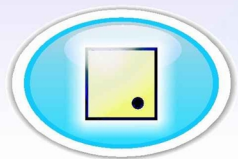




МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



**ФІЗИКА,  
ЕЛЕКТРОНІКА,  
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

**ФЕЕ :: 2014**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ**

**(Суми, 21-26 квітня 2014 року)**

**Суми,  
Сумський державний університет  
2014**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,  
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ :: 2014**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

(Суми, 21-26 квітня 2014 року)

Суми  
Сумський державний університет  
2014



## ***Шановні колеги!***

*Третій рік поспіль факультетом електроніки та інформаційних технологій Сумського державного університету проводиться конференція «Фізика, електроніка, електротехніка». Головними принципами конференції є її відкритість і вільна участь для всіх учасників незалежно від віку, статусу та місця проживання. Оргкомітет планує й надалі не запроваджувати організаційного внеску за участь у конференції.*

*Важливою особливістю конференції є її 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 електронну адресу, зазначену нижче.*

E-mail: [elitconf@gmail.com](mailto:elitconf@gmail.com)

Web: <http://elitconf.sumdu.edu.ua/index.php/electronics/fee14>

## **Секції конференції**

1. Теоретична та експериментальна фізика.
2. Наноматеріали.
3. Фізична електроніка.
4. Матеріалознавство мікро- та наноелектроніки.
5. Електронне приладобудування.
6. Електротехніка.
7. Електронні системи, прилади і засоби кодування інформації.

Голова оргкомітету –

проф. С.І. Проценко

# ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ

## СЕКЦІЯ 1 «ТЕОРЕТИЧНА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ФІЗИКА»

Голова секції – д-р фіз.-мат. наук, проф. Лопаткін Ю.М.

Секретар секції – асп. Бистрик Ю.С.

**Початок:** 25 квітня 2014 р., ауд. ЕТ 310, 13<sup>25</sup>

### 1. Формування магнітного поля в ЕМА перетворювачах.

Автор – асист. Подолян О.О.

Керівник – проф. Тимчик Г.С.

### 2. Довгохвильове магнітне поле у спінових хвилях у ферромагнітному металі.

Автор – наук. співроб. Ступка А.А.

### 3. X-Ray analysis of meteorite

Authors: stud. **Hontsova S.S.**,  
PhD Maksimova E.M.

### 4. Вплив кріоконсервування еритроцитів під захистом ПЕО-1500 на їх адгезивну здатність до лактобактерій *Streptococcus thermophilus*.

Автор: асп. Анікєєва М.О.,  
проф. Гордієнко О.І.

### 5. Режимы вынужденной прецессии ферромагнитной наночастицы взвешенной в жидкости под действием внешнего поля.

Авторы: проф. Денисов С.И.,  
студ. **Подосинная А.В.**,  
докторант Лютый Т.В.

6. Использование формальных критериев адекватности моделей для автоматизации анализа сложных спектров  
Автор – студ. Котляров К.И.  
Руководитель – проф. Бахрушин В.Е.
7. Формування магнітного поля в ЕМА перетворювачах з використанням електромагніту  
Автори: асист. Подолян О.О.,  
студ. Тесленко В.Ю.,  
студ. Атаманенко В.В.  
Керівник – проф. Тимчик Г.С.
8. Использование теории Ландау при фазовых переходах  
Авторы: Медведовская О.Г.,  
проф. Лопаткин Ю.М.,  
асп. **Федоренко Т.А.**,  
проф. Чепурных Г.К.
9. Study of the parameters of anthocyanin supramolecular complexes using derivative reflectance spectroscopy.  
Authors: Junior Researcher **Shemet S.A.**,  
Senior Researcher Fedenko V.S.
10. Механизмы теплопереноса в клатратных соединениях.  
Авторы: канд. физ.-мат. наук **Романцова О.О.**,  
д-р физ.-мат. наук Кривчиков А.И.
11. Спектроскопія відбиття для неруйнівного визначення акумуляції важких металів у рослинах.  
Автори: пров. наук. співроб. **Феденко В.С.**,  
мол. наук. співроб. Шемет С.А.

12. Оптичні властивості плівок  $Zn_{1-x}Mn_xTe$ , отриманих методом сублімації у квазізамкненому об'ємі.

Автори: студ. Єрмоєнко Ю.С.,  
асп. Климов О.В.,  
старш. наук. співроб. Курбатов Д.І.,  
мол. наук. співроб. Кудій Д.А.

13. Структурообразование квазикристаллических сплавов Al–Cu–Fe, легированных Si и В.

Авторы: асп. Устинова Е.В.,  
проф. Суховая Е.В.

14. Умови формування  $Ag_2GeSe_3$  в T–x просторі Ag–Ge–Se.

Автори: доц. **Мороз М.В.**,  
ст. викл. Прохоренко М.В.

15. Влияние неосевого влета электронного пучка на динамику волн в плазменно-пучковом ЛСЭ доплертронного типа.

Авторы: доц. Лысенко А.В.,  
асп. Алексеенко Г.А.,  
ст. преп. Коваль В.В.,  
студ. Евдокименко В.С

16. Мультигармонические взаимодействия в секции усиления продольных волн супергетеродинного ЛСЭ.

Авторы: доц. Лысенко А.В.,  
ассист. Брусник А.Ю.,  
студ. **Биченко Г.В.**,  
студ. **Колоскова А.А.**

17. Мультигармонічні властивості хвиль просторового заряду у двошвидкісній електронній системі.

Автори: проф. Куліш В.В.,  
доц. Лысенко А.В.,  
ст. викл. Ромбовський М.Ю.,  
студ. **Волк Ю.Ю.**



18. Використання хвилеводно-коаксиального переходу при вимірюванні вологості тіл з довільною геометрією.

Автори: доц. Сатюков А.І.,  
доц. Приступа А.Л.

19. Новый класс индуцируемых шумом переходов.

Авторы: проф. Денисов С.И.,  
асп. Бондарь Е.А.

20. Конформационные преобразования молекулы мероцианина.

Авторы: студ. Коваленко О.А.,  
проф. Лопаткин Ю.М.,  
проф. Кондратенко П.А.

21. Процесс перегибридизации в молекуле спиропирана.

Авторы: студ. Коваленко О.А.,  
проф. Лопаткин Ю.М.,  
проф. Кондратенко П.А.

22. Исследование фотохромизма спиропиранов.

Авторы: студ. Коваленко О.А.,  
проф. Лопаткин Ю.М.,  
проф. Кондратенко П.А.

23. Радиолитиз молекулы воды.

Авторы: студ. Малашенко А.Г.,  
проф. Лопаткин Ю.М.,  
проф. Кондратенко П.А.

24. Молекулярний транзистор на основі заміщених дифенілу.

Автори: студ. Малашенко А.Г.,  
проф. Лопаткін Ю.М.,  
проф. Кондратенко П.А.

25. Соляризація без проявлення фотоемulsії.

Автори: асист. Півень Олександр Б.,  
доц. Півень Олег Б.,  
проф. Лопаткін Ю.М.

26. Методи розрахунку перерізів фотоядерних реакцій.

Автор – ст. викл. Жаба В.І.

27. Диссоциативное состояние полиметиновых красителей.

Авторы: асп. Великодная В.В.,  
проф. Лопаткин Ю.М.,  
проф. Кондратенко П.А.

