерних системах

Ющенко О.В., *доцент*; Бадалян А.Ю., *асистент*;

Стеценко А.О., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми

Властивості речовини істотно змінюються при переході до структур нанометрового діапазону. Відомо, що нанокластерні структури мають інший набір фізичних параметрів порівняно з відповідними макрокристаллами. При цьому різниця визначається не тільки розміром нанокластера, а також і методами їх організації.

У зв'язку з цим одним із актуальних на даний момент напрямків є дослідження властивостей нанокластерних систем та способів самоорганізації.

У даному дослідженні ми розглянули магнітні властивості нанокластерних систем та фазові переходи між різними станами. За останніми даними експериментальних досліджень відомо, що в нанокластерах і нанокластерних системах реалізуються фазові переходи першого роду, на відміну від макрокристалів, де магнітні фазові переходи відносяться до другого роду. При цьому фазові переходи першого роду в нанокластерних системах пов'язані з міжкластерною взаємодією, яка, в свою чергу, приводить до появи внутрішніх напружень. Дані напруження викликають появу тиску, що призводить за рахунок фазового переходу до упорядкування магнітного стану нанокластерної системи.

Нами була запропонована феноменологічна модель за механізмом фазового переходу першого роду на основі наближення Ландау для аналізу переходів між парамагнітним та магнітовпорядкованим станами нанокластерної системи. При цьому в залежності вільної енергії системи разом з основними термодинамічними компонентами ми врахували складові, що відповідають за міжкластерну взаємодію, за дію зовнішнього тиску та за температурну залежність намагніченості. В результаті була знайдена залежність стаціонарного значення намагніченості від температури та критичне значення тиску, за яких можливий магнітний перехід за механізмом першого роду.

Термодинамічна модель етапів нуклеації нанокластерних системЮщенко О.В., *доцент*; Ткаченко А.І., *студент*;Шрамко М.С., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми

Все більше уваги вчених привертають до себе надзвичайні властивості нанокластерних систем. Значного прогресу останнім часом було досягнуто в цій області за рахунок зростання рівня експерименту, що дозволяє отримати ізольовані наночастинки та вивчати їх властивості.

Нанокластери займають проміжне положення між окремими молекулами і макротілами. Тому властивості одиночного ізольованого кластера можна порівнювати як з властивостями окремих атомів і молекул, так і з властивостями масивного твердого тіла. Поняття «ізольований кластер» є абстрактним, оскільки практично неможливо отримати кластер, що не взаємодіє з навколишнім середовищем. Але з огляду на те, що молекулярні кластери металів, ван-дер-вальсові кластери благородних газів і води, газофазні кластери металів і фулерени мають слабкі міжкластерні взаємодії, їх можна умовно розглядати як ізольовані.

Для системи неконтактуючих кластерів нами була проаналізована залежність вільної енергії Гіббса від радіуса кластера. При цьому було використано вираз для хімічного потенціалу системи, що характеризує етапи зародження та росту кластера. В результаті було доведено, що зростання кластерів спочатку призводить до їх торкання, а потім – до зникнення кордонів між ними (спікання). Початок спікання кластерів відповідає дискретному переходу від ізольованих кластерів до слабой взаємодії, а потім до сильної міжкластерної взаємодії.

За допомогою дослідженої термодинамічної моделі нуклеації можна наочно побачити етапи зростання і спікання кластерів, що, наприклад, пояснює експериментальні дані про термічне розкладання оксилату заліза. Таким чином, процес утворення нанокластерної системи проходить дві основні стадії: спочатку утворюється наносистема з слабо взаємодіючими кластерами (ця стадія починається з зародження кластерів), а потім створюється система сильно взаємодіючих кластерів (ця стадія починається зі спікання кластерів).

Оксидні нанотрубки на поверхні поруватих напівпровідників

Дяденчук А.Ф., *провідний фахівець*; Кідалов В.В., *професор*
Бердянський державний педагогічний університет, м. Бердянськ,

У даній роботі отримання оксидних нанотрубок ZnO та In₂O₃ відбувалося шляхом відпалу в потоці атомарного кисню поруватих зразків ZnSe та InP відповідно. Поруваті шари отримано методом електрохімічного травлення на поверхні монокристалів n-ZnSe (110) та кристалів n-InP (100).

Відпал призводить до реорганізації поруватої структури – на поверхні відбувається утворення оксидних нанотрубок.

Довжина отриманих нанотрубок оксиду цинку досягає десяти мікрон, при цьому зовнішній діаметр трубок варіює в межах від 0,5 до 2 мкм. За допомогою рентгеноспектрального мікроаналізу встановлено, що на поверхні наностовпців ZnSe утворилося покриття, до складу якого входить кисень і цинк. Рентгенограма показує, що отримана речовина є вюрцитною фазою ZnO.

При використанні в якості підкладки для вирощування оксидного покриття зразків поруватого InP, на поверхні й усередині пор формуються вбудовані нанотрубки In₂O₃. При нагріванні InP фосфор випаровується в газову фазу, а індій витягується (гетерується) на поверхню. Внутрішня поверхня стінок кожної пори покривається киснем по всій її довжині від основи (дна стовпчика) до поверхні зразка, утворюючи кисневмісні нанотрубки, що повторюють форму пор.

Дифрактометричний аналіз плівок In₂O₃, отриманих при різних температурах, показав, що у всіх досліджених покриттях ідентифікувалась тільки фаза In₂O₃ кубічної модифікації.

Встановлено, що при одних і тих самих умовах формування оксидних покриттів, характери формування будуть різнитися. У результаті відпалу на поверхні поруватого InP утворюються вбудовані нанотрубки In₂O₃, при цьому процес росту носить квазіепітаксійний характер. При відпалі у потоці атомарного кисню поруватого ZnSe стовпці поруватого шару реорганізуються в оксидні нанотрубки ZnO, а процес носить переважно дифузійний характер.

Особенности формирования сверхтвердых алмазоподобных покрытий на основе сплавов переходных металлов 11 группы

Михалев А.Д., инженер;

Сумский государственный университет, г. Сумы

В рамках термодинамического представления описаны процесс формирования тепловой зоны в приповерхностном слое матрицы Cu в результате термобарического воздействия ионного пучка Ti^{++} ; зарядовой энергии 100-150 КэВ длительностью 80-150 мкс. В результате высокой степени нагрева (до 10^6 град/с) формируется область повышенной температуры и давления, возникает условие для перераспределения Ti в расплавленной приповерхностной области меди, выхода его на поверхность, захвата атомов C (в результате вакуумной откачки) и образования TiC вследствие высокой гетерной активности атомов Ti. Образованный слой TiC имеющий повышенную твердость и содержащий алмазоподобные кластеры имеет неплохую адгезию (до 50 МПа) и состоит из участков размером 80-200 нм.

Образование твердой пленки с хорошей адгезией формируется в результате термодинамического развития разогрева и охлаждения, разных по своим теплофизическим свойствам приповерхностных слоев Cu и TiC. Стехиометрия этих слоев изменяется от г.ц.к. матрицы Cu до о.ц.к. TiC через аморфную фазу TiC и C. В процессе образования данной структуру приповерхностных слоев основную роль играют капиллярно-гравитационный механизм совместно с конвекционным. Спонтанная высокоскоростная кристаллизация алмазоподобного покрытия тонкого слоя расплава на поверхности Cu идет в условиях гомогенного зародышеобразования. При формировании микроструктуры затвердевшего слоя учитывается решение сопряженной задачи кондуктивного теплообмена слоя с массивной подложкой с использованием гомогенной нуклеизации и суммарной кристаллизации. В результате проведенного эксперимента при воздействии пучка ионов Ti на монокристалл Cu при условии энерговклада до 5 Дж/см^2 длительностью импульса 80-150 мс, напряженностью электрического поля до 100-200 КэВ, получено алмазоподобное покрытие с удовлетворительной адгезией до 50 МПа способной работать в тяжелых условиях.

Розробка та проектування складних концентрованих сплавів

Антошенко А.А., студент; Багдасарян А.А., старший викладач
Сумський державний університет, м. Суми

Новим відгалуженням у сфері металевих сплавів стали складні концентровані сплави (СКС) про що говорять перші публікації в 2004 році. Особливістю цих легуючих концепцій є те, що вони містять кілька основних елементів у порівнянні зі звичайними металевими сплавами, які мають один основний елемент і кілька легуючих елементів незначної концентрації.

У цій роботі було досліджено механічні властивості складних концентрованих сплавів (СКС), порівнюючи їх з комерційно доступними інженерними сплавами, включаючи стандартні аерокосмічні сплави. Для досягнення цієї мети було розроблено базу даних матеріалів, яка охоплює основні механічні властивості СКС з опублікованої літератури. Графічний підхід (програма Gephi), який було використано, показав, що звичайна стратегія легування елементами незначної концентрації до базового елемента покращує стійкість до температурного відпаду за рахунок шляхом збільшення твердості при відносно постійній щільності.

Якщо ж порівнювати в щільності між титановими сплавами і сталями, або нікелевими сплавами, СКС перевершують за своїми експлуатаційними характеристиками за рахунок поєднання різних елементів, враховуючи їх особливі властивості, такі як: жорсткість для всіх умов навантаження при кімнатній температурі, корозійну стійкість та зносостійкість.

Дана робота дає візуальний підхід, який визначає найбільш привабливі сплави для інженерних застосувань, ці результати корисні для майбутніх досліджень та виявлення найбільш перспективних сплавів.

СЕКЦІЯ 3

**«Матеріалознавство мікро- та
наноелектроніки»**

Кореляція між електрофізичними властивостями і ступенем ентропійності плівкових сплавів

Однодворець Л.В., *професор*; Подуремне Д.В., *мол. наук. співроб.*;
Проценко І.Ю., *професор*; Шумакова Н.І., *доцент*;
Шабельник Ю.М., *ст. викладач*
Сумський державний університет, м. Суми

Інтенсивні властивості останніх років механічних і магнітних властивостей високоентропійних сплавів (ВЕС) у вигляді масивних зразків дозволяють зробити висновок про унікальність їх властивостей. Оскільки тонкоплівкові матеріали мають свої структурні особливості у порівнянні із масивними зразками, то нами започатковані [1, 2] дослідження електрофізичних (ТКО) і магніторезистивних властивостей плівкових ВЕС на основі феромагнітних (Fe, Ni, Co), ГЦК (Al, Cu) та ОЦК (Cr) металів.

Зразки загальною товщиною $d \cong 30 - 80$ нм отримувалися у вакуумі 10^{-4} Па методом пошарової конденсації із наступною термообробкою до 600 К. Як у вихідних, так і у відпалених зразках ВЕС мають ГЦК решітку ($a = 0,3604$ нм) із слідами ОЦК фази, параметр якої близький до параметрів решітки як α -Fe або ОЦК Cr, так і твердого розчину α -Fe(Cr). Концентрація компонентів оцінювалась розрахунковим методом на основі значень товщини окремих шарів, виміряних кварцовим резонатором, і уточнювалась методом енергодисперсійного аналізу. Нами встановлено, що використання як одного із шарів плівки пермалою не приводить до помітної зміни властивостей, що можна пояснити дисоціацією комплексів із атомів Ni і Fe у процесі конденсації. Особливість наших досліджень полягає також у спробі встановити кореляцію ТКО і ступеня ентропійності. Згідно загальноприйнятої класифікації ([3]) дво- і три- або чотирикомпонентні сплави відносяться відповідно до низько- і середньоентропійних сплавів. Ці два класи сплавів нами отримувались за тією ж методикою, що і високоентропійні. Значення ТКО для ВЕС наведені в табл. 1.

Також слід відмітити, що в наших дослідженнях важливе значення має кількість шарів у плівковій системі, оскільки інтерфейсне розсіювання електронів дає дуже великий внесок у величину опору і, відповідно, ТКО. Виходячи із означення $\text{ТКО} = (1/\rho) (\partial\rho/\partial T)$, можна стверджувати, що деяке температурне зростання $\partial\rho/\partial T$ пов'язане із

Таблиця 1 – ТКО високоентропійних сплавів

№	Зразок (товщина, нм)	Концент-рація, ат.%	ТКО·10 ³ , К ⁻¹ при 300 К
1	Al(4)/Cu(3,2)/Co(4,5)/Cr(5,2)/Fe(4,7)/Ni(4)/П (П – підкладка)	11/13/19/ 20/19/17/П	2,0
2	Cr(7,5)/Al(4,5)/Co(7,3)/Cu(4,8)/Ni(7)/Fe(7)/П	19/8/21/12/19/19/П	1,8
3	Cu(10)/Co(9)/Cr(10)/Ni _{0,75} Fe _{0,25} /Al(12)/П	18/17/17/24,8/15/П	1,6
4	Cu(32)/Co(9)/Cr(10)/Ni _{0,8} Fe _{0,2} (19)/Al(12)/П	32/15/16/24,8/14/П	1,8

збільшенням величини ρ , обумовленого інтерфейсним розсіюванням електронів провідності у плівкових зразках. Дані таблиці 2 дозволяють порівняти між собою величину ТКО ВЕС (таблиця 1) із величиною ТКО низько- і середньоентропійних сплавів (таблиця 2).

Таблиця 2 – ТКО низько- і середньоентропійних сплавів

№	Зразок (товщина, нм)	Концентрація, ат.%	ТКО·10 ³ , К ⁻¹ при 300 К
1	Ni(30)/Cr(45)/П	42/58/П	1,61
2	Pd(40)/Fe(40)/П Fe(30)/Pd(20)/Fe(30)/П	44/56/П 20/80(Fe)/П	0,85 2,00
3	Cr(48)/Cu(55)/П Cu(30)/Cr(25)/Cu(45)/П Cr(30)/Cu(30)/Cr(30)/Cu(30)/П	46/54/П 25/75(Cu)/П 50/50(Cu)/П	1,69 1,35 1,83
4	Cr(10)/Fe(9)/Ni(10)/П	34/30/36/П	1,20
5	Ni(20)/Co(12)/Ni(20)/П	23/77(Ni)/П	1,90
6	Ni(30)/Co(30)/Cr(30)/П	35/34/31/П	2,45
7	Co(30)/Cr(30)/Ni(30)/Co(30)/П	47/26/27(Co)/П	1,47

Отримані результати дозволяють зробити якісний висновок про зменшення величини ТКО при зростанні ступеня ентропійності плівкових сплавів.

Робота виконана у рамках держбюджетної тематики МОН України (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**, 03026 (2016).
2. Ю.С.Березняк, Д.В.Подуремне, І.Ю.Проценко, І.І. Шмук, *Матеріали XIII Міжнародної конференції «Фізичні явища в твердих тілах»*, 45 (2017).
3. Y.Zhang, Y.Zhou, *Materials Science Forum* **561 – 565**, 1337 (2007).

Magneto resistive Properties of Py/Ag/Co Pseudo Spin-valves

Levchenko K.S., student; Pazukha I.M., associated professor
Sumy State University, Sumy

The pseudo spin-valve (PSV) structures based on soft magnetic permalloy Ni₈₀Fe₂₀ (Py) and hard magnetic Co, separated by a layer of nonmagnetic material (Ag) belong to the pseudo spin-valve structures, in which independent magnetization reversal of magnetic layers is gained by diverse coercive forces of magnetic layers. It is known that well-designed structure, optimized sample size and sputtering parameters are the key factor to fabricate high-performance magnetoresistance (MR) sensors that based on pseudo spin-valves. So, the following stages of the work were defined: analysis the crystal structure and phase state of the film systems that were annealed to different temperatures (temperature range is 300-750 K) and establishing the correlation between the change in magneto resistive properties of pseudo spin-valves based on Py, Co and Ag, phase state, annealing temperature and thickness of a nonmagnetic layer ($d_{Ag} = 3-15$ nm).

The samples were prepared layer-by-layer by electron-beam sputtering in a vacuum chamber VUP-5M with a base pressure of 10^{-4} Pa on an amorphous glass-ceramic substrates with the temperature $T_S = 400$ K and size 10×10 mm, and copper grids with predeposited layer of carbon. Two series of samples were obtained: type A – Co(5)/Ag(d_{Ag})/Py(30)/S (S – glass-ceramic substrate, $d_{Ag} = 3-15$ nm) and type B – Co(30)/Ag(d_{Ag})/Py(5)/S. The maximum value of MR is obtained after annealing to 750 K for samples of type A at $d_{Ag} = 15$ nm in the parallel orientation (1.10%, overtake three times as-deposited one). Whereas, the systems of A and B types at $d_{Ag} = 6$ nm are the most stable in terms of temperature influence on the value of B_C , which vary in ranges 7-10 mT and 7-17 mT, respectively, in temperature range 300-750 K.

Practical value is that magnetic field detectors of various applications can be produced on the basis of investigated film systems. In order to create thermostable detectors, the systems Py/Ag/Co must be annealed at high temperatures (750 K).

This work was funded by the State Program of the Ministry of Education and Science of Ukraine 0116U002623 (2016 - 2018).

**Температурна залежність магніторезистивних властивостей
гранульованих плівкових сплавів на основі Co та Ag**Коломієць І.С., магістрант

Сумський державний університет, м. Суми

Гранульовані магнітні плівкові сплави, що характеризуються ефектами гігантського (ГМО) та анізотропного (АМО) магнітоопору знайшли широке застосування при виготовленні комірок магніторезистивної пам'яті, датчиків напруги та величини магнітного поля. Серед гранульованих магнітних плівкових систем особливе місце займають плівкові сплави на основі Co і Ag, що характеризуються найвищим значенням ГМО при кімнатній температурі (до 25 %) серед усіх гранулярних систем [1]. Крім того, важливою характеристикою роботи приладів є прогнозованість властивостей елементів датчиків у інтервалі робочих температур (T).

Проаналізовано результати дослідження магніторезистивних властивостей плівок гранульованого сплаву $\text{Co}_x\text{Ag}_{100-x}$ ($15 \leq x \leq 74$ ат. %). Серія неоднорідних плівок $\text{Co}_x\text{Ag}_{100-x}$ осаджувалась у вакуумі $P \leq 10^{-4}$ Па шляхом одночасного випаровування з двох незалежних електронних гармат для Co і Ag. Структурно-фазовий стан плівок вивчався методами просвічуючої електронної мікроскопії (прилад ПЕМ-125К) та рентгеноструктурного аналізу GI-XRD (прилад Panalytical X'Pert³ MRD XL). Магніторезистивні властивості вимірювали чотирьохточковим методом у магнітному полі з напруженістю до $H = 1,7$ кОе при $140 \leq T \leq 440$ К у вакуумі $P \leq 10^{-5}$ Па.