28. Состояние фрагментов молекулы полиметинового красителя после её диссоциации.

Авторы: асп. Великодная В.В.,  
проф. Лопаткин Ю.М.,  
проф. Кондратенко П.А.

29. Вплив ультразвукової кавітації на механічні властивості полімерних матеріалів в колоїдному розчині.

Автори: студ. Гаврилюк Є.О.,  
викл. Кривцов В.В.

30. Картина полей на металлодиэлектрической структуре в волноводе.

Автор – доц. Полетаев Д.А.

31. Зміна параметрів діелектричного спектра системи зі стрибковою провідністю під дією одновісного тиску.

Автор – канд. физ.-мат. наук Флюнт О.Є.

32. Распределение частиц в бесконечно глубокой потенциальной яме под действием пуассоновского белого шума.

Авторы: проф. Денисов С.И.,  
старш. науч. сотруд. Денисова Е.С.  
студ. Положий Г.Е.

33. Диссипация энергии в системе проводящих однодоменных частиц с равномерным распределением направлений их легких осей.

Авторы: студ. **Педченко Б.А.**,  
докторант Люты́й Т.В.,  
проф. Денисов С.И.

34. Швидкість поздовжнього звуку в іонному діелектрику.

Автор – наук. співроб. Ступка А.А.

35. Динамический переход в двумерном электронном кристалле в условиях неполной экранировки прижимающего потенциала.

Авторы: канд. физ.-мат. наук Сивоконь В.Е.,  
канд. физ.-мат. наук Наседкин К.А.,  
канд. физ.-мат. наук **Шарапова И.В.**

36. Математичне, комп'ютерне моделювання фізичних процесів при проведенні лабораторних занять.

Автори: доц. Дьоміна Н.А.,  
доц. Морозов М.В.

37. Дисперсія показників заломлення кристалів  $PbGa_2S_4$ .

Автори: асп. Каменщиков В.М.,  
канд. физ.-мат. наук Стефанович В.О.,  
проф. Сусліков Л.М.

38. Эффективная система уравнений Ланжевена для вращательного движения однодоменных ферромагнитных частиц.

Авторы: проф. Денисов С.И.,  
докторант Люты́й Т.В.  
асп. **Рева В.В.**

**СЕКЦІЯ 2 «НАНОМАТЕРІАЛИ»**

Голова секції – д-р фіз.-мат. наук, проф. Погребняк О.Д.  
Секретар секції – асп. Рогоз В.М..

**Початок:** 24 квітня 2014 р., ауд. ЕТ 105, 15<sup>00</sup>.

1. Вплив металізації вуглецю на характеристики суперконденсаторів.

Автор – асп. **Семенчук І.І.**

2. Electronic structure of hollow graphitic carbon nanoparticles made from acetylene carbon black.

Authors: Junior Research Fellow **Ілків В.**,  
Research Associate Foya O.,  
Senior Researcher Petrovska S.,  
Research Associate Sergiienko R.,  
Graduate Stud. Ілків O.,  
Prof. Zaulychnyy Ya.

3. Электродинамические параметры составных наночастиц.

Автор – студ. **Камалиева А.Н.**  
Руководитель – доц. Головкина М.В.

4. Исследование параметров композитной среды с наночастицами  $TiO_2$

Авторы: студ. **Батальцев Д.А.**  
доц. Головкина М.В.

5. Слоистая структура на основе композитной среды со сферическими наночастицами сложной формы.

Авторы: студ. **Обухович Т.Е.**,  
студ. Утина А.Н.  
доц. Головкина М.В.

6. Перестраиваемый усилитель на основе слоистой наноструктуры.

Автор – асп. **Рыгалова Д.А.**  
Руководитель – доц. Головкина М.В.

7. Топология і структура неокислених та окислених торцевих поверхонь шаруватих кристалів селеніду галію.

Автори: мол. наук. співроб. **Кудринський З.Р.**,  
старш. наук. співроб. Катеринчук В.М.,  
проф. Ковалюк З.Д.

8. Морфологічні, оптичні властивості та елементний склад наночастинок  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  отриманих колоїдальним методом.

Автори: студ. **Шаповаленко А.О.**,  
асп. Доброжан О.А.,  
проф. Опанасюк А.С.,  
проф. Ібаньєс М.

9. Изучение кинетики формирования наноструктурного  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Автори: инж. **Семкина Е.В.**,  
проф. Байрачный Б.И.

10. Нанопоруваті анодні оксидні плівки ніобію

Автори: асп. **Токарєва І.А.**,  
проф. Байрачный Б.И.,  
проф. Ляшок Л.В.,

11. В'язкопружні модулі полівінілхлориду наповненого нанодисперсним металом.

Автори: ст. викл. **Левчук В.В.**,  
проф. Колупаєв Б.С.,  
студ. Бричка О.О.,  
студ. Корейко Н.С.

12. Вплив дуплексної обробки на структурні зміни порошкових покриттів на основі нікелю

Автори: студ. **Болдак Л.Є.**,  
ст. викл. Кравченко Ю.А.

13. Математична модель самоорганізації малих стаціонарних пересичень в накопичувальній іонно-плазмовій системі.

Автори: студ. **Калашник А.В.**,  
доц. Космінська Ю.О.,  
доц. Корнющенко А.С.,  
проф. Перекрестов В.І.

14. Плазмонний резонанс в наноструктурах.

Автори: студ. **Опалько В.М.**,  
доц. Космінська Ю.О.,  
доц. Корнющенко А.С.

15. Вплив складу, температури осадження і опромінення на структурно-напружений стан іонно-плазмових покриттів квазібінарної системи TiC-WC.

Автор – кер. НМВЕН Шовкопляс О.А.,

16. Формирование пористых структур Ti в условиях самоорганизации малых пересыщений

Автори: асп. **Загайко И.В.**,  
асс. Мокренко А.А.,  
проф. Перекрестов В.И.

17. Отримання упорядкованої системи наноострівців нікелю за допомогою мембран анодно-окисленого алюмінію.

Автори: асп. **Наталіч В.В.**,  
доц. Корнющенко Г.С.,  
проф. Перекрестов В.И.

18. Опис активних речовин в рамках гідродинамічного підходу.

Автори: студ. **Макашенець М.С.**,  
доц. Ющенко О.В.,  
ст. викл. Жиленко Т.І.

19. A self-assembly of nanoparticles

Authors: Stud. **Bratash S.O.**,  
Associate Prof. Yushchenko O.V.,  
Assistant Badalyan A.Yu.

20. Дисипація енергії в наночастинках під дією зовнішнього магнітного поля.

Автор – асп. **Бабич Г.В.**,  
Керівник – проф. Денисов С.І.

### **Секція № 3 «ФІЗИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА»**

Голова секції – д-р фіз.-мат. наук, проф. Воробйов Г.С.

Секретар секції – мол. наук. співроб. Пономарьова Г.О.

**Початок:** 22 квітня 2014 р., ауд. ЕТ 105, 13<sup>00</sup>

1. Електронне збудження стану  $(4p^5 4d5s)^4 S_{3/2}$  атому рубідію.

Автор – асп. Роман В.І.  
Керівник – старш. наук. співроб. Боровик О.О.

2. Динаміка збудження автоіонізаційних станів в атомі рубідію.

Автор – асп. Роман В.І.  
Керівник – старш. наук. співроб. Боровик О.О.