Порівняння залежностей магнітоопору плівкових сплавів $\text{Co}_x\text{Ag}_{100-x}$ з різною часткою феромагнітного матеріалу (рис. 1 та 2) показало, що у температурному інтервалі $290 \leq T \leq 440$ К величина магнітоопору у плівці з часткою кобальту $x = 36$ найбільша, однак при температурах $140 \leq T < 290$ К величина ГМО для плівки з часткою феромагнітного матеріалу $x = 29$ має навіть дещо більше значення. Це можна пояснити, прийнявши до уваги, що основним механізмом ГМО при низьких температурах є саме розсіювання електронів провідності на суперпарамагнітних частинках і дуже дрібних магнітних кластерах. Для зразка $\text{Co}_{29}\text{Ag}_{71}$, що характеризується переважно суперпарамагнітною структурою, температура блокування знаходиться в інтервалі $140 \leq T < 290$ К.

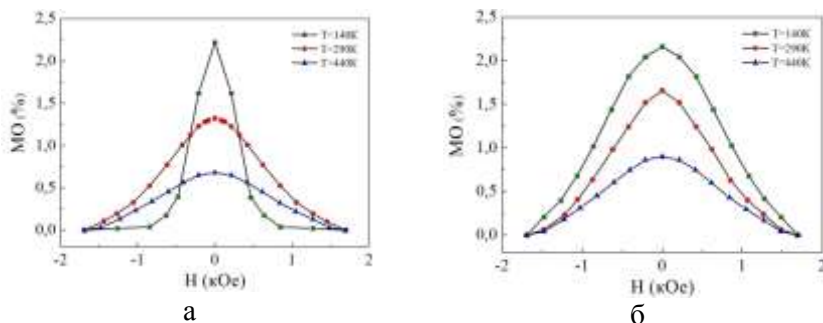


Рисунок 1 – Польові залежності магнітоопору плівкових сплавів $\text{Co}_{29}\text{Ag}_{71}$ (а) та $\text{Co}_{36}\text{Ag}_{64}$ (б) при різних температурах вимірювання у поздовжній геометрії

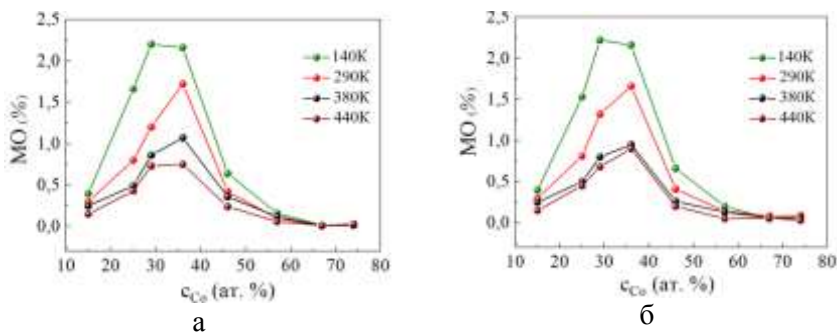


Рисунок 2 – Залежність величини магнітоопору плівкових сплавів на основі кобальту та срібла від атомарної концентрації феромагнетика. Вимірюваннях при температурах $T = 140, 290, 380, 440\text{K}$ у поперечній (а) та поздовжній (б) геометріях вимірювання при напруженості магнітного поля $H = 1,7\text{ kOe}$

Вимірювання величини магнітоопору при температурах $290 \leq T \leq 440\text{ K}$ показало суттєве зменшення величини магнітоопору для зразків з $15 < x < 57$.

Робота виконана в рамках Державної програми Міністерства освіти і науки України 0116U002623 (2016 - 2018 р.).

Керівник: Шпетний І.О., доцент

1. L. Jogschies et al., *Sensors* **15**, 28665 (2015).

Формування функціональних синтетичних антиферромагнітних шарів спін-клапанних структур на основі Ru та Co

Коваленко О.В., *студент*, Логвинов А.М., *аспірант*
Сумський державний університет, м. Суми

Тонкоплівкові плівкові системи на основі Co і Ru мають відносно стабільні магнітні властивості і можуть бути використані для створення функціональних структур спінтроники зокрема при формуванні синтетичних антиферромагнітних шарів у структурах спін-клапанів. Їх застосування значно спрощує методику виготовлення металевих спін-клапанів для потреб сучасної гнучкої сенсорної та функціональної електроніки. Розширення інтервалу робочих температур таких функціональних структур можливе лише після вставновлення ефективних шляхів термостабілізації їх структурних характеристик з урахуванням розмірних та концентраційних ефектів.

В роботі [1] нами повідомлялися результати дослідження фазового складу, кристалічної структури та електрофізичних властивостей одно-, дво- та тришарових плівкових систем на основі Co і Ru. На основі цих досліджень у даній роботі запропоновано формування функціональних синтетичних антиферромагнітних шарів у вигляді мультишару $[\text{Ru}(2)/\text{Co}(2)]_5/\text{П}$ (П – підкладка, в дужках вказана товщина в нм) та систем з двох мультишарів із прошарком Ru різної товщини $[\text{Ru}(2)/\text{Co}(2)]_5/\text{Ru}(5)/[\text{Ru}(2)/\text{Co}(2)]_5/\text{П}$ та $[\text{Ru}(2)/\text{Co}(2)]_5/\text{Ru}(10)/[\text{Ru}(2)/\text{Co}(2)]_5/\text{П}$. Зразки отримувалися методом вакуумної конденсації за кімнатної температури та відпалювалися до 900 К з постійною швидкістю. За результатами дослідження кристалічної структури зразків методом просвічуючої електронної мікроскопії та фазового складу методом електронографії (мікроскоп ПЕМ 125-К) було показано, що плівкові зразки після формування та відпалювання зберігають індивідуальність шарів і складаються з мілодисперсних кристалітів Co і Ru з гексоганальною фазою з параметрами решіток близькими до табличних значень: $a_{\text{Ru}}=0,276$ нм, $c_{\text{Ru}}=0,440$ нм; $a_{\text{Co}}=0,259$ нм, $c_{\text{Co}}=0,421$ нм. Середні розміри зерен складають $L_{\text{сер}} = 8 \div 16$ нм.

Робота виконана в рамках НДР №0117U003925 (2017 – 2020 р.).

Керівник: І.В. Чешко, *докторант*

1. Lohvynov A.M., Cheshko I.V., Protsenko S.I. *Proc. Int. Conf. "NAP-2017"* **2**, 02NTF40 (2017).

Методика формування графену на тонких плівках Ru

Васюхно М.В., студент, Логвинов А.М., аспірант
Сумський державний університет, м. Суми

Поширеним методом отримання графену є його епітаксійне формування на поверхні тонких полікристалічних плівок Ni або Ru товщиною 50÷500 нм в процесі вакуумного термічної конденсації атомів вуглецю. Таким методом отримують одно- та багат шаровий графен, що застосовується для створення гнучких функціональних елементів електроніки, наприклад, надшвидких транзисторів, наноконденсаторів великої ємності, гнучких елементів живлення та систем відображення інформації. Особливість таких структур полягає у високій стабільності їх робочих характеристик до температур 400 К.

У даній роботі запропонована інша методика формування графену на поверхні полікристалічних плівок Ru. Тонкі одношарові плівки Ru товщиною 20 нм конденсувалися на підкладки SiO₂(500 нм)/Si в середовищі установки ВУП-5М (10⁻⁴ Па) електронно-променевим методом з використанням графітового аноду при температурі підкладки $T_{\text{п}} = 300$ К із швидкістю конденсації 0,3÷0,5 нм/с. Вимірювання товщини осаджених зразків проводилося методом кварцового резонатора. Далі зразки відпалювалися у середовищі безмасляного вакууму (10⁻⁹ Па) до температури 1100 К протягом 20 хв. Нагрівання та охолодження відбувалося із постійною швидкістю 5 К/хв. Дослідження методом просвічуючої електронної мікроскопії та електроннографії (мікроскоп ПЕМ-125К) кристалічної структури показало, що після конденсації та після подальшого відпалювання плівки складаються з мілокодисперсної фази гексагонального Ru з параметрами решітки близькими до табличних. Дослідження методом раманівської спектроскопії (прилад Witec alpha 300 R+) показали, що в процесі відпалювання зразків на поверхні плівок Ru формується графен. Співвідношення інтенсивностей основних піків *G* та *2D* спектрів свідчить про відносно однорідний розподіл по поверхні зразків графену з кількістю моношарів $n = 1 - 5$.

Робота виконана в рамках НДР №0117U003925 (2017 - 2020 р.).

Керівник: І.В. Чешко, докторант

Магнітооптичні властивості плівкових систем на основі Fe і Cr

Луценко В.А., *магістрант*, Бездідько О.В., *аспірант*
Сумський державний університет, м. Суми

Плівкові системи на основі Fe та Cr є одним із основних матеріалів із спин-залежним розсіюванням електронів для створення функціональних елементів спінтроники. В роботі [1] було показано, що в системі на основі Fe та Cr відбувається суттєве взаємне проникнення атомів шарів біля інтерфейсу вже на стадії конденсації. Велика площа поверхні меж зерен та малі розміри кристалітів приводять до протікання інтенсивних дифузійних процесів, що сприяє утворенню твердих розчинів. Ці результати підтверджуються результатами дослідження магнітооптичного ефекту Керра в поздовжній та перпендикулярній геометріях вимірювання (за допомогою установки на основі лазера з $\lambda = 670$ нм) в двошарових плівкових системах Fe/Cr/П або Cr/Fe/П (П – підкладка із монокристалу кремнію), що були отримані методом вакуумної конденсації за кімнатної температури з товщиною окремих шарів $2 \div 40$ нм. Встановлено, що одношарові магнітні плівки Fe у всьому діапазоні товщин мають значення коерцитивної сили $B_{CFe} \approx 12$ мТл. При дослідженні систем Fe/Cr в обох геометріях, було встановлено, що відношення концентрації та товщини шару Cr суттєво впливає на характер залежності кута Керра θ від прикладеного магнітного поля та на величину B_C . Найменше значення B_C мають системи Cr(2)/Fe(25)/П (8,3 мТл) та Cr(5)/Fe(30)/П (11,4 мТл) при поздовжній геометрії вимірювання. При збільшенні товщини шару Cr до 10, 15 і 20 нм коерцитивність зразків лінійно збільшується до значення B_{CFe} . Зменшення значення B_C двошарових плівок у порівнянні з одношаровими плівками Fe пояснюється утворенням твердих розчинів на межі поділу між шарами вже в процесі конденсації. Для систем Cr/Fe/П простежується подібна залежність, хоча із меншим відхиленням від B_{CFe} .

Робота виконана в рамках НДР №0116U002623 (2016 – 2018 р.).

Керівник: С.І. Проценко, *професор*

1. O. Fedchenko, S. Protsenko, P. Zukowski, M. Marszalek, *Vacuum* **86**, 1934 (2012).

Плівкові матеріали на основі фулерену C_{60} : методи одержання і властивості

Швидченко А.В., *магістрант*; Швидченко О.В., *магістрант*;
Степаненко А.О., *пров. фахівець*
Сумський державний університет, м. Суми

Однією з форм вуглецю, яка представляє великий інтерес для дослідників, є фулерен C_{60} . Унікальні електронні властивості молекули фулерену C_{60} та електричні, оптичні і механічні властивості фулеренів у конденсованому стані вказують на значні перспективи використання цих матеріалів у електроніці, опто- і наноелектроніці та інших галузях техніки.

Метою роботи було розробка методики отримання фулеренової сажі, плівок на основі фулерену C_{60} та їх подальші дослідження електрофізичних властивостей.

Процес одержання фулеренів проводився методом термічного розпилення графіту у вакуумній установці ВУП-5М при тиску залишкових газів $10^{-3} - 10^{-4}$ Па. Графітовий порошок поміщається в тигель, над яким розташували ємність, на яку осаджувались фулерени. Температура накалу вольфрамової спіралі $T = 600-700$ °С підтримується протягом 40 хвилин. Після цього потужність накалу вольфрамової спіралі збільшують до температури $T = 800-900$ °С, у результаті відбувається процес сублимації фулеренів.

Отриману фулереновмісну сажу осаджують на вуглецеву підкладку термічним методом: у тиглі розміщували фулереновмісну сажу та проводили відпалювання в температурному діапазоні $T = 600-700$ °С протягом 40 хвилини у високому вакуумі (10^{-4} Па). Це необхідно для збільшення енергії фулеренів та «запуску» процесу їх сублимації на плівку-підкладку.

У результаті електронно-мікроскопічних досліджень було встановлено, що середній розмір отриманих острівців фулеритів має 50 нм, а найбільша кількість їх мають розміри від 45 нм до 60 нм.

Керівник: Шумакова Н.І., *доцент*

Елементний склад плівкових систем на основі $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ та CuСалтиков Д.І., аспірант

Сумський державний університет, м. Суми

Тришарові плівки з шарів сплаву $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x \approx 0,5$, $d_F = 20-40$ нм) розділені прошарком Cu ($d_N = 10-20$ нм) і двошарові з компонентів цієї системи були одержані шляхом пошарової конденсації з незалежних джерел на ситалові підкладки при $T_n = 300\text{K}$. Термообробка плівок проводилася за температури 700K . Елементний склад зразків визначався методом вторинно-іонної мас-спектрометрії (ВІМС) на приладі MS-7201M.

Методом ВІМС було підтверджено ефективність використаної методики одержання плівкових сплавів. Для оцінки вмісту компоненту у сплаві було використане відношення інтенсивностей мас-спектрометричних піків ізотопів ^{56}Fe та ^{59}Co : $\gamma = \frac{J(^{59}\text{Co})}{J(^{56}\text{Fe})}$, де $J(^{59}\text{Co})$ –

інтенсивність (висота) піка ізотопу ^{59}Co ; $J(^{56}\text{Fe})$ – інтенсивність піка ізотопу ^{56}Fe . Порівняння величини γ для одного і того ж плівкового сплаву залежно від часу травлення зразка первинним пучком іонів Ar^+ показує, що в межах похибки вимірювань величина γ не змінюється. Отже, одержані плівки сплаву $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ ($x \approx 0,5$) гомогенні за товщиною.

Результати аналізу показали, що свіжосконденсовані дво- і тришарові плівкові зразки незалежно від товщини, складаються з окремих прошарків. Межі шарів дещо розмиті, що, можливо, є наслідком конденсаційно- та іонно-стимульованої дифузії.

Термообробка зразків за температури 700K не призводить до повного перемішування шарів. Незначне проникнення елементів другого шару на поверхню зразка, ймовірно, пов'язане із зерномежевою термодифузією. Вихідний порядок шарів при цьому зберігається.

Поетапне відпалювання (через проміжні температури 400 та 550K) призводить до порушення структурної суцільності мідного прошарку у тришарових плівках.

Робота виконана в рамках НДР №0116U002623 (2016 – 2018 р.).

Керівник: Шкурдода Ю.О. докторант

Елементний склад та оптичні властивості плівок $Zn_xCd_{1-x}S$

Єрмоменко Ю.С., *мол. наук. співроб.*; Єрмаков М.С., *студент*;
Опанасюк А.С., *професор*
Сумський державний університет, м. Суми

Одним із перспективних матеріалів для використання в якості віконного шару гетероперехідних (ГП) фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) сонячної енергії є твердий розчин $Zn_xCd_{1-x}S$. Плівки цього розчину мають властивості покращені порівняно з вихідними халькогенідами CdS та ZnS. Зокрема, введення цинку в традиційний для віконних шарів матеріал – CdS, дозволяє збільшити коефіцієнт пропускання світла плівкою та розширити спектральний діапазон її прозорості. При цьому, зміна вмісту цинку дає змогу регулювати період кристалічної ґратки напівпровідника, що дозволяє мінімізувати кількість дефектів на границі віконного та поглинаючого шарів сонячних елементів (СЕ). Все це, в перспективі, може суттєво покращити робочі характеристики та коефіцієнт корисної дії плівкових ФЕП на основі ГП. В нашій роботі вивчались елементний склад та оптичні характеристики плівок $Zn_xCd_{1-x}S$ з різним вмістом цинку.

Плівки для віконного шару ФЕП зазвичай отримують хімічними методами. Однак, нами використовувалося вакуумне випаровування в квазізамкненому об'ємі. Метод дозволяє наносити конденсати з високою хімічною чистотою та кристалічною якістю, що і обумовило його вибір для отримання шарів $Zn_xCd_{1-x}S$. Плівки конденсувались на скляні підкладки з підшаром ІТО у вакуумній установці ВУП-5М. Температура підкладки становила $T_s = 573$ К, температура випарника $T_e = 1273$ К, час нанесення складав $t = 15$ хвилин, концентрація x задавалась складом шихти та змінювалась в інтервалі від 0 до 1. Оптичні дослідження проводились на спектрофотометрі Solid Spec-3700. Елементний склад вивчався методом EDAX за допомогою мікроскопа РЕМ-106І.

В результаті досліджень визначено зв'язок між умовами отримання та складом плівок. Визначено основні оптичні характеристики шарів (спектри пропускання, поглинання, ширина забороненої зони). З оптичних досліджень та методом EDAX визначені реальні значення x у плівках $Zn_xCd_{1-x}S$ та їх стехіометрія. Аналіз результатів свідчить, що завдяки покращенню оптичних характеристик плівки твердого розчину дійсно можуть розглядатися як перспективний матеріал для використання в якості віконного шару ФЕП з поглинаючими шарами CdTe, CIGS, CZTS та іншими.

Формування електрохімічних оксидних шарів на алюмінієвих сплавах

Пилишко В.В., студент; Проценко З.М., доцент

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

Одержання поверхневих оксидних шарів заданого складу і кристалічної структури важливий і необхідний процес для створення нових матеріалів. На сьогоднішній день відомо декілька способів отримання функціональних поверхневих шарів: хімічне, електрохімічне, мікродугове оксидування. З цих методів електрохімічне оксидування є найбільш високоефективним і доступним способом кінцевої обробки сплавів.

Як підкладки (анод) застосовували сплави алюмінію, які містили такі легуючі елементи як: Si, Cu, Mg, Fe, Mn. Процес електролізу проводили в розчинах хроматної, оксалатної кислоти та змішаному електроліті на основі CrO_3 , H_3PO_4 і HF. Найбільш плавне рівномірне збільшення напруги, тобто рівномірний ріст оксидованого шару і відповідно підвищення електричного опору поверхні зразку спостерігалось у трьохкомпонентному електроліті [1].

При анодуванні (3 – 4 А/дм², 16 – 70 В, 20 – 40°С, 40 – 60 хв) формуються тверді, електроізоляційні й захисно-декоративні плівки покриття. Ці плівки можуть набувати забарвлення різної інтенсивності в залежності від складу електроліту і марки сплаву – від сіро-чорного до жовто-коричневого і, навіть, зеленого [2]. Мікроструктура покриття дрібнодисперсна (розміри кристалітів становлять до 0,1 мкм). Отримані шари є діелектриками і їх товщини складають 1-7 мкм.

Структура поверхневого шару пориста і складається із шестикутних комірок нанорозмірів (50-200 нм), що можна застосувати для вдосконалення і модифікації поверхневого шару подальшим нанесенням в утворені пори деяких металів електрохімічним методом або методом іонного напilenня.