3. Спектри ежектованих електронів атомів барію, збуджені електронним ударом.

Автор – асп. Грицько В.В.  
Керівник – старш. наук. співроб. Боровик О.О.

4. Спектроскопічна класифікація електронних спектрів атомів барію.

Автор – асп. Грицько В.В.  
Керівник – старш. наук. співроб. Боровик О.О.

5. Рентгенограми катоду при розряді електрохімічної комірки Li/LiClO<sub>4</sub> в ПК/InSe.

Автори: доц. **Гаврилюк С.В.**,  
проф. Ковалюк З.Д.,  
старш. наук. співроб. Мінтянський І.В.,  
старш. наук. співроб. Савицький П.І.

6. Вплив поверхневих електронних станів на магнітоопір тонких монокристалічних пластин вольфраму.

Автори: старш. наук. співроб. **Сологуб С.В.**,  
наук. співроб. Борденюк І.В.

7. Хвилеводно-вібраторний опромінювач.

Автори: проф. Зіньковський Ю.Ф.,  
асп. **Туровський А.О.**

8. Комплекс діагностики и терапии сердечно-сосудистой деятельности.

Автори: асп. **Фоминых А.М.**,  
доц. Егоров А.В.

9. Електромагнітна камера для сушіння зернопродуктів.

Автори: доц. Сидорук Ю.К.,  
студ. **Рибачук І.Г.**



10. Особенности использования измерительных преобразователей для томографических исследований.

Автор – доц. Полетаев Д.А.

11. Исследование вольт-амперных характеристик и квантовой проводимости органических молекул бензол-ди-тиола и ферроцена.

Авторы: асп. **Дорошенко Д.Ю.**,  
доц. Рубан А.И.

12. Боротьба з патогенною мікрофлорою та комахами-шкідниками за допомогою електромагнітного поля високих та надвисоких частот.

Автори: студ. **Слободенюк А.М.**,  
доц. Сидорук Ю.К.

13. Проектирование электронно-оптической системы для источников направленного рентгеновского излучения.

Авторы: младш. научн. сотр. **Барсуک И.В.**,  
студ. Турчина Л.В.,  
студ. Опалько В.М.,  
проф. Воробьев Г.С.

14. К вопросу влияния геометрических размеров периодических металлодиэлектрических структур на пространственные и волноводные характеристики.

Авторы: доц. **Петровский М.В.**,  
проф. Воробьев Г.С.,  
студ. Скотаренко Н.А.

15. Исследование характеристик конфокального резонатора.

Авторы: асп. **Дорошенко Д.Ю.**,  
доц. Рубан А.И.,  
студ. Бондарь С.А.

16. Фокусирующие свойства триплета магнитных квадрупольных линз с индивидуальным источником питания.

Авторы: проф. Воробьев Г.С.,  
младш. научн. сотр. **Пономарева А.А.**,  
студ. Гейко М.А.,  
студ. Миляева О.Н.

17. Стійкість до 30 кеВ протонного випромінювання структур  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-InSe}$  та  $\text{In}_2\text{O}_3\text{:Sn-Si}$ .

Автор – наук. співроб. Сидор О.М.

18. Електродинамічні характеристики розподілено-зв'язаних діелектричних хвилеводів з екраном змінної провідності.

Автори – студ. Радько А.С.,  
студ. **Нагнибіда В.В.**  
Керівник – доц. Кривець О.С.

19. Методика численного моделирования систем формирования и транспортировки потоков заряженных частиц.

Автора: студ. **Гарбар А.А.**,  
младш. научн. сотр. Барсук И.В.,  
доц. Дрозденко А.А.

**СЕКЦІЯ 4 «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО МІКРО- ТА  
НАНОЕЛЕКТРОНІКИ»**

Голова секції – к.ф.-м.н., старш. викл. Чешко І.В.

Секретар секції – мол. наук. співроб. Шабельник Ю.М.

**Початок:** 23 квітня 2014 р., ауд. Ц 326, 13<sup>00</sup>.

1. Магнітодеформаційний ефект у плівкових системах на основі Со та Си.

Автори: студ. Бутурлім В.Б.  
асп. **Макуха З.М.**

2. Дослідження магнітних властивостей тришарових плівкових систем на основі Со та Ду.

Автори: асп. **Шутильєва О.В.**  
асп. Ширзадфар Х.  
мол. наук. співроб. Воробйов С.І.

3. Magnetic properties of thin film Ni-Fe-Co alloy.

Author – Ph.D. stud. Lytvynenko Ia.M.

4. Магніторезистивні властивості плівкових систем на основі Fe та Pt.

Автори: асп. **Гричановська О.А.**  
студ. Подуремне Д.В.

5. Концентраційні залежності магнітооптичних характеристик багатошарових плівкових систем на основі Fe і Au.

Автор – асп. **Костенко М.В.**

6. Вплив магнітного поля на коефіцієнт тензочутливості одно- і тришарових металевих плівок.

Автори: асп. **Грищук О.С.**  
студ. Агібалов Д.К.

7. Фазовий склад та магніторезистивні властивості плівкових системи Ni / Au / Ni.

Автори: асп. **Холод Т.С.**  
студ. Михайлов А.О.

8. Магніторезистивні властивості систем на основі плівок Fe і Ni.

Автори: асп. **Шешеня Л.А.**  
студ. Агеєнко І.П.

9. Формування плівкових твердих розчинів на основі Au і Fe.

Автори: студ. **Субота В.А.**  
мол. наук. співроб. Шабельник Ю.М.

10. Магнітооптичні властивості спін-вентильних структур на основі Fe, Co та Ag.

Автори: студ. **Дробниця П.А.**  
асист. Демиденко М.Г.  
асист. Федченко О.В.  
асист. Пилипенко О.В.

11. Магніторезистивні властивості плівкових сплавів Fe-Pd.

Автори: студ. **Левченко О.М.**  
асп. Карпенко К.Г.  
доц. Одноворець Л.В.

12. Застосування плівкових систем на основі Co, Cr або Cu як чутливих елементів сенсорів.

Автор – студ. **Яців О.О.**

13. Дослідження властивостей структурованих плівок со методом феромагнітного резонансу.

Автори: студ. **Сірик А.В.**  
асист. Пилипенко О.В.

14. Магнітні властивості тришарових плівок на основі Co та Gd.

Автори: мол. наук. співроб. **Воробйов С.І.**  
студ. Сліпченко Є.А.  
студ. Сірадзе Г.М.

15. Магнітні властивості приладових структур на основі Co та Gd.

Автори: мол. наук. співроб. Воробйов С.І.  
студ. **Шабельник Т.М.**  
доц. Шпетний І.О.

16. Формування складних функціональних металевих плівкових структур спін-вентильного типу на основі Co, Cu і Au.

Автор – студ. Манько А.В.

17. Вплив температури підкладки на структурні та оптичні властивості плівок ZnO нанесених методом спреї-піролізу.

Автори: студ. **Серебренников С.А.**  
асп. Доброжан О.А.  
доц. Опанасюк Н.М.

18. Отримання плівок CdZnTe зі змінною концентрацією цинку.

Автор: асп. Знаменщиков Я.В.

19. Розрахунок тиску насичених парів Sn та S.

Автор – асп. Возний А.А.

20. Электроэрозионный медный порошок, полученный из отходов микроэлектроники.

Авторы: проф. Агеев Е.В.  
доц. Агеева Е.В.  
асп. Хорьякова Н.М.  
студ. Малюхов В.С.

21. Исследование свойств пленок ZnSe, полученных методом электрохимического осаждения.

Авторы: студ. **Новикова Т.В.**  
доц. Стариков В.В.

22. Електрон-фотонна емісія  $\text{Se/As}_2\text{S}_3$ ,  $\text{Te/As}_2\text{S}_3$ .

Автори: наук. співроб. **Лінтур М.І.**  
наук. співроб. Маркович Л.М.  
наук. співроб. Приходько М.В.  
наук. співроб. Подгорецька Г.Ю.

23. Вплив інтеркаляції кобальту на електричні властивості монокристалів  $\text{InSe}$ .

Автори: асп. **Шевчик В.В.**  
канд.фіз.-мат. наук Боледзюк В.Б.  
канд.фіз.-мат. наук Нетяга В.В.

24. Вплив часу інтеркалювання  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$  на основні параметри шаруватих кристалів  $\text{InSe}$ .

Автор – асп. Фешак Т.М.

25. Резонанс струму і напруги в нанокompозиті  $(\text{FeCoZr})_x(\text{CaF}_2)_{100-x}$ .

Автори: проф. Проценко С.І.  
асп. **Бондарєв В.А.**  
студ. Гриценко С.В.

## СЕКЦІЯ № 5 «ЕЛЕКТРОННЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ»

Голова секції – к. ф.-м. н., доц. Одноворець Л.В.

Секретар секції – асист. Власенко О.В.

**Початок:** 23 квітня 2014 р., ауд. Ц 325б, 15<sup>00</sup>

1. Електрофізичні властивості чутливих елементів датчиків на основі металевих плівок.

Автори: студ. **Шумакова М.О.**,  
Керівники: проф., Проценко С.І.  
доц. Одноворець Л.В.

2. Influence of alternating low voltage component on field photoemission current forma semiconductor tip.

Автори: Stud. **Zaporozhchenko A.**,  
Prof. Nerijsko S.A.,  
Prof. Schönhense G.

3. Формування чутливих елементів датчика магнітного поля на основі Co та Cu.

Автори: студ. **Гребинаха В. І.**,  
студ. Нагорний С.С.,  
Керівники: ст. викл. Чешко І.В.

4. Термічна стабільність магнітних характеристик спінівентильних структур на основі Fe, Co та Au.

Автори: студ. **Негрійко С. О.**,  
асист. Демиденко М.Г.,  
асист. Федченко О.В.

5. Контроль концентрації  $H_2S$ ,  $CO_2$  газів в геотермальній енергетике.

Автори: докторант **Кулдашов О.Х.**

6. Електронна система автоматичної реєстрації термоелектричних сенсорів.

Автори: студ. **Кілиб О.С.**,  
доц. Опанасюк Н.М.

7. Електричні властивості матеріалів контактів на основі плівок Fe і Ge.

Автори: асист. **Власенко О.В.**,  
студ. Кошіль О.П.,  
доц. Олександрів Л.В.

8. Вплив магнітного поля на термічний коефіцієнт опору гранульованого плівкового сплаву.

Автори: асп. **Гричановська О.А.**,  
студ. Шамардін А.В.,  
доц. Шумакова Н.І.

9. Створення оригінальної системи нанопозиціювання для скануючої зондової мікроскопії

Автори: студ. **Попова О.В.**,  
канд. фіз.-мат. наук Горячко А.М.,  
студ. Сидоров Р.О.,  
проф. Мельник П.В.,  
доц. Коваль І.П.,  
проф. Находкін М.Г.

10. Мобільна установка для дослідження метрологічних характеристик побутових лічильників газу

Автори: студ. **Матлак А.В.**,  
студ. Аркуша В.А.,  
проф. Середюк О.Є.

11. Дослідження вихідних та температурних характеристик GaAs-фотоперетворювачів.

Автори: студ. **Завальнюк А.О.**,  
студ. **Костіна Н.О.**,  
Керівник – проф. Сліпченко М.І.

12. Вихретоковий дефектометр – прибор нового покоління.

Автори: студ. **Сернецкая Я.А.**,  
студ. Тараник А.Н.,  
Керівник – проф. Мирошников В.В.



13. Улучшение акустических характеристик ультразвуковых измерительных систем.

Автори: асп. **Заика В.М.**

14. Экспресс-анализатор пищевых продуктов.

Автори: доц. **Полетаев Д.А.**,  
асист. Соколенко Б.В.

15. Piezoelectric transducers sound based on bimorph elements.

Authors: Dr. Tech. Sc. Professor Sharapov V.M.,  
Ph. Dr. **Sotula Zh.V.**

16. Метод бестормозных испытаний пневматических двигателей.

Автори: асп. **Фоминых А.М.**,  
доц. Егоров А.В.

17. Контролирующий оптимизатор беговой нагрузки.

Автори: студ. **Цапик Д.К.**,  
студ. Коломийцева А.В.,  
студ. Шиканова Ю.А.,  
доц. Полетаев Д.А.

18. Способ и устройство для картографирования уровня загрязненности среды.

Автори: доц. **Полетаев Д.А.**,  
асист. Соколенко Б.В.,  
студ. Цапик Д.К.

19. Аналіз вимог до розробки сучасних космічних приладів.

Автор: асп. **Омельяненко В.А.**

## 20. Схемотехника приставки для электрогитары «Distortion 250».

Автори: студ. **Морозова А.И.**,  
студ. Бондарева Е.С.,  
студ. Сорокопудова Ю.В.,  
студ. Колесникова Я.Н.  
Керівник – Алейников А.Ю.

## 21. Microprocessor electronics in space instrument making.

Authors: Stud. **Alferyev I.S.**,  
Prof. Mochalov A.V.,  
Post graduate stud. Fedyuk R.S.,  
Stud. Danilenko V.V.,  
Stud. Mironov K.K.

## 22. Разработка цифрового стетофонендоскопа.

Автори: студ. **Газизов А.Т.**  
Керівники: доц. Алейник А.

## 23. Радіолокаційно–вихрострумний метод виявлення металів.

Автори: студ. **Абрамович А.О.**,  
студ. Товкач І.О.

## 24. Побудова мікросмужкових фільтрів на основі фракталів.

Автор: асист. **Фурманова Н.І.**

## 25. Быстродействующие синтезаторы частоты для широкополосных систем связи.

Автори: студ. **Дольник А.Д.**  
Керівники: доц. Макаренко В.В.

## 26. Прибор измерения механической мощности двигателя внутреннего сгорания инерционным методом.

Автори: асп. **Фоминых А.М.**,  
доц. Егоров А.В.

**СЕКЦІЯ № 6 «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»**

Голова секції – канд. техн. наук, доц. Лебединський І.Л.  
Секретар секції – асп. Качан М.В.

Початок: 25 квітня 2014 р., ауд. М 304, 13<sup>25</sup>

1. Piezoelectric transformer with parallel oscillatory circuit.

Автори: Prof. Sharapov V.M.,  
Associate Prof., Bazilo K.V.

2. Підвищення ефективності роботи блоків живлення комп'ютерів за допомогою суперконденсаторів.

Автори: доц. Коперльос Б.М.,  
студ. Устюгов М.А.

3. Оптимізація теплопостачання в будинках з автономним енергоживленням.