1. П.В. Боровик, З.М. Проценко, *Природничі науки. Збірник наукових праць* **12**, 89 (2015).
2. Н.І. Шумакова, З.М. Проценко, *Modern Problems of Condensed Matter. IV- th International Conference Proceedings*, 102 (2015).

Електрохімічне одержання багат шарових структур на основі Со і Си

Чепа В.О., студент; Проценко З.М., доцент

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

Гальванічні покриття на основі багат шарових структур у порівнянні з однокомпонентними покриттями, мають великі переваги у фізико-хімічних та магнітних властивостях. Покриття на основі Со та Си були обрані тому, що Со і Си мають протилежні магнітні властивості: Со – феромагнетик, а Си – діамагнетик. У плівкових структурах, що складаються з почергових феромагнітних і немагнітних шарів, спостерігається явище гігантського магнітоопору (ГМО). Поряд із цим і електролітично осадженні структури з ефектом ГМО мають широку перспективу застосування в магніторезисторних голівках зчитування інформації для жорстких дисків, при виготовленні магнітних транзисторів тощо.

Експериментально встановлено параметри процесів електрохімічного отримання багат шарових структур на основі Со (2 А/дм^2 , $18-22 \text{ }^\circ\text{C}$) і Си ($1,5 \text{ А/дм}^2$, $18-25 \text{ }^\circ\text{C}$) із сульфатних електролітів на металізованому гетинаксі.

Фазовий склад чотиришарового зразка Со/Си/Со/Си/П без відпалу відповідає фазі ГЦП- Со (α - фаза) та ГЦК Си. Після відпалювання зразків протягом однієї години за 120°C на рентгенограмі крім фази ГЦП- Со з'явилися рефлекси ГЦК- Со, тобто відбувся фазовий перехід: ГЦП- Со \rightarrow ГЦК- Со, з перебудовою кристалічної ґратки. При цьому цей перехід відбувся при значно меншій температурі, ніж для масивного зразка. Після відпалювання цього ж зразка протягом чотирьох годин виявлена фаза Си і α -Со, фаза β - Со відсутня. Таким чином за чотири години відпалювання відбулася взаємна дифузія атомів Со в шар Си і навпаки, Си в шар Со. При цьому ми спостерігали зменшення міжплощинних відстаней для фаз Си і α - Со після відпалювання, що також є доказом взаємної дифузії атомів, що й призводить до зменшення параметрів решітки Си та Со, що можна пояснити частковим утворенням твердих розчинів та накопиченням вакансій.

Симетрична «псевдо спін-вентильна» структура та її властивостіБосенко В.С., студент

Сумський державний університет, м. Суми

Результати комплексних досліджень фізичних властивостей і структурно-фазового стану симетричних плівкових систем та «псевдо спін-вентильних» структур на основі Co , Fe , $\text{Fe}_x\text{Ni}_{100-x}$ Cu вказують на можливість розробки на їх основі функціональних елементів із високостабільними робочими характеристиками.

Враховуючи особливість спін-вентильних структур, яка полягає в тому, що для отримання потрібної конфігурації намагніченості використовується не осцилююча обмінна взаємодія, а зовнішнє магнітне поле, була запропонована подвійна (симетрична) «псевдо спін-вентильна» структура. Особливістю цієї структури є наявність одного магнітом'якого шару, розташованого між двома магнітожорсткими шарами. Наявність двох немагнітних шарів забезпечує незалежне перемагнічування магнітом'якого шару і, як наслідок, зміну магнітної конфігурації структури.

Після узагальнення результатів досліджень магніторезистивного ефекту в тришарових плівках в умовах впливу температури (інтервал термобробки, температура підкладки, температура вимірювання) та магнітного поля були вибрані в якості магнітожорстких шарів – Co ($d_{\text{F1}} = 20 - 40$ нм), магнітом'якого – сплав $\text{Fe}_x\text{Ni}_{100-x}$ ($x \cong 50$, $d_{\text{F2}} = 20 - 40$ нм) та в якості немагнітного прошарку – Cu ($d_{\text{N}} = 5 - 10$ нм). Такий вибір металів забезпечує запропонованій структурі дві основні переваги: високу чутливість до зовнішнього магнітного поля та високу термостабільність.

Зазначимо, що польові залежності магнітоопору в магнітних полях із максимальною індукцією $B = 20 - 100$ мТл мають ізотропний характер. Особливий інтерес викликає частинна магніторезистивна петля, виміряна в полях, менших за поле перемагнічування магнітожорсткого шару. Величина ізотропного магнітоопору при цьому суттєво не відрізняється від МО у випадку повної петлі магніторезистивного гістерезису і складає величину $1 - 1,5\%$. Це забезпечує чутливість до магнітного поля на рівні $80 - 90 \text{ \%}/\text{Тл}$.

Робота виконана в рамках НДР №0116U002623 (2016 – 2018 р.).

Керівник: Шкурдода Ю.О., докторант

СЕКЦІЯ 4

«Електронне приладобудування»

Деформаційні ефекти в тензочутливості плівкових матеріалів як чутливих елементів електроніки

Кулак А.С., *студент*; Лободюк О.С., *зав. лаб.*; Рилова А.К., *студент*;
Тищенко К.В., *асистент*

Сумський державний університет, м. Суми

На основі літературних даних нами проаналізована проблема відповідності експериментальних і розрахованих за відомими теоретичними моделями результатів стосовно тензорезистивного ефекту в дво- і багатошарових плівкових матеріалах як чутливих елементів електроніки. Суть проблеми полягає в тому, що при порівнянні експериментальних і розрахункових величин коефіцієнту тензочутливості не вдається досягти задовільної відповідності. Аналіз вказує на такі причини невідповідності:

У класичній теорії З. Мейксіна, яка базується на теорії розмірного ефекту електропровідності тонких плівок, розглядаються лише два параметри електроперенесення, а саме середня довжина вільного пробігу електрона (СДВП) λ_0 і коефіцієнт дзеркальності (p); при цьому вважається, що лише λ_0 залежить від деформації (ε), що аналітично описується за допомогою основного тензометричного параметра - деформаційного коефіцієнту СДВП

$$\eta_{\lambda_0} = -\frac{1}{\lambda_0} \frac{\Delta \lambda_0}{\Delta \varepsilon_l},$$

тобто $\frac{dp}{d\varepsilon_l} = 0$.

Оскільки попередня теорія може претендувати на деяку точність лише у випадку монокристалічних плівок, то при переході до полікристалічних зразків виникає необхідність урахування зернового розсіювання електронів, кількісною характеристикою якого виступає коефіцієнт проходження межі зерен (r). Згідно уявлень Тельє, Тоссе і Пішар (ТПП) величина r , як і p , не залежить від деформації зразка. Класичні моделі тензоефекту ТПП не дали задовільного узгодження із експериментальними результатами, що, як було показано в [2, 3], як раз і пов'язано із їх допущенням про незалежність p і r від деформації.

У такій ситуації виникла ідея враховувати інтерфейсне розсіювання електронів також у дво- і багат шарових плівках при міжшарових переходах, кількісною характеристикою цього механізму розсіювання виступає коефіцієнт проходження інтерфейсу (Q).

Найкраща відповідність експериментальних і розрахункових величин реалізується [2] у тому випадку, коли у теоретичній моделі враховується деформаційна залежність не тільки СДВП, але і інших параметрів електроперенесення [3]; у цьому випадку кількісними характеристиками виступають такі деформаційні коефіцієнти:

$$\eta_{pl} = -\frac{1}{\lambda_p} \frac{\Delta p}{\Delta \varepsilon_l}, \quad \eta_{rl} = -\frac{1}{\lambda_r} \frac{\Delta r}{\Delta \varepsilon_l} \quad \text{та} \quad \eta_{rl} = -\frac{1}{\lambda_r} \frac{\Delta r}{\Delta \varepsilon_l}.$$

Відмітимо, що усі ці коефіцієнти розраховуються на основі експериментальних залежностей коефіцієнта тензочутливості від товщини одношарової плівки, які отримувались при $\varepsilon_l = 0$ і $\varepsilon_l = \text{const}$.

Робота виконана у рамках держбюджетної тематики МОН України (2018 – 2020 рр.).

Керівник: Проценко І.Ю., *професор*

1. Л.В. Однорець, С.І. Проценко, А.М. Черноус, І.Ю. Проценко, *УФМ* **8** № 2, 109 (2007).
2. С.І. Проценко, *Фізичні процеси і властивості наноструктурованих плівкових матеріалів із спин-залежним розсіюванням: автореферат ...* докт. фіз.-мат. наук, спец.: 01.04.07 – фізика твердого тіла. – Суми: СумДУ, 2011. – 37 с.
3. О. Lasyuchenko, L. Odnodvoretz, I. Protsenko, *Cryst. Res. Technol.* **35**, 329 (2000).

Термічний коефіцієнт опору гранульованих плівкових сплавів

Ковнер А.А., студент; Ільїн С.С., студент; Проценко І.Ю., професор
Сумський державний університет, м. Суми

Гранульовані плівкові сплави – це новий клас матеріалів спітроніки останнього двадцятиріччя. Формуються вони на основі немагнітних (НМ), наприклад, Ag, Au, Cu і магнітних (Сo, Fe) металів (ММ) з обмеженою взаємною розчинністю, за допомогою таких методик: одночасна або пошарова конденсація компонент та при формуванні композиційного матеріалу у вигляді плівки НМ/острівцева плівка ММ/плівка НМ/підкладка [1]. Мета роботи полягала в аналізі можливості визначення термічного коефіцієнта опору (ТКО) гранульованої плівки, яку ми моделювали у вигляді композиту із слабкомагнітної матриці на основі немагнітної компоненти, в об'ємі якої локалізуються магнітні гранули розміром 3 – 10 нм. Величину ТКО, пов'язану із матрицею і магнітними гранулами (β_M), розглядали незалежно, виходячи із адитивності питомого опору, складові якого відповідають питомому опору, що виникає при розсіюванні електронів провідності на межах зерен і фонах матриці [2] та на магнітних моментах гранул [3]. Питомий опір, який пов'язаний із розсіюванням електронів на магнітних моментах гранул, описується співвідношенням [3]:

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

де B – індукція магнітного поля, S – магнітний момент («спін» гранули), μ_B – магнетон Бора, a – кутовий коефіцієнт залежності $\rho_M(T, B = \text{const})$. Використовуючи експериментальні результати стосовно ТКО гранульованих плівкових сплавів на основі Ag і Co за наведеним співвідношенням здійснено розрахунок β_M , величина якого має порядок 10^{-3} K^{-1} , як і ТКО гранульованої плівки.

Робота виконана у рамках держбюджетної тематики МОН України (2018 – 2020 рр.).

1. М.О. Шумакова, Л.В. Одноворець, І.Ю. Проценко, *Матеріали Міжнародної конференції ЕВРИКА-2014*. – Львів: ЛНУ, 2014. – С.151.
2. I.Yu. Protsenko, M.O. Shumakova, S.I. Protsenko, L.V. Odnodvoretz, *Probl. At. Sci. Technol.* **1**(101), 121 (2016).
3. M. Csontos, J. Balogh, D. Kaptas, L.F. Kiss, A. Kovacs, G. Mihaly, *Phys. Rev. B* **73**, 184412 (2006).

Вплив температури на властивості чутливих плівкових сенсорних елементів на основі Fe і Pd або Au

Шумакова М.О., аспірант; Однорець Л.В., професор
Сумський державний університет, м. Суми

Інтерес до вивчення терморезистивних властивостей плівкових матеріалів як чутливих елементів сенсорики обумовлений широким використанням датчиків в різних галузях промисловості в умовах контролю робочих параметрів при підвищених температурах.

Мета роботи полягала у вивченні фазового складу і терморезистивних властивостей плівкових матеріалів на основі Fe і Pd або Au з точки зору їх практичного застосування як чутливих елементів терморезисторів і сенсорів температури.

Плівкові зразки формувались методом термічного випаровування у вакуумі $10^{-4} - 10^{-5}$ Па. Температура відпалювання змінювалась в інтервалі 300 – 850 К. Розрахунок середнього (інтегрального) значення термічного коефіцієнта опору (ТКО) здійснювався за співвідношенням:

$$\beta = \frac{1}{R} \frac{\Delta R}{\Delta T}.$$
 Дослідження фазового складу проводилось методом

просвічуючої електронної мікроскопії (прилад ПЕМ-125К).

Результати вивчення фазового складу і кристалічної структури двохшарових плівок Pd (10 – 30 нм)/Fe (10 – 30 нм)/П вказують на те, що в інтервалі температур від 300 до 600 К внаслідок процесів конденсаційно-стимульованої дифузії відбувається утворення неупорядкованого твердого розчину ГЦК т.р. Pd(Fe). При $T > 600$ К активізуються процеси упорядкування і при $T = 850$ К відбувається формування упорядкованого ГЦТ т.р. (Pd,Fe). У плівках на основі Au і Fe з товщиною окремих шарів 10 – 60 нм стабілізується неупорядкований ГЦК т.р. Au(Fe). Отримано, що величина ТКО змінюється: для плівок на основі Fe і Pd – від 3,45 до $5,20 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ в інтервалі концентрацій атомів Pd від 10 до 90 ат.% та для плівок на основі Fe і Au – від 1,38 до $1,90 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ в інтервалі концентрацій атомів Au від 10 до 50 ат.%.

Таким чином, результати досліджень процесів фазоутворення та терморезистивних властивостей плівок на основі Fe і Pd або Au вказують на їх високу температурну стабільність та можливість застосування як чутливих елементів електронних приладів.

Робота виконана у рамках держбюджетної тематики кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики МОН України.

Магнітоопір плівкових матеріалів на основі Fe і Pd або Pt

Подопригора О.О., студент; Однорець Л.В., професор
Сумський державний університет, м. Суми

Упорядковані плівкові сплави на основі феромагнітних і благородних металів, в яких може бути реалізований ефект гігантського магнітоопору (ГМО), стають перспективними матеріалами для створення носіїв надщільного магнітного запису інформації. Мета роботи полягала у вивченні магніторезистивних властивостей плівкових матеріалів на основі Fe і Pd або Pt. Зразки були сформовані методом пошарової конденсації з наступною термообробкою в температурному інтервалі $\Delta T = 300 - 850$ К. Величина МО визначалася за співвідношенням

$$MO = \frac{R(B) - R(0)}{R(0)},$$

де $R(B)$, $R(0)$ – опір плівки при заданому полі і без поля.

Вивчення фазоутворення в багатошарових плівках на основі Fe і Pd або Pt, у яких мають місце процеси упорядкування атомів, дозволило встановити наступне: у процесі осадження внаслідок конденсаційно-стимульованої дифузії утворюється неупорядкований т.р. на основі Fe із ГЦК решіткою і параметрами $a = 0,388 - 0,393$ нм (плівкові матеріали на основі Fe і Pd) і $a = 0,375 - 0,385$ нм (плівкові матеріали на основі Fe і Pt); у процесі термообробки відбувається перехід до упорядкованого ГЦТ т.р.: при 780 К (плівки на основі Fe і Pd із загальною товщиною 10–50 нм) з параметром порядку $S = 0,85 - 0,90$ і параметрами решітки $a = 0,387 - 0,389$ нм і $c = 0,368 - 0,369$ нм або при 620К (плівки на основі Fe і Pt) із $S = 0,75 - 0,82$ та параметрами $a = 0,382 - 0,384$ нм і $c = 0,368 - 0,370$ нм.

У багатошарових плівках з кількістю фрагментів від 3 до 10, як до, так і після відпалювання до 800 К спостерігаються ознаки ГМО, а величина МО дещо зростає, що, скоріше за все, обумовлено процесами упорядкування і, до деякої міри, рекристалізаційними процесами; при $c_{Pd} = 35 - 65$ % величина МО становить 0,20–0,36 % (300К) і 0,09–0,59 % (780К).

Робота виконана у рамках держбюджетної тематики МОН України (2018 – 2020 рр.).

Автоматизований комплекс для дослідження стабільності елементів гнучкої електроніки

Васюхно М.В., студент; Тищенко К.В., асистент
Сумський державний університет, м. Суми

Розробка елементної бази гнучкої електроніки тісно пов'язана із вирішенням проблем, пов'язаних із механічним впливом на неї. Так, відомо, що зміна геометричних розмірів тонкоплівкових електронних компонентів призводить до зміни їх опору, і як наслідок, робочих характеристик, що має негативний вплив на роботу закінченого електронного пристрою. Знаючи, яким чином деформація впливає на роботу окремих складових електронного пристрою, можна передбачити та реалізувати компенсацію негативного впливу механічних чинників на їх електричні та електрофізичні властивості.

Для дослідження впливу механічних факторів на тонкоплівкові зразки нами було розроблено програмно-апаратний комплекс на базі деформаційної машинки з мікрогвинтом. Як показник стабільності нами було обрано відносну зміну опору від деформації (коефіцієнт тензочутливості), що дає якісне уявлення про зміну електричних характеристик (у нашому випадку опору) під дією механічних факторів. Апаратну частину комплексу було побудовано з використанням двоканального АЦП NI-MuDAQ для зчитування опору за чотирихточковою схемою; асинхронного двигуна, для приведення в рух мікрогвинта та оптичного енкодера, який дозволяє контролювати ступінь деформації. Обробка даних контролю положення мікрогвинта, із оптичного енкодера, здійснюється мікроконтролерною платформою Arduino із забезпеченням зворотнього зв'язку із приводом. Програмну складову було виконано як додаток у середовищі програмування LabVIEW, що забезпечує наступні можливості: зчитування опору досліджуваного зразка із частотою 10 р/с; контроль положення мікрогвинта через оптичний енкодер; зміна ступеня деформації за допомогою двигуна. Також програмне забезпечення дозволяє проводити експеримент за наперед заданим сценарієм: можна вказати кількість деформаційних циклів та інтервали між ними, швидкість деформації та частоту зчитування опору досліджуваного зразка.

Робота виконана у рамках д/б теми №0117U003925 (2017–2020 р.).

Керівник: Чешко І.В., докторант

Дослідження електричних і оптичних характеристик світловипромінювальних діодів

Сущенко Б.І., *магістрант*; Рилова А.К., *студентка*
Сумський державний університет, м. Суми

Світловипромінювальні діоди набувають стрімкого поширення через їх економічність та тривалий час світіння.

Матеріали для світлодіодів повинні мати ширину забороненої зони більше 1,7 еВ. Для сучасних світлодіодів застосовують головним чином GaP, SiC, а також тверді розчини - GaAlAs, GaAsP. Внесення в напівпровідник фосфору дозволяє одержувати світіння різних кольорів.