Автори: доц. Коперльос Б.М.,  
студ. Куцик М.М.

4. Вибір фільтрокомпенсуючих пристроїв для дугових печей.

Автори: асист. Лебедка С.М.,  
студ. **Жидченко Д.В.**

5. Щодо уточнення розрахунку технологічних витрат електричної енергії.

Автори: доц. Приступа А.Л.,  
асп. Галюга А.В.

6. Вплив несинусоїдальності на роботу системи електропостачання.

Автори: докторант Романовський В.І.,  
асп. **Іванов О.О.**

7. Оцінка несинусоїдальності напруги в розподільних електричних мережах.

Автори: доц. Лебединський І.Л.,  
докторант Романовський В.І.,  
асп. **Качан М.В.**

8. Вимірювання параметрів несиметричних швидкозмінних трифазних навантажень.

Автори: доц. Лебединський І.Л.,  
докторант Романовський В.І.,  
асп. **Качан М.В.**

9. Моделювання характеристик резонансного датчика для реєстрації утворення ожеледі на об'єктах електроенергетики.

Автори: доц. Петровський М.В.,  
доц. Волохін В.В.  
студ. **Дяговченко І.М.**,  
студ. **Скотаренко М.А.**

10. Метод інтегрування дифференціальних рівнянь динаміки електричних машин з вращаючимся ротором.

Автори: доц. Тиховод С.М.,  
асп. Токмаков І.В.

11. Моделювання диференційного струмового захисту в програмному комплексі PSCAD/EMTDC.

Автори: асп. Іванов О.О.,  
студ. **Іванов С.О.**,  
студ. Ігнатова О.І.

12. Вдосконалення конструкції генератора постійного струму з паралельним збудженням.

Автори: доц. Василега П.О.,  
доц. Муріков Д.В.,  
студ. **Устименко О.В.**,  
студ. **Однолєток М.Д.**

13. Моделювання нелінійних режимів роботи електричних мереж з метою розробки методів вимірювання їх параметрів.

Автори: докторант Романовський В.І.,  
асп. Макуха Д.М.,  
студ. **Березка О.І.**

### **СЕКЦІЯ № 7 «ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ, ПРИЛАДИ І ЗАСОБИ КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ»**

Голова секції – д-р. техн. наук, проф. Борисенко О.А.  
Секретар секції – асист. Скордіна О.М.

**Початок:** 24 квітня 2014 р., ауд. ЕТ 236, 13<sup>00</sup>

1. Сеточное представление 2D и 3D изображений.

Автор – студ. **Самусь Н.С.**  
Руководитель – доц. Ошаровская Е.В.

2. Отримання плівок MgO методом спреї-піролізу.

Автори: студ. **Манжола Б.В.**,  
асп. Д'яченко О.В.,  
проф. Опанасюк А.С.

3. Структурні та субструктурні характеристики хімічно осаджених плівок оксиду цинку.

Автори: студ. **Євдокименко В.С.**,  
асп. Бересток Т.О.,  
проф. Опанасюк А.С.

4. Система управління електроприводом шахти «Скіпова» об'єднання «Казцинк».

Автори: студ. **Зимовець В.І.**,  
доц. Кулик І.А.

5. Поглинаючі шари сенсibiliзованих сонячних елементів на основі перовскітів.

Автори: асп. **Бересток Т.О.**,  
проф. Опанасюк А.С.,  
дослідник Щавель О.

6. Алгоритм завадостійкого перетворення двійкового коду в код Фібоначчі.

Автори: асп. **Маценко С.М.**,  
проф. Борисенко О.А.,  
студ. Мальченков С.І.,  
студ. Ямник О.І.

7. Рекombінаційні втрати в сонячних елементах на основі гетеропереходу  $n\text{-ZnS}/p\text{-CdTe}$ .

Автори: школяр **Ільїн С.С.**,  
асп. Доброжан О.А.,  
проф. Опанасюк А.С.

8. Моделювання впливу віконного шару на основні параметри сонячних елементів з гетеропереходами  $n\text{-ZnS}(n\text{-CdS})/p\text{-CdTe}$ .

Автори: студ. **Конопленко О.П.**,  
асп. Доброжан О.А.,  
проф. Опанасюк А.С.

9. Дискриминационные устройства систем автоматизации производственных процессов.

Авторы: студ. **Коваль В.С.**,  
доц. Новгородцев А.И.,  
ассист. Гапич В.Н.

10. Пристрій для передачі аудіо-відео зв'язку системи "Розумний дім".

Автори: студ. **Коблянський А.О.**,  
ст. викл. Гриненко В.В.

11. Імітансний електронний ключ – ідентифікатор.

Автори: студ. **Ковалюк О.М.**,  
доц. Лазарев О.О.

12. Иммитансные многозначные логические элементы на R-, L-, C-негатронах на ОПИ

Авторы: студ. **Горчица Т.П.**,  
проф. Филинюк Н.А.,  
доц. Лазарев А.А.,  
доц. Войцеховская Е.В.

13. Аналіз елементного складу плівок  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{S}$  методами PIXE та  $\mu\text{-PIXE}$ .

Автори: студ. **Домнич О.В.**,  
асп. Коваль П.В.,  
проф. Опанасюк А.С.,  
проф. Ташликов І.С.,  
наук. співроб. Пономарев А.Г.

14. Повышение помехоустойчивости беспроводных сетей путем применения кодов Фибоначчи.

Автор – асп. **Маценко С.М.**

15. Мажоритарное кодирование.

Авторы: студ. **Лукашок Д.Ю.**,  
ст. преп. Протасова Т.А.

16. Адаптивна система передачі даних на основі композицій.

Автори: студ. **Торба І.М.**,  
асп. **Протасова К.О.**,  
ст. викл. Протасова Т.О.

17. Цифровий дім.

Автори: студ. **Блинний Е.В.**,  
студ. **Олійник П.Д.**,  
ст. викл. Протасова Т.О.

18. Обзорное сравнение МВОК и СССК методов модуляции в широкополосных системах передачи кодированных данных.

Автор – студ. **Дольник А.В.**  
Руководитель – доц. Макаренко В. В.

19. Биномиальное сжатие бернуллиевского источника информации.

Авторы: студ. **Кобзар А.М.**,  
ассист. Костель С.В.

20. Биномиальное сжатие информации.

Авторы: асп. **Иванчук А.В.**,  
студ. Бондарь Е.А.,  
студ. Сонин Б.С.,  
проф. Борисенко А.А.



21. Способ однозначного датирования цифрового контента.

Автор – доц. **Полетаев Д.А.**

22. Теоретико-множественный подход к математическому моделированию технологических процессов.

Авторы: студ. **Бугаенко Д.В.**,  
студ. Сумцов Е.В.,  
доц. Новгородцев А.И.

23. Электронная система нормализации изображений на базе телевизионных устройств.

Авторы: студ. **Мандрыка А.А.**,  
доц. Лопатченко Б.К.

24. О мощности кодового множества квазиравновесных комбинаций.

Авторы: студ. **Павленко Р.В.**,  
асист. Скордина Е.М.,  
доц. Лопатченко Б.К.

25. Генерирование равновесных кодовых комбинаций.

Авторы: ассист. **Гутенко Д.В.**,  
студ. Диденко А.Ю.,  
проф. Борисенко А.А.

26. Передача данных по энергомережах. PLC технологія.