В роботі розроблено лабораторний стенд для вимірювання вольт-амперних характеристик, сили світла і температури світлодіодів. Його програмування здійснено за допомогою модуля Arduino Nano з мікросхемою ATmega328P, що через USB порт з'єднується з комп'ютером та програмується. Люксметр зібраний на основі датчика світла BH1750, калібрування якого проводилося із використанням промислового люксметра Ю116, контроль температури здійснюється термодатчиком DS18B20, струм і напруга фіксуються мультиметрами. Живлення стенду відбувається на базі мікросхем LM317 з напругою 4В та 6В.

Згідно експериментальних даних встановлено, що при зростанні величини електричного струму, опір світлодіодів значно знижується (залежність має експоненціальний характер), сила світла світлодіодів знаходиться у межах від 0 до 50000 лк при прямому струмі $I = 80 - 300$ мА та $U = 2,3 - 4$ В. Встановлено, що світлодіоди підключені в електричній ланці без запобіжного резистора розігріваються до 120 °С, а при його наявності лише до 40 °С. Суттєву роль у стабілізації характеристик світловипромінювальних приладів відіграє радіатор на підкладці.

Робота виконана у рамках д/б теми №0117U003925 (2017–2020 р.).

Керівник: Ткач О.П., *доцент*

Тензорезистивні властивості плівкових наносистем на основі пермалою та срібла як чутливих елементів тензодатчиків

Овруцький А.С., магістрант; Шуляренко Д.О., аспірант
Сумський державний університет, м. Суми

Протягом останніх десятиліть був проведений досить великий об'єм експериментальних досліджень, присвячених вивченню властивостей плівкових наносистем на основі магнітних і немагнітних металів. Систематичні дослідження явища гігантського магнітоопору (ГМО) в таких системах дозволили встановити, що величина магнітоопору залежить від таких факторів як матеріал компонент плівкової системи, метод та умови отримання, процеси дифузії та фазоутворення, інтервал термовідпалювання та ін. Детальне дослідження тензорезистивного ефекту в плівкових наносистемах відкриває перспективу створення на їх основі не тільки тензорезисторів і тензодатчиків, а й багатофункціональних сенсорів для одночасного контролю декількох фізичних параметрів.

У роботі наведені результати дослідження тензоефекту в плівках на основі пермалою (Pu) $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ та Ag з різною концентрацією атомів окремих компонент. Тонкоплівкові зразки отримувалися методом одночасного електронно-променевого випаровування зі швидкістю 0,1 нм/с з двох незалежних джерел елементів: Pu 79 НМ (79-80 мас.% Ni, 15-16 мас.% Fe; 4-5 мас.% Mo) та Ag на полістиролові підкладки (П). Загальна товщина плівок становила 30 нм. Концентрація компонент контролювалася методом рентгенівського енергодисперсійного аналізу (прилад Tescan VEGA3) з точністю до 1 ат.%. У результаті були отримані плівкові зразки у діапазоні концентрацій $c_{\text{Ag}} = 15-73$ ат.%.

Вивчення тензорезистивних властивостей проводилося протягом 3-х циклів «навантаження \leftrightarrow зняття навантаження» у деформаційному інтервалі $\Delta\varepsilon_i = 0-1$ % (рисунок 1а). Розрахунки інтегрального $(\gamma_i)_{\text{int}}$ та диференціального $(\gamma_i)_{\text{dif}}$ коефіцієнтів поздовжньої тензочутливості здійснювалися відповідно за співвідношеннями: $(\gamma_i)_{\text{int}} = R(0)^{-1} \cdot (\Delta R / \Delta\varepsilon_i)$ та $(\gamma_i)_{\text{dif}} = R_i^{-1} \cdot (dR_i / d\varepsilon_{ii})$, де $R(0)$ – опір при нульовій поздовжній деформації; R_i і dR_i – електричний опір плівкового

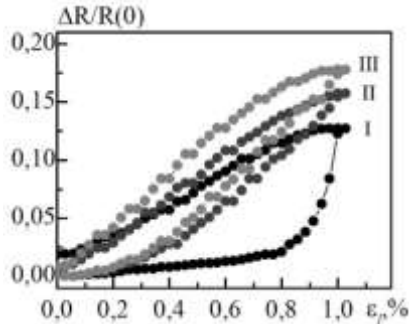


Рисунок 1 – Залежність $\Delta R / R(0)$ від ε_l для деформаційного інтервалу $\Delta\varepsilon_l = (0 - 1) \%$ для плівкової наноструктури на основі Ру та Ag загальною товщиною 30 нм при $c(\text{Ag}) = 20$ ат.%

зразка на початку деформаційного інтервалу $\Delta\varepsilon_{li}$ і його зміна при збільшенні поздовжньої деформації на $d\varepsilon_{li}$, відповідно.

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок про те, що в тензорезистивних властивостях плівкових систем, отриманих одночасною конденсацією компонент велику роль відіграє концентраційний ефект, а також механізм деформації. Установлено, що при зростанні вмісту пермалою відбувається різке збільшення інтегрального коефіцієнта тензочутливості. Максимум на концентраційній залежності $(\gamma_l)_{\text{int}}$ спостерігається при $c(\text{Ag}) = 32-35$ ат.%. Даний характер концентраційної залежності пов'язаний із одночасним проявом двох механізмів деформації (пружної та пластичної) на заданому деформаційному інтервалі. Крім того при зміні концентрації атомів магнітної компоненти відбувається зміна характеру процесів розсіювання електронів на межах зерен і доменів, що й призводить до нелінійності на залежності $(\gamma_l)_{\text{int}}$ від $c(\text{Ag})$.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0116U002623.

Керівник: Пазуха І.М., доцент

Тонкоплівковий чутливий елемент датчика магнітного поля на основі $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ та Ag

Овруцький М.С., студент; Шуляренко Д.О., аспірант
Сумський державний університет, м. Суми

Тонкоплівкові наноструктури на основі пермалою $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ (Py) та Ag, отримані методом одночасної конденсації, при певній концентрації компонент проявляють ізотропний магнітоопір та можуть бути використані як чутливі елементи датчики магнітного поля. При цьому в наслідок низької розчинності атомів окремих компонент даний тип наноструктур характеризується більшою температурною стабільністю, ніж системи на основі Py та Cu. Мета даної роботи полягала у визначенні умов формування чутливого елемента датчика магнітного поля з стабільними характеристиками та визначенні діапазону його температурної стабільності.

Методом одночасної електронно-променевої конденсації отримана серія зразків загальною товщиною 50-60 нм у діапазоні концентрацій $c(\text{Ag}) = 15-75$ ат. %. Концентрація компонент визначалася методом рентгенівського енерго-дисперсійного аналізу (прилад Tescan VEGA3) з точністю 1 ат. %. Дослідження магніторезистивних властивостей проводилося при кімнатній температурі за допомогою програмно-апаратного комплексу в зовнішньому магнітному полі $B = \pm 500$ мТ.

Аналіз отриманих польових залежностей магнітоопору (МО) при поздовжній, поперечній та перпендикулярній орієнтаціях магнітного поля показав, що найбільше значення магнітоопору $\text{MO}=1,47\%$ було отримано при $c(\text{Ag}) = 63$ ат. %. При цьому залежності $\text{MO}(B)$ мають ізотропний характер як у площині зразка, так і при переході до перпендикулярної орієнтації магнітного поля.

Термообробка досліджуваних наноструктур з концентрацією $c(\text{Ag}) = 63$ ат. %. протягом 20 хв. при 400 та 500 К призводить до зростання величини МО, відповідно до 1,56 та 1,82 %. Характер польових залежностей при всіх трьох орієнтаціях магнітного поля залишається незмінним.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0116U002623.

Керівник: Пазуха І.М., доцент

Спін-вентильні структури на основі благородних і феромагнітних металів для вимірювання магнітного поля

Сафіулін В.О., *магістрант*; Ткач О.П., *доцент*
Сумський державний університет, м. Суми

На основі явища гігантського магнітоопору створюється велика кількість електронних сенсорів та пристроїв спінтроніки: високочутливі голівки для зчитування інформації з магнітних носіїв, сенсори різного функціонального призначення; активні елементи інтегральної електроніки та ін.

Нами були проведені дослідження величини магнітоопору (МО) для спін-вентильних структур на основі Co з різними розділяючі прошарками: Ag та Cu у залежності від конфігурації протікання електричного струму (I) у площини зразка: перпендикулярно шарам зразка (CPP) (рис. 1) та уздовж (CIP).

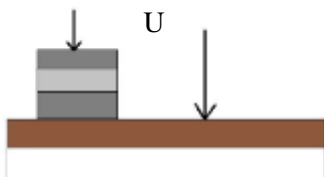


Рисунок 1 – Конфігурація розміщення контактних майданчиків в конфігурації CPP

отримані пошаровою конденсацією, величина МО вимірювалася у двох геометріях: $B \parallel I$ та $B \perp I$, де B – величина прикладеного магнітного поля.

У випадку спін-вентильної структури

Co(6)/Ag(6)/Co(20)/Cu(80)/П крива МО зі збільшенням B прямолінійно зростає та різко спадає з 0,4 до 0,1 % при $B = 380$ мТл, що можна пояснити

перемагніченням нижнього шару Co(20). Для зразків типу Co/Cu/Co/П можна говорити про збільшення значення МО у всіх трьох геометріях вимірювання при термообробці до 700 К. Це можна пояснити формуванням т.р. в багат шаровій плівковій структурі Co/Cu/Co/П. Максимальна амплітуда магнітоопору (МО = 0,2 %) спостерігається при $d_{Cu} = 10$ нм для поздовжньої геометрії вимірювання.

Робота виконана у рамках д/б теми №0117U003925 (2017–2020 рр.).

Реалізація моделі пучка електронів у системі растрового електронного мікроскопу

Барсегян Н.М., студент
Сумський державний університет, м. Суми

Мета роботи полягала у реалізації моделі пучка електронів у системі растрового електронного мікроскопу, котра призначена для вирішення задач формування пучка. Модель виконана у просторі Comsol multiphysics, що дозволяє швидко моделювати фізичні процеси. У моделі були реалізовані електромагнітні лінзи та дифракційні решітки. Через це модель дає можливість швидко змінити параметри та продемонструвати зміни у траєкторії. Аналогічних моделей не було розроблено, тому можна вважати розробку новітньою.

Також окрім траєкторії руху електронів, встановлено розподіл електричного та магнітного полів, що дає уяву про напруги у трубі растрового мікроскопу.

У проекті продемонстровані напруги на елементах, характеристики простору та лінійні розміри об'єкту.

Таким чином, використовуючи модель пучка електронів у системі растрового електронного мікроскопу були отримані картини електричного поля, магнітного поля та траєкторія руху.

Керівник: Дрозденко О.О., доцент

1. П. Хокс, Э. Каспер, *Основы электронной оптики*, пер. с англ., т. 1-2, М., (1993).

Програмна модернізація зношеної системи координатних рухів для ЧПК верстату

Храпай Р.Г., студент
Сумський державний університет, м. Суми

Дана робота присвячена підвищенню точності обробки заготовки на автоматизованих металооброблювальних центрах, які мають осі з механічно зношеними направляючими та шарово-гвинтовою парою, за допомогою програмної модернізації констант в системі SINUMERIC 840D. Не зважаючи на ряд обмежень та відсутності прямих параметрів для подібних дій, в системі присутні параметри, за правильної зміни яких таке стає можливим. У роботі були вивчені параметри осей та відібрані ті, які можуть впливати на точність витримування необхідного розміру з мінімальною похибкою, досліджено характер та величину зношеності механічних частин, проведені серії розрахунків комбінацій параметрів їх вплив на точність та безвідмовність системи за даних навантажень.

Напрацьовані результати показали при якому саме значенні ступеню зносу можна добитися бажаних результатів з мінімальною заміною механічних комплектуючих осі для максимальної економічної вигоди для власника ЧПК.

По-перше, порівняння витрат звичайного ремонту та з участю програмного корегування параметрів показало 40-90% економії в залежності від степені зносу механіки осей. Дане дослідження проводилося для досягнення потрібних результатів з витримування точності заданих розмірів обробки деталі.

По-друге, як показали експерименти, для максимально гарних результатів потрібні окремі розрахунки для кожної марки сталі та виду обробки. Тому в розрахунки було додано невеликий запас ресурсу для зменшення частоти корегування параметрів.

Таким чином, використовуючи програмне втручання були зменшені економічні витрати та збережено точність обробки. Це в свою чергу, продовжує працездатність ЧПК з потрібною точністю на декілька років незважаючи на досить велику зношеність основних механічних вузлів системи осей металооброблювального центру.

Керівник: Дрозденко О.О., доцент

Investigation of Ordered Structures Formed on the Surface of Piezoceramic Elements

Bondarenko I.I., *Assoc. Prof.*; Medianyuk V.V., *Post-graduate Student*;
Bondarenko M.A., *Assoc. Prof.*; Titarenko V.S., *Post-graduate Student*
Cherkasy State Technological University, Cherkasy

The impact, by the ribbon-shaped electron stream on the surface of piezoceramic elements (ZTS-19 material), with, by the thermo-vacuum deposition formed on them, ordered structures, leads to the formation in the piezoelement of zones with dimensions $(220 \dots 280) \times (120 \dots 150)$ mkm with different values of the piezoelectric modulus d_{31} and the electro-mechanical coupling coefficient K , which allows to create a piezoelectric circuit, confining itself by the volume of a separately taken piezoelement.

Further study of such piezoelements showed that the influence of the electron beam on them leads to a decrease in the porosity of the surface by 3 ... 5%, as well as an insignificant increase in the microhardness by 0.5 ... 0.8 Mpa. At the same time, the coefficient of electromechanical coupling in zones A (the formed structure) and B (the basic material of the piezoelement), fig.1, was, respectively, 0.48 and 0.44, and the piezomodule d_{31} in zone A increased by $0,4 \cdot 10^{-6}$ cm/stV, while in zone B - practically did not change ($4,315 \cdot 10^{-6}$ cm/stV against $4,312 \cdot 10^{-6}$ cm/stV), which is characteristic for a piezoceramic system ZTC.

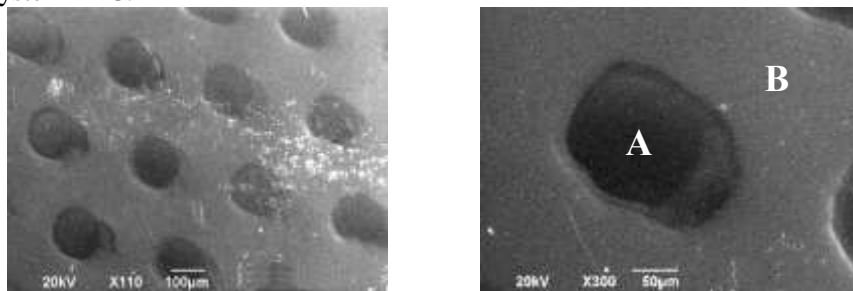


Figure 1 – Fragments of the surface of piezoelements with formed on them ordered structures by the combined electronic method. ZEISS EVO 50 XVP.

Based on the results obtained, it is further planned to study the dependence of the amplitude-frequency characteristics of piezoelectric elements obtained by the method described above, on the order and size of the ordered structures, and also, from the modes of impact on the surface of the piezoelectric element by the electron beam.

Квантова генерація у плазмонних наносистемах

Пуляєв Ю.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків

У даній роботі розглянемо спосіб збудження локальних полів з використанням поверхневого плазмонного посилення шляхом вимушеного випромінювання (surface plasmon amplification б stimulated emission of radiation "spaser") [1]. Як і в лазері, оптичний резонатор в спайзері являє собою систему, яка завдяки багаторазовому відбиванню дозволяє збільшити інтенсивність плазмона.

Квантові точки використовують як елементи резонатора через те, що вони можуть поглинати світло, а потім випромінювати його у вигляді монохроматичного сигналу у видимій та ультрафіолетовій частині спектру, довжину хвилі якого можна змінювати, при цьому змінюючи склад або розмір квантової точки. [2].

Важливим питанням є те, чи можуть ці темні власні моди збуджуватися (генеруватися) в спайзер. Це не тільки основне фундаментальне питання, а й ще має важливе значення для застосування спайзера.

У роботі проведено огляд проблеми створення та стабілізації характеристик випромінювання нанолазерів. Мета роботи полягала в дослідженні параметрів випромінювання нанолазерів та передбачається використання квантових точок як елемента резонатора.

Керівник: к.т.н., Курський Ю.С., доцент

1. M.I. Stockman, S.V. Faleev, D.J. Bergman, *Phys. Rev. Lett.* 88, (2002).
2. K. Ding et al., *Phys. Rev. B* 85 (2012).

Акустoeлектронний сенсор фізичних величин на поверхневих акустичних хвилях

Сухін Є. І., *магістрант*, Однoдворець К.С., *студент*;

Ткач О.П., *доцент*

Сумський державний університет, м. Суми

Розроблення сенсорних пристроїв на вітчизняному та світовому ринках є прогресивним напрямом в подальшому розвитку наноелектроніки. На основі поверхневих хвиль розроблена велика кількість сенсорів з високими показниками точності, що дозволяють вимірювати вагу, тиск, прискорення та ін. До переваг даних пристроїв можна віднести те, що вони створюються на основі елементів інтегральної електроніки, оптики та різноманітних мікроелектронних технологій і при цьому забезпечують контроль декількох фізичних величин. Проте актуальними залишаються питання пошуку нових матеріалів для підкладки та топології її виготовлення.

В роботі був розроблений стенд на основі акустoeлектронного сенсора, який призначений для вимірювання відстані до об'єкта. Схема складається з ультразвукового датчика відстані HC-SR04, що був запрограмований за допомогою модуля Arduino UNO з мікросхемою ATmega16U2. Принцип роботи стенду полягає в наступному: на вхід подається імпульс тривалістю 10 мкс при цьому генеруються ультразвукові імпульси з частотою 40 кГц через вихідний сенсор. Звукова хвиля відбивається від перешкоди і потрапляє в приймаючий сенсор. На виході формується імпульс, тривалість якого прямо пропорційна відстані, що вимірюється. В системі наявна попереджувальна звукова сигналізація, яка активується при відстанях менших за 10 см між чутливим датчиком і об'єктом. Було встановлено, що акустoeлектронний сенсор добре реагує як на об'єкти з гладкою поверхнею так і на пухнасті предмети.

Дане дослідження представляє інтерес в контексті розвитку безпровідних датчиків на поверхневих акустичних хвилях для дистанційного вимірювання фізичних величин.

Робота виконана у рамках д/б теми №0117U003925 (2017–2020 р.).

Исследование пьезоэлектрических датчиков с акустическим резонатором

Тычков Д.В., *магистрант*; Базило К.В., *доцент*;

Тычков В.В., *ст. препод.*

Черкасский государственный технологический университет,
г. Черкассы

Узкополосные пьезоэлектрические датчики широко используются в системах обеспечения от несанкционированного проникновения в помещения при разрушении стекла от ударов.

Разработана эквивалентная электрическая принципиальная схема пьезоэлектрического датчика (рис. 1) с акустическим резонатором методом электромеханических аналогий.