Автори: студ. **Луценко С.В.**,  
доц. Кулик І.А.

# **СЕКЦІЯ 1**

## **«ТЕОРЕТИЧНА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ФІЗИКА»**

## Формування магнітного поля в ЕМА перетворювачах

Подольян О.О., асист.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», м. Київ

Серед існуючих безконтактних методів формування акустичної хвилі особливе місце займає електромагнітно-акустичний (ЕМА) метод [1]. Найбільш перспективним є застосування магнітопроводів з постійними магнітами і регульованим повітряним проміжком шляхом обертання магніту, його вертикального переміщення і підйому магнітопроводу над поверхнею (рис.1а) [2].

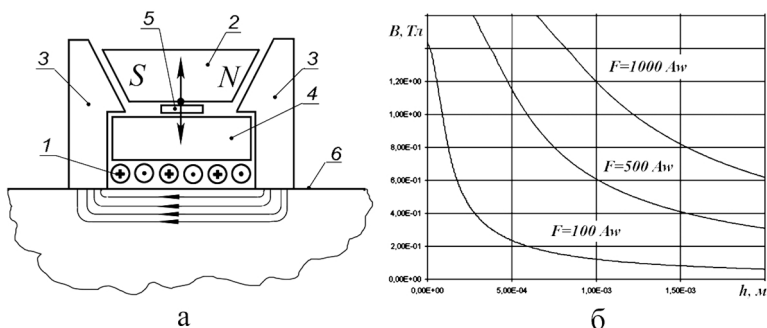


Рис. 1 – Структурна схема ЕМА перетворювача з рухомим магнітом 1 - провідники; 2 - магніт, 3 - магнітопроводи; 4 - кріплення, 5 - механізм переміщення; 6 - поверхня об'єкта (а) і графік залежність магнітної індукції  $B$  від висоти підйому  $h$  магніту, де  $F$  – М,РДС (б).

Отримані залежності (рис.2б) дозволяє зробити висновок про те, що в ЕМА перетворювачах, для регулювання магнітної індукції доцільно використовувати схеми побудови з рухомим магнітом.

Керівник: Тимчик Г.С., професор

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/ Под ред. В. В. Клюева М.: Машиностроение, 2005.- 656 с.
2. Пат. 17947 Україна. ЕМА перетворювач / Подольян О.О. – 2006.

## Довгохвильове магнітне поле у спінових хвилях у феромагнітному металі

Ступка А.А., *наук. співроб.*

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара,  
м. Дніпропетровськ

Основний стан феромагнітного металевого кристала відповідає впорядкованому розташуванню спінів. Слабкі порушення впорядкованості - спінові хвилі у феромагнетиках (та парамагнітні спінові хвилі у металах) зазвичай розглядають як хвилі густини магнітного моменту [1]. У роботі побудовано теорію спінових хвиль у феромагнітному металі, як хвиль магнітної індукції [2]. Це відразу (без застосування перетворення Хольштейна-Примакова [3]) дає можливість ввести бозонні оператори народження-знищення для квантів спінових хвиль – магнонів. При розгляді у континуальному наближенні, для частот вище циклотронної (ця умова дозволить опустити з сили Лоренца доданок, який відповідає конвективному струму), ми розглядаємо лише спінову частину електричного струму, що пов'язана не з просторовим переміщенням заряду електрона, а лише з коливанням спіна. Тоді аналогічне Холлівському електричне поле, яке підставлено у рівняння Максвелла у квазістаціонарному наближенні, дає спінові хвилі у феромагнетиках з правильним згідно до теорії Ландау-Ліфшиця законом дисперсії  $\omega = Dk^2 \cos^2 \theta$ . Тут  $D$  – стала спінової пружності,  $\mathbf{k}$  - хвильовий вектор,  $\theta$  – кут поширення хвилі між векторами магнітної індукції та  $\mathbf{k}$ . Проведено оцінку запровадженої сталої Холла  $A \sim 0.1$  через ефективну масу магнона, що свідчить про іншу, ніж аномальний ефект Холла, природу запровадженого електричного поля.

1. А.И. Ахиезер, В.Г. Барьяхтар, С.В. Пелетминский, *Спиновые волны*. (Москва: Наука: 1977).
2. А.А. Ступка, *Сб. докл. IV Міжнарод. науч. конф. "Актуальні проблеми фізики твердого тела" В 3 т. Т. 1* (20-23 октября, 2009, Минск), с. 128-130.
3. T. Holstein, H. Primakoff. *Phys. Rev.* **58**, 1098 (1940).

## X-Ray analysis of meteorite

Hontsova S.S., *stud.*; Maksimova E.M., *PhD*  
V. Vernadsky Taurida National University,  
4, Vernadsky Ave., 95007, Simferopol, Ukraine

Meteorites are one of the most accessible objects of extraterrestrial matter. Therefore the study of the structural features and physical properties of crystals of meteorites can provide information about the formation of the crystal structure of matter in extraterrestrial conditions. In addition, the study of the structure of extraterrestrial matter is extremely useful for obtaining new knowledge about the processes of evolution of matter in the solar system, as well as for modeling and finding ways to creating the conditions in the Earth's for production different crystals, similar cosmic [1].

The study of sample of meteorite on X-ray diffractometer "DRON-3" with copper radiation was made [2]. Survey was carried out in the range of  $2\theta$  angles from  $10^\circ$  to  $100^\circ$ . As an external standard was used polycrystal halite. Can be argued that the investigated sample is iron meteorite - kamacite, bcc crystal with a lattice parameter:  $a=2,848 \pm 0,006 \text{ \AA}$ . Kamacite or nickel-iron - native iron of cosmic origin [3]. Also in studied meteorite contains minerals troilite  $\text{FeS}$ , schreibersite  $\text{Fe}_2\text{NiP}$  and tephroite  $\text{Mn}_2\text{SiO}_4$ .

Was investigated the chemical composition of the sample surface of meteorite: 91,88% Fe; 0,68% Ca; 2,04% Si, 0,5% Mn; 4,9% Ni and inside the meteorite: 93,12% Fe, 6,15% Ni, 0,4% Co; 0,33% Mn.

1. M. Larionov. *Mössbauer spectroscopy with high-speed resolution crystal phosphide  $(\text{Fe,Ni})_3\text{P}$  of the Sikhote-Alin of meteorite*. (Dissertation on competition of scientific degree of PhD of Physical and Mathematical Sciences: 2012).
2. Frank - Kamenetsky V.A. *Guide to X-ray diffraction study of minerals* (L.: Nedra: 1975).
3. Semenenko V.P. Girich A.L., Shirinbekova S.N., Horovenko T.N., Kichan N.V. *Nanosystems, nanomaterials, nanotechnologies*. **10**, 1 (2012).

**Вплив кріоконсервування еритроцитів під захистом ПЕО-1500 на їх адгезивну здатність до лактобактерій *Streptococcus thermophilus***

Анікєєва М.О.<sup>1</sup>, асп.; Гордієнко О.І.<sup>2</sup>, проф.

<sup>1</sup>Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна,

<sup>2</sup>Інститут проблем кріобіології і кріомедицини НАНУ, м. Харків

Із загальної фізико-хімічної точки зору, початкова фаза мікробної адгезії опосередкована неспецифічними взаємодіями, у тому числі силами Ліфшица–Ван дер Ваальса, електростатичними силами, кислотнo-лужними та гідрофобними взаємодіями, і силами броунівського руху та розглядається в рамках розширеної ДЛФО теорії [1]. Механізми адгезії бактерій на поверхні еритроцитів мало вивчені, що викликає необхідність більш детального дослідження бактеріофіксуючої активності еритроцитів.