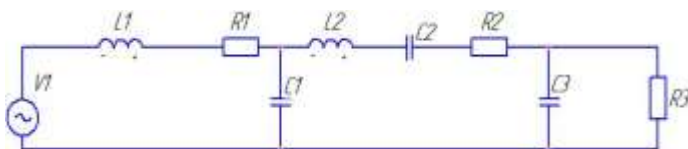


Рисунок 1 – Эквивалентная электрическая схема электроакустической системы с пьезоэлектрическим датчиком

При моделировании в системе Micro-Cap учитываем, что: $L1$ – акустическая масса, находящаяся в отверстии; $L2$ – акустическая масса биморфной диафрагмы; $R1$ – сопротивление отверстия (вязкие потери в пограничном слое стенок отверстия, вязкие потери на концах отверстия, потери на излучение на внешнем конце отверстия); $R2$ – сопротивление биморфной диафрагмы; $R3$ – сопротивление нагрузки; $C1$ – акустическая гибкость объема воздуха резонатора; $C2$ – акустическая гибкость биморфной диафрагмы; $C3$ – межэлектродная емкость пьезоэлектрического датчика.

Для подтверждения правильности построения эквивалентной электрической схемы были экспериментально определены амплитудно-частотные характеристики пьезоэлектрического датчика с акустическим резонатором, состоящего из пьезоэлектрического биморфного элемента от преобразователя ЗП-19 и четвертьволнового резонатора длиной L . Входное давление создавалось при помощи виброакустической камеры, на которую подавалось напряжение 1 В.

Ультразвуковий пристрій для інтенсифікації біохімічних процесів

Базіло К.В., канд. техн. наук; Заїка В.М., канд. техн. наук
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

Одним із перспективних фізичних методів впливу на речовини з метою інтенсифікації технологічних процесів є метод, заснований на використанні механічних коливань ультразвукового діапазону. Деякі процеси в біотехнології нерідко вимагають багато часу для отримання якісного продукту і можуть бути інтенсифіковані ультразвуком.

Енергетична криза, збільшення попиту на продукцію з поліпшеними і екологічно безпечними якостями викликали необхідність розвитку нових технологій вилучення екстрактивних речовин з рослинних матеріалів, які знаходять своє застосування в харчовій промисловості, косметології, хімічній промисловості тощо.

На рисунку 1 представлена схема генератора імпульсів, який може бути використаний при створенні ультразвукових коливань для інтенсифікації хімічних процесів у фармацевтиці.

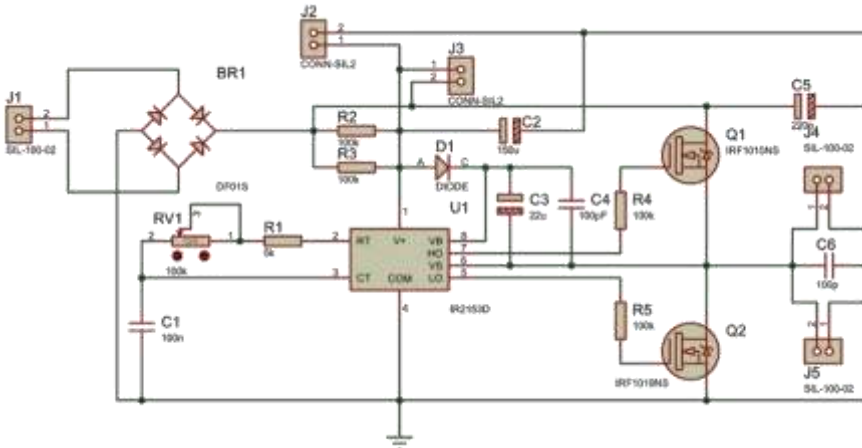


Рисунок 1 – Схема електрична принципова генератора імпульсів

Подальші дослідження авторів будуть спрямовані на створення мобільних малогабаритних ультразвукових систем для інтенсифікації хімічних процесів в фармацевтиці на основі п'єзоелектричних випромінювачів.

Програма для моніторингу чадного газу

Приходько В.В., *магістрант*

Сумський державний університет, м. Суми

Газові сенсори входять до складу датчиків або систем вимірювання та контролю. В даний час газові датчики використовуються у багатьох галузях – від побуту до потужних систем контролю різних видів газів на підприємствах, заводах та виробництвах. Від якості та правильності вибору типу газового датчику залежить безпека персоналу, мешканців житлових будинків, тощо.

Мета роботи полягає у вивченні конструкції та принципу дії газових датчиків різного типу, а також створенні програмного забезпечення для збору даних.

У роботі використовувався датчик чадного газу моделі MQ-7 та платформа Arduino. Для проведення вимірювань була розроблена програма із використанням візуальної мови програмування LabView 2016 для керування датчиком. Вона створена на основі сучасних методів програмування, таких як State Machine, події користувача та ін. Це зроблено для того, аби не було навантаження на систему в момент простою програми. Через програму задається кількість даних, які необхідно отримати, затримку між запитами та порт, до якого підключений датчик. Після того, як програма виконає необхідну кількість запитів, результат виводиться в масив. Потім їх можна записати в файл у вигляді текстових даних або бази даних.

В результаті серії експериментів було виявлено, що викиди чадного газу у автомобілях, які були протестовані повністю відповідають нормам, які складають 2300 ppm. У ВАЗ-211010 максимальне значення досягає 2030,4 ppm, у ВАЗ-2106 – 2002,5 ppm, а у Honda DIO 27 – 1813,4 ppm. Це вказує на те, що дані транспортні засоби придатні до експлуатації. Датчик MQ-7 є універсальним і може використовуватися не лише для виявлення CO, а ще і для вимірювання концентрації парів етанолу та природнього газу.

Керівник: Шумакова Н. І., *доцент*

Альтернативний метод отримання електроенергії з атмосфери

Дідоренко О.О.

Машинобудівний коледж Сумського державного університету,
м. Суми

Розробка нових альтернативних джерел електроенергії – один з важливих і актуальних напрямків розвитку науки і техніки. Розробки в цій сфері ведуться постійно, оскільки сучасний стан справ не може нас влаштовувати: способи отримання потрібних всім кіловат або неймовірно дорогі, або неекологічні.

Однією з таких розробок є прилад, який розробив С. Кругляк – учень однієї із шкіл м. Олександрія Кіровоградської області, який у 2016 році у США на Олімпіаді геніїв посів третє місце зі своїм проектом дешевого способу видобутку електроенергії під назвою «Отримання електроенергії з атмосфери». Основна ідея проекту полягає у видобутку корисних кіловат за допомогою штучної іонізованої хмари, яка може виконувати свою функцію завдяки сильному електричному полю навколо неї.

Відбувається це за рахунок сильної електричної поля, яка випромінюється іонізуючою баштою висотою в 50 м. Заряджені частки накопичуються електродами висотою до 150 м, в яких один кінець заземлений, а інший вільно піднімається вгору. Отриманий із повітря заряд збирається на електродах та генерує електричний струм. Через перетворювачі напруги електрика направляється споживачам.

Іншими розробками С. Кругляка є іонні та водневі котли. Принцип дії такого приладу наступний. Негативні заряди іонізатора завдяки кулонівським силам збирають позитивні іони з повітря. При зтисненні іонів води, виникає водяний конденсат. Конденсація 1 кг води, дає 2250 кДж тепла та відбувається генерування електроенергії. Процес супроводжується виділенням водню.

Оптичні властивості плівок MoS_2 для приладів функціональної електроніки

Данильченко П.С., студент; Опанасюк Н.М., доцент
Сумський державний університет, м. Суми

Останнім часом значно зріс інтерес дослідників до матеріалів з двовимірною кристалічною структурою, таких як MoS_2 , WS_2 , SnS_2 тощо. Унікальні електронні властивості цих сполук пов'язані з шаруватістю та високою питомою площею поверхні, роблять їх перспективними для створення приладів для зберігання енергії, випромінювання та поглинання світла, емісії електронів, каталізу, сенсорики, наносхем нового покоління, польових транзисторів та ін.

Дисульфід молібдену – напівпровідник з електронним типом провідності та сильними ковалентними зв'язками. Товщина одного шару складає 0,625 нм. Великий об'єм експериментальних і теоретичних досліджень вказує на те, що електричні, магнітні і електрохімічні властивості сполуки MoS_2 сильно залежать від товщини зразка. Так, наприклад, масивний кристал MoS_2 є напівпровідником з шириною забороненої зони 1,3 еВ, в той час як у одношаровій плівці MoS_2 ця величина сягає 1,9 еВ. Важливою властивістю сполуки також є висока рухливість носіїв, яка в масивному зразку становить $200\text{-}500 \text{ см}^2\text{V}^{-1}\text{c}^{-1}$, що робить її незамінною для створення швидкодіючих приладів, які працюють в області високих частот.

Мета роботи полягала у вивченні впливу зміни об'єму розпиленого розчину і температури відпалу на фазовий склад і оптичні властивості плівок MoS_2 , отриманих методом спреї-піролізу. Прекурсор, що розпорошувався, містив у водному розчині солі амонію молібденовокислого ($(\text{NH})_4\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$) та тіомочевини (NH_2CSNH_2). Нанесення плівок проводилося при температурі підкладки $T_s=423$ і 723 K з кроком 75 K та при молярній концентрації Mo у розчині $C_v=0,5; 1; 2$ моль/л. Структурні дослідження здійснювалися з використанням дифрактометра ДРОН 4-07 у випромінюванні кобальтового анода, оптичні характеристики знімалися з використанням спектрофотометра LI-722.

У результаті досліджень були визначені оптимальна молярна концентрація молібдену у розчині і температура відпалу, що необхідні для отримання якісних плівок приладового використання.

СЕКЦІЯ 5

«Електронні системи, прилади і засоби кодування інформації»

Побудова кодуючих пристроїв на квазірівноважних кодах

Скордіна О.М., *асистент*; Усик К.О., *студентка*;
Зозуля Д.О., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми

Основною метою роботи є продемонструвати як біноміальна система числення може бути застосована для реалізації ефективних схем перетворювачів та кодуючих пристроїв, які широко використовуються на практиці в якості генераторів індексів у відповідності до кодових комбінацій. Генератори індексів широко застосовуються у адресних таблицях у мережі Інтернет, базах даних, електронних словниках, термінальні контролери доступу у локальних мережах, у *memory-patch circuits* і т.п. [1] В роботі запропоновані до використання комбінації квазірівноважного коду, для яких розроблені методи нумерації (кодування) і генерування (декодування). Оскільки кодуючі пристрої, як правило не піддаються простій класифікації і їх схеми доводиться розробляти кожний раз індивідуально, використовуючи загальні правила алгебри логіки, актуальним є розробка схем, які мають регулярну структуру. Використання квазірівноважних кодів отриманих на основі біноміальних чисел, для побудови кодуючих пристроїв дозволяє застосувати ряд властивостей біноміальної системи числення і кодів, отриманих на основі біноміальних чисел. Ці властивості можуть бути застосовані для побудови ефективних схем кодерів (нумераторів), оскільки дозволяють розробити методи синтезу схем, які мають регулярну структуру, що значно спрощує їх практичну реалізацію

В роботі запропонована схемотехнічна реалізація кодуючого пристрою на квазірівноважних кодах. На входи схеми перетворювача подаються біти квазірівноважної кодової комбінації, а на виходах стандартне двійкове представлення номера. Одиничний біт квазірівнованої кодової комбінації робить вклад у значення відповідного індексу в залежності від позиції одиниці у кодовому слові.

Запропонована схема має регулярну структуру, яка залежить від параметрів біноміальної системи числення, що значно спрощує реалізацію кодуючих пристроїв на практиці.

1. N. Yamanaka, S. Shimizu, G. Shan, ONDM. 1, 3 (2010).

Solution of Combinatorial Problems by the Method of Random Search Based on Factorial Numbers

Goryachev A.E., *Senior Lecturer*; Moschna I.B., *Student*
Sumy State University, Sumy

Permutations are widely used in solving many combinatorial problems [1]. Permutations are an ordered set of different elements, each of which is represented by a number. In the course of solving a combinatorial problem, it is usually necessary to search through all the permutations with a certain number of elements. Each of the permutations will participate in the calculation of one of the possible solutions to the problem. Then the most effective solution will be chosen according to a predetermined criterion.

There are algorithms for quickly searching through permutations, but in the case when number of elements in permutations is high, their effectiveness decreases greatly. The time required for a full search of permutations increases exponentially, depending on the number of their elements. In those cases when it is impossible to obtain a solution of the problem by the complete search, methods of approximate solution are used. Such methods include the method of random search.

The method of random search is based on the choice of a certain number of random permutations from the whole set of permutations. In this case, there is an actual problem of random generation of permutations. This problem can be solved by randomly generating the number and converting it into a permutation. However, this method requires a sufficiently large number of calculations, since the number must first be converted to a factorial number, which in turn is transformed into a permutation [2].

It is possible to simplify this method by randomly generating a factorial number. It is necessary to generate separately the value of each digit of the factorial number. Next, the factorial number will be transformed into a permutation using the known method [3].

The proposed simplification will increase the speed of generation of random permutations when solving combinatorial problems by the random search method.

1. О.А. Ворисенко, О.Е. Горячев, АПЕ. **10** №100, 150 (2009).
2. А.Е. Горячев, *Вісник СумДУ. Техн. науки* **1**, 62 (2010).
3. А.Е. Горячев, С.А. Дегтяр, *Вісник СумДУ. Техн. науки* **4**, 86 (2012).

Моделювання фізичних процесів у напівпровідникових сонячних елементах на основі гетеропереходів n -ІТО(ZnO)/ n - CdS (n - ZnS , ZnSe)/ p - CZTS

Данильченко П.С., студент; Доброжан О.А., асистент;
Опанасюк А.С., професор
Сумський державний університет, м.Суми

Перспективним способом використання сонячної енергії є її перетворення в електричну, використовуючи сонячні елементи (СЕ), зокрема тонкоплівкові прилади типу “superstrate”, які мають багат шарову конструкцію. На теперішній час найбільш поширені СЕ першого та другого покоління на основі поглинальних шарів Si , CdTe , GaAs , $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$, які демонструють ефективність більшу за 20 %. Проте, у кожного з них існує ряд недоліків, так, наприклад, прямозонність кремнію призводить до збільшення затрат на виготовлення високочистих матеріалів внаслідок великої товщини приладу (>200 мкм); видобуток хімічних елементів In , As , Ga , Te є дорогим; Cd – токсичний метал. У теперішній час, як заміна традиційним поглинальним шарам тонкоплівкових СЕ розглядається сполука $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS), яка має оптимальні оптичні властивості (ширину забороненої зони (ЗЗ) – $E_g=1,50$ eВ, коефіцієнт поглинання – $\alpha=10^4\text{-}10^5$ cm^{-1}) для поглинання сонячного випромінювання та містить тільки широко поширені у природі та дешеві у видобутку хімічні елементи.

Основною метою даної роботи було дослідження впливу оптичних та рекомбінаційних втрат енергії на фотоелектричні характеристики (U_{oc} , FF , η) СЕ зі структурою скло/ІТО(ZnO)/ CdS (ZnSe , ZnS)/ CZTS та визначення їх оптимальних конструкцій та деяких властивостей шарів.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що найбільші значення ефективності має прилад з конструкцією $\text{ZnO}/\text{CdS}/\text{CZTS}$ ($\eta \sim 17$ % при $d_{\text{ZnO}} = 100$ нм, $d_{\text{CdS}} = 25$ нм). Слід зазначити, що ефективність добре відомого ФЕП з конструкцією ІТО/ CdS / CZTS складає (14,4-16,1)%. Ці значення досить добре корелюють з результатами отриманими для кращих ФЕП з аналогічною конструкцією ($\eta = 12,6$ %). ФЕП із віконним шаром ZnSe характеризуються також досить високими значеннями ККД $\eta = (13,6\text{-}16,0)$ %.

Фоточутливі плівки $Cd_{1-x}Zn_xTe$ для детекторів жорсткого випромінювання

Знаменщиков Я.В., *м.н.с.*; Курінський Б.Ю., *студент*;
Опанасюк А.С., *професор*
Сумський державний університет, м. Суми

Товсті полікристалі плівки $Cd_{1-x}Zn_xTe$ (CZT) з різною концентрацією цинку були отримані методом вакуумного термічного випаровування в квазізамкненому об'ємі на скляних підкладках вкритих підшаром ІТО. Проводилося вивчення електрофізичних властивостей та фотовідклику багатoshарових структур Au/CZT/ІТО з метою оцінки можливості їх використання в якості детекторів радіаційного випромінювання.

Дослідження часових характеристик фотовідклику проводилися з використанням пульсуючого світла білого світлодіоду, на який подавалися прямокутні імпульси струму. На Рис. 1 представлено типову для отриманих плівок CZT часову діаграму фотовідклику.

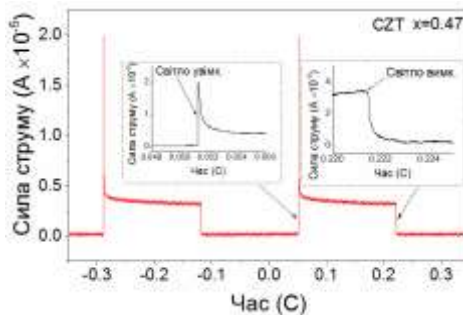


Рисунок 1 – Часова діаграма фотовідклику детекторної структури на основі товстої полікристалічної плівки CZT

Проведені дослідження дозволили встановити, що збуджуюче світлове випромінювання у видимому діапазоні може бути використане для оцінки детекторних властивостей товстих полікристалічних плівок CZT.

Голосовий інформатор автомобіля

Марченко В.В., студент; Новгородцев А.І., доцент;
Сумський державний університет, м. Суми

Для безпечної експлуатації сучасного автомобіля його бортова система контролю (БСК) має датчики інформації для контролю роботи основних вузлів. Враховуючи щільність транспорту на дорогах, розробка та удосконалення систем контролю бортових систем автомобіля є актуальною.

Невизначеність достатньої інформації про роботу бортових систем, може привести до аварійних ситуацій на дорогах. Більшість автівок обладнані графічною індикацією про стан основних вузлів. Такий засіб отримання інформації відволікає увагу водія від напрямку руху.

Недоліки таких систем контролю усуваються за рахунок організації інформування водія голосовими повідомленнями. Основні складові пристрою:

- блок під'єднання датчиків автомобіля з системою комутації вхідних сигналів (КВС);
- мікроконтролер (МК) із зовнішнім постійним запам'ятовуючим пристроєм (ПЗП);
- блока виводу голосової інформації (ВГІ).

Система опитує датчики і передає інформацію в КВС з послідуною обробкою її у МК. ПЗП зберігає виконуючу програму та голосові повідомлення. Блок виводу голосової інформації складається із цифро-аналогового перетворювача, фільтра Баттерворта для фільтрації нижніх частот, підсилювача низької частоти для поліпшення якості вихідного сигналу.

Даний пристрій інформує водія про стан бортових систем автімки не відволікаючи його уваги від напрямку руху. Це суттєво підвищить безпечність руху та виникнення неполадок у бортових системах через недостатність інформації. Видача повідомлення супроводжується тональним сигналом для зосередження уваги водія. У програмі передбачено повтор повідомлення з тональним сигналом. Для виводу голосової інформації до БСК вмикають окремий динамік, або штатний від автомагнітоли. Пристрій голосового інформатора має достатньо високу ступінь інформативності та надійності.

Оцінка параметричного стану автоматизованих виробничих процесів

Домніч О.С., студент; Новгородцев А.І., доцент;
Протасова Т.О., ст. викладач
Сумський державний університет, м. Суми

Ефективне вирішення задач при автоматизації виробничих процесів є їх параметрична ідентифікація. Математичний опис виробничих процесів складних об'єктів повинен враховувати взаємозв'язок технологічних факторів, а також випадковий вплив при яких параметри виробничих процесів змінюються не одиноким образом.

У зв'язку з цим використання детермінованих моделей, які визначають параметри виробництва не дозволяє виділити указані залежності. Для практичних цінностей та підвищення достовірності отриманих результатів необхідно переходити до ймовірно-статичним моделям, які забезпечують визначення технологічних факторів, оптимізуючи параметри виробничих процесів.

Для підвищення достовірності моделювання на стадії майбутнього прогнозування пропонується параметри виробничих процесів ідентифікувати за даними вимірів на основі мінімізації критерію оцінки параметричного стану.

Запропонований метод полягає у тому, що для знаходження невідомих параметрів диференційного рівняння моделі виробничих процесів як функції часу, виконується мінімізація критерію оцінки параметричного стану даного процесу.

Дослідження запропонованого методу ідентифікації на основі проведення чисельних експериментів показали високу збіжність алгоритму: похибка у визначенні ідентифікованих параметрів зменшилася у 5 разів, а критерій якості зменшився у 50 разів за 10 ітерацій.

Теоретичні та експериментальні дослідження підтверджують ефективність алгоритму запропонованого методу, а також дозволяють використовувати дані результати при вирішенні задач синтезу математичного забезпечення у системах автоматизації виробничих процесів.

Дешифратори кодів Фібоначчі

Борисенко О.А, *професор*; Маценко С.М., *асистент*;
Посна Е.М., *студент*; Титаренко О.А., *студент*;
 Савостьян А.М., *студент*
 Сумський державний університет, м. Суми

Одними з основних вузлів цифрової техніки є дешифратори кодів, які застосовуються у багатьох пристроях. Як відомо, їх можна будувати різними методами на основі завадостійких систем числення, однією з яких є фібоначчівська. Характерною особливістю фібоначчівських чисел є наявність хоча б одного нуля між двома одиницями, що знаходяться поруч.

В табл. 1 приведений приклад фібоначчівських чисел для ряду 1, 2, 3.

Таблиця 1 – Фібоначчівські числа для ряду 1, 2, 3.

Номер розряду	3	2	1
Вага розряду	3	3	2
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	1	0	0
4	1	0	1

В основі фрактального дешифратора Фібоначчі лежить метод дешифрації фібоначчівських чисел, який залишаючи можливість виявлення помилок суттєво зменшує кількість апаратних витрат на його побудову. Перевагою такого дешифратора є зменшені апаратні витрати на його реалізацію за рахунок використання властивостей фрактальності чисел Фібоначчі.

Більш простими у побудові є лінійний дешифратор Фібоначчі. Його основною ідеєю є побудова для кожного двійкового числа добутку логічних змінних із інверсіями для змінних рівних 0, та без інверсії для змінних рівних 1. Таким чином, при надходженні двійкового числа, один із логічних добутків буде рівним 1, тобто буде здійснена дешифрація відповідного двійкового числа.

Метод побудови лінійних дешифраторів має недолік у великій кількості апаратних витрат, які слугують для побудови пристрою.

Вплив оптичних втрат на ККД гетероперехідних фотоперетворювачів на основі міді

Д'яченко О.В., *мол. наук. співроб.*; Фролов А.І., *студент*;
Опанасюк А.С., *професор*
Сумський державний університет, м. Суми

Останнім часом багато зусиль вчених було приділено підвищенню ефективності неорганічних фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) на основі тонких шарів міді, оскільки цей матеріал є екологічно безпечним, дешевим та широко розповсюдженим у природі. Як віконний шар у таких гетероперехідних ФЕП звичайно використовується ІТО, а останнім часом оксид цинку легований алюмінієм ($ZnO:Al$). Однак ефективність таких приладів залишається низькою. У зв'язку з цим запропоновано легувати ZnO ізовалентною домішкою магнієм ($Zn_{1-x}Mg_xO$), що покращує узгодження двох матеріалів віконного та поглинального.

У роботі було досліджено вплив оптичних втрат світла в допоміжних шарах приладу на ефективність гетероперехідних ФЕП з вікном з $n-ZnO$ та $n-Zn_{1-x}Mg_xO$, де вміст магнію дорівнює $x=0,3$. В результаті моделювання встановлено, що сонячний елемент (СЕ) з шаром твердого розчину має значення коефіцієнту оптичних втрат на 3,86 – 4,07% більше ніж для аналогічної структури з шаром ZnO .

З врахуванням оптичних втрат, нами було розраховано струм короткого замикання та ККД таких СЕ. Для визначення ефективності були взяті значення напруги холостого ходу, що дорівнювали висоті контактної різниці потенціалів на відповідних гетеропереходах ($U_{oc} = (0,87 V)_{CuO}$ та $(0,5 V)_{Cu_2O}$) для ZnO та ($U_{oc} = (0,94 V)_{CuO}$ та $(0,57 V)_{Cu_2O}$) для $Zn_{1-x}Mg_xO$. При цьому взяте максимально можливе значення фактора заповнення ВАХ СЕ $FF = 89\%$.

Встановлено, що значення ефективності ФЕП досягають $\eta = 18,03\%$ для структури з шаром $Zn_{1-x}Mg_xO$ і $\eta = 17,37\%$ - з ZnO , якщо як поглинальний шар використовувався $p-CuO$ та $\eta = 6,33\%$ ($Zn_{1-x}Mg_xO$) і $\eta = 5,91\%$ (ZnO) - $p-Cu_2O$. Досить низькі значення ефективності приладів з шаром Cu_2O пояснюються суттєво більшим значенням ширини забороненої зони матеріалу порівняно з CuO .

Визначено, що не зважаючи на дещо гірші оптичні властивості ФЕП з шаром $Zn_{1-x}Mg_xO$, завдяки узгодженню параметрів віконного та поглинального шару, ККД такого приладу на 0,65% вищий ніж у структури з віконним шаром ZnO без домішки магнію.

АВ-сжатие двоичной информации для телекоммуникационных систем

Савченко Ю.В., студент; Кулик И.А., доцент
Сумский государственный университет, г. Сумы

Большие объемы информации, передаваемой по современным телекоммуникационным системам, требуют все более широкого применения методов и средств сжатия данных. Информационное сжатие позволяет, с одной стороны, увеличить скорость передачи без увеличения полосы пропускания канала связи, а, с другой, уменьшить объем запоминающих устройств для хранения данных в телекоммуникационных системах. Анализ данных в телекоммуникациях показывает, что они характеризуются разнообразием видов и представлений, к тому же в них широко представлены изображения, отличающиеся значительной информационной избыточностью.

Для эффективного сжатия такой разнородной информации предлагается адресно-векторный метод или АВ-сжатие, которое отличается высокой скоростью выполнения операций кодирования и декодирования и относится к классу универсальных методов сжатия.

АВ-сжатие основывается на переключении между адресным и векторным методами кодирования двоичных n -разрядных последовательностей. Условие переключения между указанными кодирующими методами задается системой условий АВ-сжатия вида:

$$\begin{cases} 0 \leq k < \alpha - 1 \\ n - \alpha + 1 < k \leq n \end{cases}$$

где k – число двоичных единиц в сжимаемой n -разрядной последовательности, а $\alpha = n / \lceil \log_2 n \rceil$.

Преимуществами данного метода сжатия, который разработан на кафедре электроники и компьютерной техники, являются высокая скорость проведения операций, что особенно полезно при обработке цифровых изображений, универсальный характер по отношению к виду сжимаемых данных и простота технической реализации, которая заключается в использовании простых операций подсчета двоичных единиц и формировании адресов разрядов.

Биномиальное сжатие информации для телекоммуникационных систем

Гайворонская А.Г., студент; Кулик И.А., доцент
Сумский государственный университет, г. Сумы

В структуре современных телекоммуникационных систем все большее распространение получают блоки и узлы, предназначенные для сжатия передаваемой информации. Использование методов сжатия является одним из эффективных и простых способов повышения скорости передачи данных, а значит, в целом, и производительности системы связи. Следует отметить, что такое повышение, как правило, не связано с необходимостью внесения дорогостоящих изменений в структуру телекоммуникационной системы и самой каналобразующей аппаратуры.

Одним из перспективных методов сжатия информационных последовательностей является метод на основе двоичных биномиальных чисел, разработанный на кафедре электроники и компьютерной техники. В его основу положен тот факт, что структуру равновесного n -разрядного кода составляют биномиальные числа, генерируемые двоичной (n,k) -биномиальной системой счисления. Для перехода же от любой двоичной последовательности к соответствующей равновесной комбинации достаточно подсчитать и далее использовать количество k двоичных единиц в исходной комбинации. После подсчета числа k единиц определяется (n,k) -биномиальная система счисления и системы кодообразующих ограничений, позволяющие выделить из равновесных комбинаций двоичные (n,k) -биномиальные числа. Полученные числа, являющиеся сжатыми образами исходных равновесных комбинаций, занимают заметно меньшее количество двоичных разрядов и в среднем для сжимаемого информационного массива при определенных условиях можно получить достаточно существенные коэффициенты сжатия.

Преимуществами рассматриваемого метода сжатия на основе двоичных биномиальных чисел являются простота аппаратно-программной реализации, которая заключается в использовании простых операций конкатенации и декатенации, подсчета двоичных единиц (или нулей), подсчета двоичных разрядов, а также высокая скорость сжатия и восстановления двоичной информации.

Устройство вычисления числа двоичных единиц

Бугайов А.А., студент; Кулик И.А., доцент
Сумский государственный университет, г. Сумы

Подсчет двоичных единиц является важной операцией в различных прикладных приложениях, например, двоичном кодировании при построении различных кодов, автоматизации промышленных процессов при анализе дискретной информации, сжатии данных. Так, знание о числе k единиц позволяет формировать известные коды Бергера, Левенштейна, равновесные коды; количество k единиц в дискретных последовательностях позволяет судить о состоянии управляемых объектов в системах автоматизации; вычисление числа k двоичных единиц необходимо для проведения биномиального сжатия двоичных комбинаций. Во многих случаях вычисление k единиц требуется проводить с высокой скоростью при минимуме аппаратно-программных затрат.

Предлагается усовершенствование известного способа подсчета единиц в двоичной последовательности A_j , основанного на вычислительной процедуре $A_j \leftarrow A_j \wedge (A_j - 1)$, которая проводится до тех пор, пока $A_j = 0$. Усовершенствование заключается в том, что одновременно с тем, как обрабатывается комбинация A_j , проводится параллельно такая же операция и над ее инверсией $\overline{A_j}$. Это позволяет минимум в два раза ускорить процесс вычисления значений k .

Цифровое устройство, реализующее предлагаемый способ подсчета числа k единиц, должно быть способным проводить арифметические и логические операции над разрядами двоичных последовательностей. В общем виде его можно представить состоящим из двух каналов, в первом из которых обрабатывается комбинация A_j , а во втором, ее инверсия $\overline{A_j}$. Основными блоками такого устройства являются блоки вычитания, блоки конъюнкции, блок счетчика суммы, блок счетчика вычитания и блок коммутации, т.е. достаточно простые в схемотехнической реализации блоки.

Рассматриваемый способ подсчета числа единиц в двоичной последовательности и его практическая реализация позволяет существенно уменьшить время выполнения указанной операции.

Ретранслятор УКХ радіоканалу системи передачі даних

Дунь А.А., студент; Гриненко В.В., доцент
Сумський державний університет, м. Суми

У бездротових радіоканалах передача інформації здійснюється за допомогою радіохвиль. В інформаційних мережах використовуються хвилі частотою від сотень мегагерц до десятків гігагерц. Радіоканали використовуються в якості альтернативи кабельним системам при об'єднанні мереж окремих підрозділів і підприємств. Але часто через обмеження дальності поширення радіохвиль використовують ретрансляцію випромінюваних сигналів з рознесенням частот приймача та передавача.

Ретранслятор (репітер) УКХ радіоканалу призначений для збільшення дальності дистанційного збору даних з різних приладів без доступу в приміщення на віддалені об'єкти. Застосування приладу надає можливість збирати інформацію з віддалених датчиків, наприклад, можливість постановки на охорону замських об'єктів, де телефонна мережа відсутня або недостатньо розвинена.

Для проектування системи передачі даних необхідно розрахувати місця розташування зону обслуговування ретранслятора, що забезпечить якісну передачу інформації з врахуванням обмеження потужності передавачів для врахування санітарних вимог. При цьому необхідно враховувати перешкоди, які зумовлені як взаємним впливом приймача та передавача, так і промислові (ефірні) перешкоди. Так як, процес поширення радіохвиль достатньо складний використовується моделювання поширення радіохвиль, яке засноване на передбаченні середнього рівня сигналу, на заданій відстані від випромінювача, а також у визначенні розкиду його значень в залежності від конкретної ситуації на трасі.

В розрахунках використовувалась модель поширення радіосигналу у вільному просторі для розрахунку прийнятого сигналу в умовах, коли передавальна і приймальна антени знаходяться на відкритій місцевості. Ця модель застосовується для аналізу радіоканалів зв'язку через супутники і для наземних радіоліній. Проведені розрахунки поширення УКХ у вільному просторі дали можливість визначити потужність підсилювача передавача УКХ-радіосигналу.

Цифрова система комутації для міні-АТС

Ємельяненко Д.О., студент; Гриненко В.В., доцент;
Сумський державний університет, м. Суми

Оптимальним способом забезпечення телефонним зв'язком офісу є використання офісної АТС на основі Міні-АТС. Такі системи забезпечують комутацію абонентів як усередині організації так і з зовнішніми абонентами і реалізують розділення телефонної мережі на "внутрішню" і "зовнішню", що дозволяє суттєво економити на телефонному зв'язку.

На сьогодні найбільш поширені цифрові офісні АТС які мають можливість повністю пристосуватися до існуючої телекомунікаційної системи офісу, до двопровідної абонентської мережі та підтримувати зв'язок через комутовані мережі (IP- телефонія).

Одним з головних модулів Міні-АТС є система комутації, яка ієрархічно побудована з головного модуля для керування функціями цифрової комутації і централізації функцій технічної експлуатації й обслуговування системи та з виносних комутаційних та абонентських модулів.

Задача проектування системи комутації полягає в забезпеченні заданої кількості абонентів телефонним зв'язком з зазначеними показниками якості. Для розрахунку запропонованої системи використовувався математичний апарат теорії масового обслуговування. При проведенні обчислень була обрана математична модель системи. За результатами розрахунків на основі середнього часу розмови, середнього часу обробки поста сигналів, середнього числа дзвінків на годину і цільового часу очікування клієнта на лінії та кількості абонентів були отримані параметри для побудови системи комутації для обслуговування зазначеної кількості абонентів з використанням двох різних технологій TDM і VoIP.

1. Дж. Беллами, *Цифровая телефония* (Москва: Эко-Трендз, 2004).
2. М.А. Бирку, О.Р. Ходасевич, *Цифровые системы синхронной коммутации* (Москва: Эко-Трендз, 2001).

Фотофект у приладовій структурі на основі гетеропереходу SnS/CdS

Подопригора О.О., студент; Єрмоменко Ю.С., мол. наук. співроб;
Возний А.А., аспірант; Фролов А.І., студент; Опанасюк А.С.,
професор

Сумський державний університет, м. Суми

В наш час відбувається активний пошук перспективних матеріалів та розробляються нові підходи до створення приладових структур з підвищеною ефективністю перетворення сонячної енергії в електричну. Для створення фотоперетворювачів (ФЕП) третього покоління в якості поглинального шару сьогодні почала використовуватися сполука сульфиду олова, яка відноситься до групи A_4B_6 . SnS – нетоксичний, дешевий матеріал, складові елементи якого широко розповсюджені у земній корі. Як віконний шар у таких ФЕП звичайно використовується CdS. В роботі було створено та вивчено основні робочі характеристики сонячних елементів на основі гетероструктури ІТО/CdS/SnS.

Напівпровідникові шари SnS, CdS отримувались випаруванням шихти в квазізамкненому об'ємі з використанням установки ВУП-5М на очищених скляних підкладках з нанесеним струмопровідним шаром ІТО. Сполука CdS, що має n -тип провідності, випаровувалася при температурі випарника $T_e = 700$ °C та осаджувалася при $T_s = 450$ °C. На цей шар конденсувалася плівка SnS p -типу провідності - при $T_e = 725$ °C та $T_s = 250$ °C. Час нанесення напівпровідникових шарів відповідно становив 3 хв. для CdS і 2 хв. для SnS. Для визначення основних робочих характеристик сонячних елементів (напруги холостого ходу V_{oc} , густини струму короткого замикання J_{sc} , фактору заповнення вольт-амперної характеристики (FF) і коефіцієнту корисної дії η) при кімнатній температурі були зняті та проаналізовані їх темнові та світлові вольт-амперні характеристики (ВАХ). Вимірювання світлових ВАХ проводилося з використанням симулятора сонячного випромінювання в умовах АМ-1,5.

В результаті досліджень встановлено, що темнові ВАХ гетеропереходу n -CdS/ p -SnS мають типовий діодний характер з коефіцієнтом випрямлення струму 200 при нарузі 0,5 В. При освітленні в приладі спостерігався фотоелектричний ефект. Аналіз світлових ВАХ свідчить, що відповідні сонячні елементи мали наступні характеристики $V_{oc}=0,058$ В, $J_{sc}=3,38$ мА/см², $FF=0,41$ та $\eta=0,095$ %.

Інтелектуальні пристрої для «розумних» мереж

Бережна О.В.¹, доцент; Арбузов В.В.², ген. директор;
Безгинський В.В.¹, студент; Клок О.В.¹, студент

¹Сумський державний університет, м. Суми

²Енергосервісне підприємство «Преобразователь», м. Суми

Ефективність використання інформаційних потоків в сучасній «цифровій» економіці функціонально залежить від ступеня розвитку інформаційно-комунікаційних технологій. Одним з актуальних напрямків цього розвитку є побудова інтелектуальних електричних мереж, які об'єднують різноманітні цифрові датчики за допомогою сучасних технологій передачі даних, що стрімко розвиваються.