Метою даної роботи було дослідження впливу кріоконсервування еритроцитів під захистом ПЕО-1500 на їх адгезивну здатність до лактобактерій *Streptococcus thermophilus*.

Еритроцити виділяли з донорської крові людини та заморожували під захистом ПЕО-1500 за методом Бабійчук Л.О. [2]. Показано, що заморожування еритроцитів з ПЕО-1500 приводить до зменшення показника адгезії лактобактерій *S. thermophilus* на еритроцитах на 12,5 % порівняно з контрольними значеннями ( $1,67 \pm 0,92$  та  $1,91 \pm 0,96$  відповідно), але різниця не є вірогідною.

Оскільки збереження поверхневих властивостей клітин після заморожування-відтаювання, яке характеризується зокрема поверхневим потенціалом, і пов'язана з цим здатність клітин до міжклітинної адгезії можуть бути характеристикою успішності кріоконсервування, можна зробити висновок про якість клітин після заморожування. У нашому випадку, отримані результати вказують на те, що еритроцити, заморожені з ПЕО-1500 достатньо добре зберегли поверхневі властивості після відтаювання.

1. Bos R., van der Mei H.C., Busscher H.J., *FEMS Microbiol. Rev.* **23**, 179 (1999).
2. Бабійчук Л.О., Землянських Н.Г., Кузьміна Л.М., *Трансплантологія* **1**, 296 (2000).

## Режимы вращательного движения ферромагнитной наночастицы в вязкой жидкости под действием внешнего поля

Денисов С.И., проф.; Подосинная А.В., студ.;  
Лютый Т.В., докторант  
Сумский государственный университет, г. Сумы

Понимание регулярной динамики ферромагнитной наночастицы в вязкой среде под действием внешнего магнитного поля имеет большое значение для описания свойств феррожидкостей. В частности, интерес представляет задача о сферическом движении наночастицы или, другими словами, движении с неподвижным центром масс. Такое движение, возбуждаемое переменным во времени пространственно-однородным магнитным полем  $\mathbf{h} = \mathbf{h}(t)$ , описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{m}} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{m}, \\ I\dot{\boldsymbol{\omega}} = \mathbf{m} \times \mathbf{h} - 8\pi\eta n^3 R^3 \boldsymbol{\omega}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\mathbf{m} = \mathbf{m}(t)$  – вектор магнитного момента частицы,  $\boldsymbol{\omega} = \boldsymbol{\omega}(t)$  – вектор ее угловой скорости,  $I = \frac{8}{15}\pi\rho R^5$  – момент инерции частицы ( $\rho$  и  $R$  – ее плотность и радиус),  $\eta$  – вязкость жидкости,  $n$  – коэффициент, определяющий гидродинамический радиус.

Путем аналитического и численного решения уравнений (1) установлено, что во вращающемся магнитном поле  $\mathbf{h} = h(\mathbf{e}_x \cos \Omega t + \mathbf{e}_y \sin \Omega t)$  ( $h$  и  $\Omega$  – амплитуда и частота поля,  $\mathbf{e}_{x,y}$  – орты декартовой системы координат), частота которого меньше критической

$$\Omega_{cr} = mh/8\pi\eta n^3 R^3,$$

частица совершает вращательное движение с периодом внешнего поля, причем ее магнитный момент лежит в плоскости  $xu$ . Если же условие  $\Omega < \Omega_{cr}$  нарушается, тогда характер установившегося движения частицы сильно меняется. Так, например, все три угловые координаты частицы становятся периодическими функциями времени, зависимость периода которых от амплитуды и частоты вращающегося поля была исследована численно. Показано также, что при достаточно большой частоте поля вращательное движение частицы приобретает колебательный характер.

## Использование формальных критериев адекватности моделей для автоматизации анализа сложных спектров

Котляров К.И., студ.

Классический частный университет, г. Запорожье

Задача анализа сложных спектров, представляющих сумму однотипных компонент, описываемых функциями заданного вида, является актуальной для многих областей физики и техники. В частности, это относится к спектрам внутреннего трения твердых тел [1] и спектральным методам исследования полупроводников [2]. В [1] предложено использовать для автоматизации анализа набор формальных статистических критериев адекватности. Он в частности, может включать анализ коэффициента детерминации модели, автокорреляции ее остатков по критерию Дарбина-Уотсона, а также близости дисперсий остатков и экспериментальных погрешностей по критерию Фишера. В докладе показана возможность использования такого подхода для автоматизации анализа сложных спектров рентгеновской фотоэмиссии, аппроксимируемых суммой нескольких лоренцевских пиков. Данные о параметрах пиков для тестирования методики были взяты близкими к приводимым в [3]. Полученные результаты показали, что рассматриваемый подход позволяет решить важную задачу – устранить субъективизм исследователя при определении числа компонент спектра и является полезным для разработки общей методологии анализа сложных спектров.

Руководитель: Бахрушин В.Е., проф.

1. В.Є. Бахрушин, А.В. Чиріков, *Моделі та механізми механічної релаксації, пов'язаної з перебудовою домішково-дефектної підсистеми кристалів* (Запоріжжя: ГУ "ЗІДМУ": 2004).
2. В.Е. Бахрушин, *Получение и свойства слаболегированных слоев многослойных композиций* (Запоріжжя: ГУ "ЗІДМУ": 2001).
3. Л.Е. Мордвинова, А.В. Шамшурин, *Аппроксимация функциями Лоренца спектральных данных о составе детонационных наноалмазов* (Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» 2007).



## Формування магнітного поля в ЕМА перетворювачах з використанням електромагніту

Подольан О.О., асист.; Тесленко В.Ю., студ.;  
Атаманенко В.В., студ.  
НТУУ "КПІ", Київ

Магнітні системи електромагнітно-акустичних ЕМА датчиків систем неруйнівного контролю повинні забезпечувати адаптивну регулювання магнітної індукції в контрольованому об'єкті з метою вибору її оптимального значення. Індукція магнітного поля в об'єкта контролю може регулюватися зміною МДС [1], при використанні, у якості джерела магнітного поля, електромагніту (рис.1а) [2].

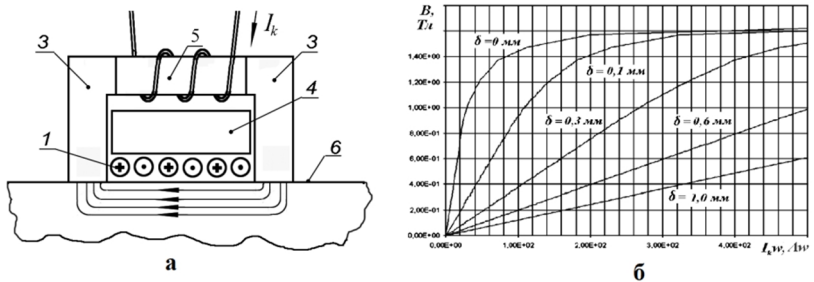


Рис. 1. Структурна схема ЕМА перетворювача з регульованою МДС 1 - провідник; 3 - магнітопроводи; 4 - кріплення; 5 - електромагніт; 6 - поверхню об'єкта контролю (а) і Графіки залежності магнітної індукції  $B$  від МДС (б).