Аналіз показав, що якість «розумних» мереж залежить від того наскільки швидко на ринку засобів автоматизації з'являться дешеві, мініатюрні інтелектуальні датчики, які мають широкий спектр комунікаційних можливостей, розвинуту функціональність з оцінки стану об'єктів автоматизації та вимірювання технологічних параметрів процесу транспортування, розподілу та споживання різних видів енергоресурсів. При побудові таких датчиків принциповим питанням є вибір апаратної платформи, за допомогою якої стане можливим досягнення всіх перелічених експлуатаційних характеристик та можливостей «розумних» датчиків.

Дослідження показали, що в останній час у зв'язку з появою швидкодіючих (до 300 МГц) програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) великої потужності (3-10 млн логічних вентилів) та наднизьким рівнем енергоспоживання стало доцільним реалізацію функцій реєстрації дискретних сигналів, аналого-цифрового перетворення, завадостійкого кодування, криптографічних перетворень здійснювати із застосуванням системи на кристалі будь-яких виробників.

Вибір в якості апаратної платформи ПЛІС дозволяє побудувати та в стислі терміни вивести на ринок інтелектуальний датчик з необхідним набором функцій, з формуванням вимірювальної інформації у вигляді завадостійких біноміальних кодових комбінацій, з наявністю вбудованих послідовних портів передачі даних для різних технологій передачі даних, що можуть оновлюватись в процесі експлуатації без заміни датчика.

Блок живлення з програмною установкою параметрів

Барановський О.А., студент; Новгородцев А.І., доцент
Сумський державний університет, м. Суми

До блоків живлення сучасних електронних пристроїв пред'являються підвищені вимоги. Якість параметрів таких джерел забезпечує надійну роботу пристроїв електронної техніки. У запропонованому джерелі живлення передбачена програмна установки порогів вихідної напруги та струму, підвищення яких неможливо не тільки у результаті найбільш вірогідних неполадок блоку, а також при необережних діях на його оперативні органи регулювання. Це ефективно захищає апаратуру, яка живиться від цього блоку.

Вихідну напругу блоку живлення від 1,2 до 24 В встановлюють резисторами грубого і точного налаштування. Індикатори блоку показують тривале визначення напруги з дискретністю 0,1В та струму навантаження до 2,0А з дискретністю 10 мА. Блок захищений від підвищення максимальних значень напруги та струму, а також від короткого замикання виходу. Безперервно вимірюється температура тепловідводу регульованого стабілізатора напруги і якщо вона перевищує допустиму на 2,0⁰С, то автоматично вмикається вентилятор. Тип датчика температури програма мікроконтролера визначає автоматично.

Блок живлення складається із 4-х основних функціональних вузлів: імпульсного джерела живлення, регульованого стабілізатора вихідної напруги та стабілізаторів напруги +12В і +5,0В.

Всі операції по визначенню параметрів з датчиків, завдання режимів роботи та виводу інформації на індикатори виконує мікроконтролер PIC16F1827-I/SO. Регульований імпульсний стабілізатор напруги зібраний на мікросхемі LM2576T-ADJ, а нерегульований на мікросхемі KP142EH8Б.

Навантаження блоку живлення увімкнене через контакти реле. Це зроблено з метою відмикання навантаження при спрацюванні системи захисту. Виміряні параметри напруги та струму відображаються на 3-х розрядних індикаторах.

Застосування адаптивного шифрування в автоматизованих системах

Бережна О.В., доцент; Качан Ю.Ю., студентка;
Шевченко М.С., студент; Гермес М.О., студент;
Сумський державний університет, м. Суми

Однією з актуальних задач при побудові інформаційних каналів в розподілених автоматизованих системах є забезпечення з мінімальними витратами достатнього рівня захисту інформації від несанкціонованого доступу при різних рівнях криптографічних загроз в тракті передачі інформації.

Аналіз показав, що забезпечення достатнього рівня захисту при мінімальних ресурсних витратах пов'язано із застосуванням адаптивної зміни параметрів алгоритмів шифрування, коли кожному набору адаптивних параметрів шифрування можна спрогнозувати криптостійкість запропонованого криптографічного перетворення.

В результаті досліджень виявилось доцільним при шифруванні застосовувати алгоритми подвійної перестановки, обрав в якості варіативних параметрів для адаптивного шифрування розмір шифрувальних таблиць, кількість рядків і стовпців в них, різні способи заповнення таблиць, такі, наприклад, як заповнення зигзагом, змійкою, по спіралі або іншим способом.

Для оцінки ефективності різних параметрів шифрування здійснювались початкова та поточна оцінки їх криптостійкості по відношенню до відомих видів таких криптографічних атак, як атаки методами «грубої сили» та лінійного методу криптоаналізу. При цьому стійким вважався алгоритм, який вимагав від противника для досягнення успіху значних ресурсів, значного обсягу перехоплених відкритих і зашифрованих повідомлень та значного часу розкриття, по завершенню якого захищена інформація втратить свою актуальність.

Застосування раціональних для програмної та апаратної реалізації алгоритмів шифрування методом подвійної перестановки та отриманих способів оцінки прогнозованої криптостійкості для кожного з варіантів при адаптивному шифруванні дозволяє забезпечити з мінімальними витратами достатній рівень захисту інформації від несанкціонованого доступу при різних рівнях криптографічних загроз в інформаційних каналах розподілених автоматизованих систем.

СЕКЦІЯ 6

«Електротехніка»

Зарубіжний досвід побудови і реформування ринків електроенергії

Хандюк А.В., *студент*; Петровський М.В., *доцент*;
Сотник І.М., *професор*
Сумський державний університет, м Суми

Від ефективності функціонування ринку електроенергії залежить ефективність діяльності всіх електроспоживачів, розвиток і конкурентоспроможність галузей промисловості. На даний час уряди різних країн переглядають природний монополізм електроенергетики і вводять до нього елементи конкуренції.

Метою дослідження є розгляд наявних зарубіжних методологічних підходів і вироблення пропозицій щодо найбільш прийнятних способів реформування електроенергетичної галузі для вибудовування найбільш ефективної системи економічних, організаційних, технологічних і виробничих відносин між електромережними, генеруючими і збутовими компаніями та зі споживачами на оптових та роздрібних ринках електроенергії.

Аналіз зарубіжного досвіду показує, що зростання конкуренції за рахунок появи нових суб'єктів не призводить до підвищення надійності функціонування електроенергетичних систем. Крім того, вільна конкуренція може сприяти скороченню генеруючих потужностей, призводити до зниження надійності електропостачання споживачів, маніпуляції цінами і до непередбачуваного їх росту. Споживач повинен бути забезпечений якісною електроенергією в необхідній кількості, незалежно від того, яка компанія обслуговує дану територію.

Проаналізовано досвід становлення і розвитку ринків електричної енергії та їх реформування в різних країнах світу: Швеція, Франція, Німеччина. Описані принципи організації ринків електроенергії, методи управління і нагляду за їх функціонуванням, а також заходи, що вживаються для подальшого розвитку галузі. Зроблені висновки щодо доцільності прийняття реформ зарубіжних країн в Україні для поступового виходу на високий рівень виробництва електроенергії, збільшення її якості та зменшення собівартості.

Пристрій виявлення міжвиткових замикань в котушках на феромагнітних осердях

Панкевич С.В., *студент*; Косенко І.М., *студент*
Сумський державний університет, м. Суми

Проблема пошуку короткозамкнених витків залишається актуальною в енергетиці. Так несправність обмотки електричної машини чи трансформатора може призвести до некоректної роботи механізму чи повного виходу його зі строю. Дуже часто повна перемотка не потрібна, але й виявити пошкоджене місце дуже складно, так як воно може бути під ізоляцією чи глибоко між витків обмотки.

За статистикою, 40% несправностей електричних машин спричинені міжвитковим замиканням. Причинами його можуть бути як порушення технології намотування, так і порушення цілісності ізоляції емальованого проводу, що намотується. Також причиною може бути неправильна експлуатація електричної машини.

Основними методами виявлення КЗ-витків, які описуються в літературі є вимірювання опору обмоток та порівняння їх між собою. Цей метод є досить не точним та незручним тому, що при замиканні одного витка (не групи) значної зміни опору обмотки не спостерігається. Але вплив на роботу електричної машини буде значним: температура пошкодженого місця та струм в обмотці зростають. Це в подальшому призведе до ще більшого руйнування ізоляції, і як результат виходу зі строю електричної машини.

Ціллю даної роботи є виготовлення та дослідження роботи пристрою, який зможе визначити наявність КЗ-витків в обмотці без демонтажу її з осердя. Це значно полегшить подальший ремонт та зменшить матеріало та ресурсозатрати на відновлення працездатності електричної машини.

Принцип дії досліджуваного пристрою засновано на реєстрації реакції контуру ударного збудження, на імпульс напруги. Контур складається з вбудованого конденсатора та досліджуваної обмотки. Якщо короткозамкнених витків немає, то при підключенні до котушки зарядженого конденсатора в контурі виникають коливання, що затухають, а якщо такі витки є – аперіодичні.

Керівник: Волохін В. В., *доцент*

Моделювання та контроль характеристик асинхронних двигунів у програмному середовищі LabVIEW

Петренко Н.С., *студент*; Петровський М.В., *доцент*
Сумський державний університет, м. Суми

На даний час найбільш поширеними для промислового застосування є трифазні асинхронні двигуни. Вони мають виконання як з короткозамкненим, так і фазним ротором (контактними кільцями). Їх широке застосування обумовлено простою будовою, якісними експлуатаційними характеристиками та надійністю. Для підвищення надійності роботи асинхронних двигунів необхідно проводити моніторинг їх параметрів в режимах запуску, гальмування та навантаження. Робота проводилася з метою математичної оцінки характеристик двигунів конкретних типів, які в подальшому можна порівнювати із характеристиками реальних двигунів у режимі реального часу.

Моделювання асинхронного двигуна, проведено у програмному середовищі LabVIEW. Математичні рівняння базуються на схемі заміщення трифазного асинхронного двигуна. Моделювання режимів роботи асинхронного двигуна побудоване з використанням таких основних параметрів: опір ротора та статора, магнітний опір, кількість полюсів, частота обертання. Математична модель LabVIEW використовує піктограми для виводу результатів моделювання у вигляді графіків.

В результаті дослідження були отриманні графіки з пусковими та робочими характеристиками асинхронних двигунів. Аналіз отриманих залежностей показує, що при збільшенні кількості пар полюсів обмотки статора швидкість обертання ротора зменшується. При зменшенні опорів ротора і статора, струм у колі статора зменшується, а струм ротора збільшується. Також встановлено, що при збільшенні індуктивного опору ротора та статора, перехід двигуна у сталий режим потребує більше часу, разом з тим збільшення опору статора дає змогу уникнути великих стрибків струму під час запуску.

Побудована математична модель може бути в подальшому використана для моделювання складних режимів роботи асинхронних двигунів типів S3-S9.

Вплив вирівнювання графіку навантаження підприємства на величину втрат електроенергії в електричних мережах

Огій О.О., студент; Петровський М.В., доцент
Сумський державний університет, м. Суми

Зважаючи на сучасні тенденції технічного розвитку, попит на електричну енергію з кожним днем постійно збільшується. Беручи до уваги передумови до зростання тарифів на електроенергію, необхідно передбачити шляхи до скорочення витрат на її використання.

В роботі проаналізовано літературні джерела з метою дослідження впливу зміни графіка навантаження підприємства на величину втрат електричної енергії в мережах та силовому електрообладнанні.

Втрати електричної енергії в мережах є вкрай негативним явищем, проте позбутися якого повністю неможливо, але регулювання споживання електроенергії, дозволяє в значній мірі їх скоротити.

Зміну навантаження електрообладнання прийнято умовно позначати у вигляді графіка. За типами розрізняють графіки активних та реактивних навантажень. За тривалістю виділяють змінні, добові та річні, тощо.

Графік навантаження є основним показником енергоефективності використання електроенергії підприємством. Нерівномірність графіка споживання електричної енергії значним чином впливає на строк експлуатації електромереж та, зокрема, силового електрообладнання.

Встановлено, що електромережі підприємств, які мають нерівномірний графік електричних навантажень, працюють при своїх номінальних параметрах лише незначний проміжок часу. Внаслідок цього має місце використання енергоємного обладнання із завищеними характеристиками.

З'ясовано, що вирівнювання добового графіка споживання дозволяє знизити встановлену потужність електрообладнання та, як наслідок, скоротити втрати електричної енергії.

Відомо, що значна частина втрат в електричних мережах витрачається на тепловий нагрів провідників, який пропорційний квадрату струму, що протікає в них. Знання графіків навантажень дозволяє правильно обирати переріз провідників та жил кабелів, проектувати системи електропостачання, та як наслідок скоротити втрати електричної енергії в мережах.

Формування моделі для розрахунку втрат електроенергії на базі програмного комплексу АСКОЕ

Сокольнікова М.О., *студент*; Петровський М.В., *доцент*
Сумський державний університет, м. Суми

Останнім часом через ряд причин як технічних, так і економічних, втрати електроенергії в розподільчих мережах є досить істотними і це незважаючи на загальну тенденцію до зниження електроспоживання. Виходячи з цього, з'явилася нагальна потреба в формуванні моделі для розрахунку втрат електроенергії саме в розподільчих мережах.

У процесі аналізу літературних джерел було досліджено та встановлено, що широке застосування отримав метод поелементних розрахунків в ітеративній або матрично-ітеративній формі.

У результаті впровадження програмного комплексу АСКОЕ, стає можливим і доцільним використання зазначених методів для вирішення завдання моніторингу та аналізу втрат електроенергії в розподільчих мережах.

Виявлено, що на етапі підготовки й впровадження АСКОЕ необхідний всебічний аналіз складу і стану устаткування об'єкта керування й формування на його основі бази даних з параметрами таких елементів: ліній електропередач, трансформаторів, пристроїв компенсації реактивної потужності, комутаційних апаратів.

Під час підготовки та формування базової моделі виконується ідентифікація устаткування, устанавлюються зв'язки між базовою моделлю енергомережі (ЕМ) і сформованими попередньо базами даних. Перехід від статичної базової моделі до динамічної розрахункової, потребує наявності стандартизованих потоків інформації про характер зміни стану об'єкта керування. Така інформація забезпечується за допомогою АСКОЕ.

Таким чином, формування моделі втрат електроенергії та підготовка баз даних дає можливість одержати детальну інформацію про режим роботи й, відповідно, втрати потужності та електроенергії в кожному елементі системи, що є необхідною умовою структурування технічних втрат з метою розробки енергозберігаючих заходів.

Програмний комплекс дає можливість здійснювати телеконтроль комутаційних апаратів ЕМ, відображення графіків системи та накопичення станів системи у вигляді архівів.

Метод електромагнітної сепарації феромагнітних наночастинок у суспензіях з урахуванням теплових флуктуацій

Єрмоленко А.С., студент; Петровський М.В., доцент;
Лютий Т.В., доцент
Сумський державний університет, м. Суми

Спрямований транспорт (дрейф) однодомених феромагнітних частинок у в'язкій рідині, який можна використати для сепарації частинок за розміром і намагніченістю, виникає внаслідок синхронізованої дії на них змінної сили електричної природи, яка викликає їх коливальний рух, та зовнішнього однорідного магнітного поля, яке породжує змінний момент сил і викликає їх нерівномірне обертання. Фізичною причиною виникнення дрейфового руху є ефект Магнуса, тобто вплив обертання частинки на її траєкторію.

На теперішній час основна характеристика такого транспорту – швидкість дрейфу – знайдена лише у детерміністичному підході (без урахування теплових флуктуацій). У даній роботі [1] вперше отримано загальний вираз для швидкості дрейфу, в якому вплив теплових флуктуацій враховується усередненою намагніченістю частинки. В наближенні, коли намагніченість ‘вморожена’ в частинку, її динаміка еквівалентна обертальному броунівському руху частинки і описується системою двох досить складних стохастичних рівнянь. За загальними правилами цій системі рівнянь поставлено у відповідність рівняння Фоккера-Планка, за допомогою якого отримано значно простішу, редуковану систему стохастичних рівнянь, розв'язок якої має такі самі статистичні характеристики, що і розв'язок початкової системи рівнянь. В роботі розроблено процедуру чисельного розв'язку редукованої системи рівнянь, за її допомогою проведено визначення усередненої намагніченості частинки, а також розрахована залежність швидкості дрейфу від температури та інших параметрів моделі. Одним із найбільш важливих результатів роботи є існування таких умов, при яких зміна температури призводить не тільки до зміни величини швидкості дрейфу феромагнітних частинок, а й до зміни напрямку їх дрейфу на протилежний.

1. S.I. Denisov, T.V. Lyutyu, V.V. Reva, and A.S. Yermolenko, arXiv:1711.05338 (2017).

Оптимальний вибір контакторів та реле для модернізації системи керування ліфтових установок

Полевик А.М., студент; Дяговченко І.М., аспірант
Сумський державний університет, м. Суми

Біля 70 % електричних схем керування, що використовуються в ліфтових установках побутових будинків України, є морально застарілими та їхній термін служби є вичерпаним. Отже, актуальною є задача вибору оптимального варіанту контакторів та реле, які б відповідали сучасним вимогам швидкодійності, надійності, механічної зносостійкості та мали прийнятну вартість. На даний момент у якості електричних схем керування електроприводом в Україні використовуються: застарілі схеми на основі реле (электрическая кнопочная схема – рос.), більш функціональні схеми на основі логічних елементів та сучасні схеми на базі мікропроцесорних блоків. Останні є найбільш перспективними, тому дослідження орієнтовано саме на такі елементи. Було порівняно електричні контактори та сигнальні реле вітчизняного та російського виробництва, а також виробництва Schneider Electric, Tesys E (табл. 1).

Таблиця 1 – Технічні характеристики контакторів.

Параметр	ИЭК, КМИ	Schnider Electric, Tesys E
Діапазон номінальних струмів	9-95 А	6-300 А
Діапазон робочих температур	-25--+50 °С	-40--+70 °С
Електрична зносостійкість контактів	1,2 млн. комутацій	0,8-1,4 млн. комутацій
Механічна зносостійкість контактів	до 4 млн. комутацій	3-10 млн. комутацій
Максимальна частота комутацій	120 ввімкнень за годину	1200-1800 ввімкнень за годину

В результаті порівняння визначили, що контактори та реле серій ИЭК, КМИ не забезпечують надійну і безперебійну роботу пасажирських ліфтів. Проаналізувавши сучасні аналоги контакторів та реле, прийшли до висновку, що найбільш оптимальним варіантом заміни є вироби фірми Schneider, які мають: вищі електричну та механічну зносостійкість контактів, більші максимальну частоту комутацій за годину та діапазон номінальних струмів, а також невелику ціну, у порівнянні з конкурентами Siemens та АВВ.

Аналіз методів і засобів забезпечення електромагнітної сумісності споживачів

Івченко Д.А., студент; Амонських О.І., студент;
Зимовець А.С., студент; Лебедка С.М., ст. викладач
Сумський державний університет, м. Суми

Згідно стандарту МЕК 50-161-90 електромагнітна сумісність (ЕМС) технічних засобів – це їх здатність функціонувати задовільно в навколишньому електромагнітному середовищі, не створюючи недопустимих електромагнітних завад будь-чому в даному середовищі.

ЕМС розглядає пристрої і процеси з точки зору генерування ними електромагнітних завад, їх впливу на електрообладнання, ступінь автоматизації і корекції негативного впливу.

Використовують наступні методи та засоби забезпечення ЕМС: зниження несиметрії напруг, компенсація реактивної потужності, зменшення рівня вищих гармонік, зниження електромагнітних завад на тягових підстанціях, компенсація коливань напруги та ін.

Проведений аналіз виявив найбільш перспективні з них для забезпечення ЕМС споживачів.

Несиметрію напруг, обумовлену несиметричними приймачами електроенергії, можна обмежити як за допомогою схемних рішень, так і шляхом застосування спеціальних симетруючих пристроїв. Розрізняють індивідуальний, груповий, централізований і комбінований способи симетрування. Вибір способу симетрування визначається параметрами електричної мережі та характером навантаження.

Комплексне вирішення завдання зниження рівнів вищих гармонік, засноване на застосуванні багатофункціональних пристроїв, виявляється більш доцільним, ніж використання заходів щодо поліпшення форми струму мережі перетворювача. Прикладом таких багатофункціональних пристроїв є фільтрокомпенсуючі пристрої (ФКП), які поряд зі зниженням рівнів вищих гармонік генерують в мережу живлення реактивну потужність.

При паралельному з'єднанні LC-ланцюгів, налаштованих на частоти окремих гармонік, реалізується ланцюговий ФКП.

Аналіз методу моделювання сигналів контролю функціонування газотурбінної електростанції

Толбатов А.В. *, доцент; Толбатов В.А. **, доцент

* Сумський національний аграрний університет, м. Суми

** Сумський державний університет, м. Суми

Предметні галузі методу моделювання (ММ) сигналів контролю (СК), які відтворюють функціонування газотурбінної електростанції (ГЕ), є областями досліджень технічних систем [1, 2]. Аналіз ММ СК процесів функціонування ГЕ [1, 2]: 1. Найбільш складна модель потужності ГЕ описується функцією $\xi(\omega, T^o, t)$, де дія всіх інших стохастичних факторів еквівалентно визначається випадковими подіями $\omega \in \Omega$ з простору подій Ω ; на основі аналізу моделі потужності роботи ГЕ визначається формування сигналу управління програмним регулятором подачі газу (СУПРПГ). 2. При аналізі даних вимірювань СК функціонування ГЕ використовується ряд способів реалізації методів статистичного опрацювання. 3. Модель потужності ГЕ розробляється на основі 1 і 2 у вигляді випадкової функції:

$$\xi(\omega, T^o, t) = \sum_{j=1}^m \eta_j(\omega, T_j^o, \Delta t_j, t), t \in [0, nT_0]$$

4. На основі моделі даних вимірювань, значень потужності розробляється алгоритм СУПРПГ. 5. Для СК процесів функціонування ГЕ аналізуються довірчі інтервали.

На основі ММ СК функціонування для конкретної діючої ГЕ створюється відповідне інформаційне та програмне забезпечення інформаційної технології аналізу динаміки процесів її функціонування [1, 2] для надійної та ефективної роботи у різних кліматичних зонах.

1. Толбатов А.В. Метод моделювання сигналів контролю функціонування газотурбінної установки для розробки нових інформаційних технологій / А.В. Толбатов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2015. – №1 – С.200–203.
2. Інформаційна технологія аналізу динаміки процесів функціонування газотурбінної установки : автореф. дис. канд. техн. наук / А.В. Толбатов / – Вінниця, 2013. – 22 с.

Вплив відхилення напруги на роботу світлодіодних ламп

Нечипуренко А.В., *студент*,
Сумський державний університет, м. Суми

Суттєвий вплив на роботу всіх джерел світла, в тому числі і на роботу світлодіодів має якість електричної енергії, а саме якість напруги. Нечасте використання світлодіодних ламп для систем освітлення зумовлене відсутністю методик визначення впливу на роботу ламп відхилень напруги від нормованих значень. Саме тому питання стабілізації відхилень напруги та дослідження їхнього впливу на роботу світлодіодів є актуальним завданням.

Відхилення хоча б одного з показників якості напруги (відхилення напруги; коливання напруги; несинусоїдальність напруги; несиметрія напруги; провал напруги; імпульс напруги і тимчасове пере-напруження.) призводить до відповідних змін при роботі світлодіодних ламп, так відхилення напруги призводить до зменшення терміну служби, коливання напруги спричиняє мигання ламп, тобто до різких змін світлового потоку, які при перевищенні певного порогу можуть відбиватися на зоровому сприйнятті людей.

Одним з ефективних методів стабілізації напруги в мережі є використання блоків живлення (внутрішніх або зовнішніх), що мають високий рівень точності. Для світлодіода визначальним є сила струму, який через нього протікає, ніж напруга, що підводиться до нього. Відповідно, блок живлення, вбудований в світлодіодну лампу або світильник, теоретично повинен стабілізувати саме струм. Але для реалізації цієї задачі необхідно одночасно враховувати велику кількість факторів, причому, більшість з них носить випадковий характер.

В даній роботі досліджено математичну модель, яка базується на визначенні критерію оптимізації на деякий інтервал часу, що дозволяє визначити оптимальне значення напруги і надалі реалізовувати заходи по підвищенню її якості.

Реалізація даних методів може вплинути на зростання рівня використання світлодіодів в системах освітлення. Що в свою чергу позначиться на кількості споживання електроенергії.

Керівник: Волохін В.В. *доцент*

Перспективні задачі моніторингу використання електроенергії на промислових підприємствах

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

* Сумський національний аграрний університет, м. Суми

** Сумський державний університет, м. Суми

Всі виробничі системи погіршуються в процесі використання, при цьому зношені або неправильно налагоджені механізми мають більш високий рівень енергоспоживання, тобто нормальна стратегія збереження виробничих систем полягає у застосуванні методів профілактичного обслуговування. Все це впливає на якість, вартість та загалом на продуктивність виробництва [1, 2]. Використання інтелектуальних технологій та інструментів може сприяти поліпшенню ситуації; було доведено, що розгортання цих інструментів та методів може виявити несправності чи потенційні збої, а також допомогти керувати очікуваним рішенням [1, 2]. Проте очевидні переваги прогнозувальної стратегії та методів недостатньо широко використовуються у виробничому середовищі. Для цього є багато причин, однією з основних перешкод є забезпечення надійного аналізу витрат і вигод для бізнесу. Часто датчики та монітори, які необхідні для виробничого середовища, є нестандартними, а більшість програм, які потребуються для вирішення конкретних проблем, використовуються автономно, а також додаткове підключення сенсорів або пристроїв моніторингу неможливе через конфігурацію машин або проблеми через проблеми з інформаційним середовищем.

Відносна вартість енергії у виробничих процесах зростає щорічно, однак використання існуючих на даний час систем енергоменеджменту (EMS), які контролюють та оптимізують ефективність використання енергії, застосовуються лише в тих галузях, де існують високі потреби в енергії. У цих випадках енергоменеджмент базується на інформації, яка надходить в режимі реального часу, тобто яка отримана з дорогих систем моніторингу та контролю процесів. Все це означає, що існує тенденція шукати недорогі методи моніторингу та аналізу енергетичних даних у будь-якому процесі. Ця потреба буде прискорена з проникненням так званих Smart Grids. Якщо ми зможемо використовувати цей

енергетичний моніторинг для прогнозування несправності машини за допомогою аналізу енергоспоживання, ми будемо мати чітку синергію, щоб полегшити впровадження інтелектуальних технологій у більш складних виробничих середовищах. Це рішення також повинно бути сумісним з інформацією про додану вартість, яка може бути отримана з існуючих джерел або датчиків, що використовуються на підприємствах. Спільно все це дозволить зберегти поточні та майбутні інвестиції в галузі. Загалом виділяють наступні задачі енергетичного моніторингу на підприємстві: 1) оптимізація стратегій технічного обслуговування на основі прогнозування можливих несправностей та планування технічного обслуговування; 2) управління енергією як виробничим ресурсом та зменшення її споживання; 3) розробка методів та надання виробникам верстатів реальних даних по поведінку продукту та його критичні компоненти. Для вирішення цих задач необхідно сформулювати ряд технічних завдань, які можна розділити на дві області: по-перше, локальні, на машинному рівні, де необхідно реалізовувати відповідну техніку обслуговування на основі деяких умов (СbM). По-друге, на віддаленій стороні, де формується відповідна інформація, що надходить з місцевого рівня. У цьому випадку повинна бути організована повна сумісність між обома рівнями, тобто між даними, створеними локально, сформованими віддалено і доступними віддаленими послугами. Таким чином найбільш перспективними задачами енергомоніторингу на сьогодні є: 1) розробити методи обробки та аналізу даних для раннього виявлення несправностей механізмів з використанням оперативних даних по струму та напрузі всього виробничого обладнання; 2) доповнити прогнози, що базуються на інформації про виробничі потужності, з інформацією про додану вартість, яка може надходити від ЧПУ та інших датчиків; 3) налаштувати або модернізувати існуючі інформаційні потужності для забезпечення відкритості та підключення дистанційних компонентів, встановлених на обладнанні.

1. Толбатов А. В. Статистична модель енергоспоживання при нештатних ситуаціях / А.В.Толбатов // Міжнародний науково-технічний журнал "ВОГТП". – Хмельницький, 2007. – № 2. – С. 92–93.
2. Толбатов В.А. Організація систем енергозбереження на промислових підприємствах : навч. пос. / В.А. Толбатов, І.Л. Лебединський, А.В. Толбатов / – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 195 с.

The Influence of Moonbeams on Power Measuring Instruments

Vitalii Volokhin, *Assistant Professor*; Illia Diahovchenko, *PhD-student*
Sumy State University, Sumy

The scientific community is arguing on the problem of the moonbeam's influence on electric energy metering devices. In particular, there is a hypothesis that the light of the moon can increase the error of digital power meters built on the Analog Devices chips. This, in turn, can lead to an increase in commercial power losses in operating electrical networks.

The proponents of the hypothesis assert that during the full moon, when the heavenly body is the brightest, the photons of moonlight will 'bombard' the surface of the microprocessor most actively. In the 'bombardment', each photon will give the microprocessor additional energy (quanta), which is

$$E_{ph} = h \cdot \nu = \frac{hc}{\lambda} = \bar{h}\omega,$$

where ν is the frequency, λ is the wavelength of a beam, $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ is the Planck constant, $\bar{h} = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ is the reduced Planck constant, ω is the angular frequency.

Due to this extra energy, the surface of the microprocessor will be overheated and electronic series of 0's and 1's will be processed with a mistake. Thus, the random error of measuring instrument will occur.

To check this hypothesis, the scientists of the EPE Department conducted a series of experiments with the power meter built on the basis of a microcontroller Motorola, HC08 family with FLASH memory located on a chip. A resistive load of 100 W was connected to the meter. The meter readings were registered every half hour. 50 readings were taken during the full moon and 50 in the dark room. The research was being conducted during last 4 months. The following assumptions for the experiment were made: 1) the electric energy meter does not have a body, and the moonbeams can freely fall onto the microcontroller; 2) the moonbeams fall on the microcontroller at an angle of 45°.

It has been experimentally proven that moonlight does not affect the readings of power measuring instruments or its influence is so scanty that it can't be fixed by the meter.

Моделювання електричних мереж напругою 6 кВ з різними режимами нейтралі

Амонських О.І., студент; Лебедка С.М., ст. викладач
Сумський державний університет, м. Суми

Вибір способу заземлення нейтралі впливає на технічні рішення, які реалізуються в конкретній електричній мережі: значення струмів та перенапруг в аварійних режимах роботи, схему побудови релейного захисту мережі, рівень ізоляції електрообладнання.

В Україні та за кордоном в мережах середньої напруги (6–35 кВ) використовують наступні варіанти заземлення нейтральної точки: ізольована (незаземлена), заземлена через дугогасний реактор (ДГР), заземлена через резистор (низькоомний або високоомний), глухозаземлена. Крім того, застосовують також комбінацію (паралельне включення) ДГР і резистора.

Розроблено алгоритм роботи та створені відповідні програмні засоби для виконання розрахунків нормальних та аварійних режимів роботи електричних мереж з різними режимами нейтралі (від глухозаземленої до ізольованої).

З використанням розроблених програмних засобів виконано моделювання кабельних електричних мереж напругою 6 кВ з різними режимами нейтралі при замиканнях на землю. В розрахунках варіювалися способи заземлення нейтралі, а також величини активного (R_H) або реактивного (X_H) опору в нейтралі.

Отримані залежності параметрів мережі (та їх складових) від значень опору в нейтралі: напруги нейтралі, струму в місці замикання, струму в нейтралі, еквівалентного активного та реактивного опору мережі відносно точки замикання.

Аналіз отриманих залежностей дозволив сформулювати наступні висновки. При зменшенні X_H відносно мережі з ізольованою нейтраллю значення ємнісного струму в місці замикання знижується до нуля (відбувається компенсація), потім змінює знак (стає індуктивним) та збільшується (відбувається перекомпенсація); напруга нейтралі не є сталою, зменшується та наближається до нуля. Відмінність напруги нейтралі від фазної тим більша, чим менше еквівалентний опір мережі і, відповідно, опір X_H , при якому настає резонанс.

Аналіз електричної мережі 0,4 кВ при роботі із імпульсними споживачами електричної енергії

Клемберг І.С., студент; Макуха Д.М., асистент;
Романовський В.І., ст. викладач
Сумський державний університет, м. Суми

Перехідні процеси представляють небезпеку як для пристроїв споживачів, так і для системи електропостачання загалом, тому дослідження та аналіз даної проблеми є актуальною задачею.

Особливу увагу привертає несиметрія струмів та напруг, яка, при наявності різного типу тиристорного, ШІМ-керування чи інших пристроїв із високою швидкодією, ускладнює керування роботою всієї системи компенсаторних установок та впливає на якість самої електричної енергії в мережі.

В ході виконання наукової роботи була розроблена модель із різними типами споживачів електричної енергії, які мають в своєму складі імпульсні пристрої різної потужності. Програмний комплекс MathLab дозволив в режимі реального часу проводити різноманітні маніпуляції над електромережею та дозволяє одразу спостерігати вплив несинусоїдної напруги. Це значно полегшує процес аналізу швидкозмінних процесів в електричних мережах.

Розроблена модель дозволяє спостерігати всі процеси, які відбуваються в електричній мережі, проаналізувати появу вищих гармонік та розробити в майбутньому відповідну систему аналізу та покращення якості електричної енергії мережі 0,4 кВ.

1. Черных И.В. *Моделирование электротехнических устройств в MATHLAB SimPowerSystems и Simulink*. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
2. *Качество электроэнергии. Руководство для практических расчетов*. – М.: ЭНАС, 2009
3. Железко Ю.С. *Потери электроэнергии. Реактивная мощность*. М.: ЭНАС, 2009.

Исследование фотоэлектрического преобразователя на основе CuInGaSe

Натарова Ю.В., студент, Галат А.Б., доцент

Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
г. Харьков

Актуальной проблемой современной полупроводниковой солнечной энергетики является создание и исследование свойств тонкопленочных солнечных элементов. В настоящее время в производстве солнечных элементов используют гетеропереходы на основе кристаллического кремния (с-Si) и гидрогенизованного аморфного кремния (а-Si:H), теллурида кадмия (CdTe), диселенида индия (CuInSe₂ – CIS), диселенида галлия (CuGaSe₂ – CGS), а также твердых растворов CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ – CIGS и др. Целью данной работы является исследование наиболее эффективных fotocувствительных материалов, сравнение их характеристик; расчёт поглощательной способности и выбор оптимального материала и размеров фотопреобразователя для эффективного преобразования энергии. В результате получены графики зависимостей поглощающей способности гетероструктуры от толщины активного и буферного слоя, рис. 1.

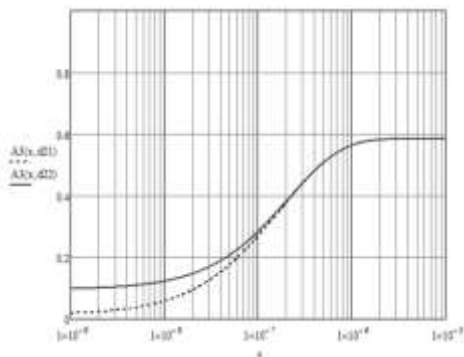


Рисунок 1 – Изменение поглощающей способности гетероструктуры в зависимости от толщины активного слоя

Полученные результаты позволяют оценить эффективность рассмотренных типов фотопреобразователей.

Исследование характеристик пленочных диэлектрических систем для высоковольтных импульсных конденсаторов

Гулько В.И., зав. сектором; Дмитришин А.Я., мл. науч. сотр.;

Фещук Т.А., вед. инженер-технолог

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
г. Николаев

На современном этапе развития силового конденсаторостроения в производство внедряются полимерные пленки, которые при использовании их в качестве рабочего диэлектрика позволяют улучшить характеристики конденсаторов. В связи с этим возникла необходимость проведения исследований электрофизических характеристик диэлектрических систем на основе различных комбинаций полимерных пленок.

Проведены экспериментальные исследования характеристик диэлектрических систем на основе комбинации неполярной полипропиленовой (ПП) и полярной полиэтилентерефталатной (ПЭТ) пленок. В качестве пропитывающих диэлектриков рассматривались маловязкие неполярные жидкости – трансформаторное масло Т-1500 и полиметилсилоксановая жидкость ПМС-20. Критерием оценки являлось изменение таких электрофизических характеристик диэлектрических систем как электрическое сопротивление изоляции $R_{из}$ и кратковременная электрическая прочность $E_{пр}$, которые в основном и определяют надежность высоковольтных импульсных конденсаторов.

Получены эмпирические зависимости $R_{из}$ и $E_{пр}$ пленочных диэлектрических систем от процентного соотношения полярной и неполярной составляющих в структуре диэлектрической системы, а также от их взаимного расположения и от полярности прилегающих к пленкам обкладок.

По результатам проведенных исследований для создания энергоемких высоковольтных импульсных конденсаторов, эксплуатирующихся в нормальных климатических условиях, рекомендована трехслойная диэлектрическая структура ПЭТ+ПП+ПЭТ с 62,5 % содержанием полярной составляющей, пропитанная трансформаторным маслом Т-1500.

Наукове видання

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ФЕЕ :: 2018

**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. 7,21 Обл.-вид. арк. 7,96 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.