Результати досліджень (рис.1б) дозволяє зробити висновок про можливість застосування в ЕМА перетворювачах для регулювання магнітної індукції схеми побудови з електромагнітом.

Керівник: Тимчик Г.С., проф.

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/ Под ред. В. В. Клюева М.: Машиностроение, 2005.- 656 с.
2. Яворский Б. М. Детлаф А.А. Справочник по физике. Для инженеров и студ.ов вузов. М.:Наука, 1978 – 944 с.

## Использование теории Ландау при фазовых переходах первого рода

Медведовская О.Г.<sup>1</sup>, Лопаткин Ю.М.<sup>2</sup>, проф.;  
Федоренко Т.А.<sup>2</sup>, асп.; Чепурных Г.К.<sup>3</sup>, проф.;

<sup>1</sup>Сумский государственный педагогический университет  
им. А.С.Макаренко, г. Сумы

<sup>2</sup>Сумский государственный университет, г. Сумы

<sup>3</sup>Институт прикладной физики НАН Украины, г. Сумы

Для случая, когда линия фазовых переходов первого рода не переходит в линию фазовых переходов второго рода, т. е. оканчивается не трикритической точкой, а критической: определены критические линии, ограничивающие область метастабильных состояний, путем использования теории фазовых переходов Ландау.

Гамильтониан одноосного антиферромагнетика записываем в форме [1]

$$\mathcal{H} = 2M_0 \left[ \frac{E}{2} \mathbf{m}^2 + \frac{b}{2} l_z^2 + \frac{a}{2} m_z^2 - \mathbf{m} \mathbf{H} \right], \quad (1)$$

где  $\mathbf{m} = (\mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2)/2M_0$ ,  $\mathbf{l} = (\mathbf{M}_1 - \mathbf{M}_2)$ .

Полагая в формуле (1)  $\theta \ll 1$ , получаем

$$\mathcal{H} = \left[ \frac{1}{2} \left( -H^2 \frac{b}{E} - H^2 + H_{EA}^2 \right) \theta^2 + \frac{1}{6} \left( 4H^2 \frac{b}{E} + 3H^2 \frac{a}{E} + H^2 - H_{EA}^2 \right) \theta^4 \right], \quad (2)$$

где  $H_{EA} = \sqrt{|b|E}$ .

В выражении (2) угол  $\theta$  выполняет роль параметра порядка и мы получаем соотношение  $H_2 = H_{EA}(1 - (b/2E))$  для верхнего критического поля.

Определять угол  $\theta$  из уравнения  $\partial \mathcal{H} / \partial \theta = 0$ , используя (2), нельзя.

Полагая  $\theta = \pi/2 - \alpha$ ,  $\alpha \ll 1$ , мы получаем соотношение  $H_1 = H_{EA}(1 - (b+2a/E))$  для нижнего критического поля.

1. Е.А. Туров, *Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов* (АН СССР: Москва: 1963).

## Study of the parameters of anthocyanin supramolecular complexes using derivative reflectance spectroscopy

Shemet S.A., junior researcher; Fedenko V.S., senior researcher  
Scientific Research Institute for Biology,  
Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk

Among effective methods for *in vivo* investigation of metalloanthocyanins, the non-destructive approaches are of special interest, particularly, reflectance spectroscopy. Informational capacity of this method can be improved by derivatizing of spectral data.

Our work was aimed at the studying of prospects of reflectance spectra differentiation for estimation of intraspecific flower polychroism, defined by metal-anthocyanin complexes.

The object of our investigation was *Centaurea cyanus* L. flowers with different pigmentation. Reflectance spectra were measured using spectrophotometer equipped with integrating sphere and software for mathematical processing of spectral data.

We established key feature of blue *C. cyanus* flowers – two resolved peaks at 575 and 680 nm, that is characteristic for protocyanin – supramolecular complex of cyanidin, apigenin and  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ions. These peaks in purple flowers were shifted hypsochromically to 550 and 668 nm, respectively. Position of short-wavelength maximum in flowers with other coloration types corresponded to un-associated cyanidin form (523 – 529 nm), while long-wavelength maximum was appeared as shoulder at 660 nm.

Position of the bands of the first and second spectral derivatives suggested superposition of biochromes, which are responsible for specific flower coloration patterns. To estimate this superposition, we used the ratio of the intensities of these bands in derivative spectra. Copigmented form of biochrome corresponds to the band in the first spectral derivative at  $\lambda_{\text{max}}$  665 nm —  $\lambda_{\text{min}}$  708 nm; un-associated form corresponds to the band at  $\lambda_{\text{max}}$  515 nm —  $\lambda_{\text{min}}$  555 nm; in the second spectral derivative, corresponding bands were:  $\lambda_{\text{min}}$  685 nm —  $\lambda_{\text{max}}$  729 nm and  $\lambda_{\text{min}}$  523 nm —  $\lambda_{\text{max}}$  542 nm, respectively. The ratio of these bands was maximal when protocyanin was dominating pigment, and was diminished for purple flowers. The approach introduced here allows discriminating of chromophores with close optical properties.

## Механизмы теплопереноса в клатратных соединениях

Романцова О.О., канд. физ.-мат. наук, Кривчиков А.И., д-р физ.-мат. наук  
Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина  
Национальной академии наук Украины, г. Харьков

Клатратные гидраты – это соединения включения, в которых гостевые молекулы или атомы помещаются в полости, образованные молекулами воды. Гостевые молекулы находятся в многогранных полостях без образования химических связей, а лишь за счёт слабого взаимодействия Ван-дер-Ваальса. Большой интерес к газовым гидратам возник после обнаружения огромных залежей метаногидрата на дне океана и в районе вечной мерзлоты. Возрастающий интерес гидрату метана, как потенциально важному энергоресурсу будущего, стимулировал потребность к достоверным знаниям термодинамических свойств клатратных соединений, в частности, такого свойства как теплопроводность.

Теплопроводность гидратов метана тетрагидрофурана и ксенона [1] впервые была измерена в широкой области температур от 2 К до 200 К. Показано, что стеклоподобное поведение этих веществ аналогично поведению теплопроводности молекулярных структурных и ориентационных стекол [2]. Температурная зависимость теплопроводности  $\kappa(T)$  проанализирована в рамках модели мягких потенциалов [3]. Подтверждено предположение о том, что ангармонизм колебаний гостевых молекул является доминирующим фактором в процессах теплопереноса в клатратных структурах. Установлено, что зависимость  $\kappa(T)$  клатратных гидратов слабо зависит от типа клатратной структуры или типа гостевых частиц. Таким образом, эти вещества можно отнести к классу кристаллов, обладающих стекольными свойствами. Показано, что температурная зависимость теплопроводности клатратного гидрата при низких температурах проявляет универсальное поведение [2], предсказанное феноменологической моделью мягких потенциалов.

1. A.I. Krivchikov et al., *Phys. Rev. B* **73**, 064203 (2006).
2. I.V. Sharapova et al., *Phys. Rev. B* **81**, 094205 (2010).
3. D. A. Parshin, *Phys. Rev. B* **49**, 9400 (1994).

## Спектроскопія відбиття для неруйнівного визначення акумуляції важких металів у рослинах

Феденко В.С., пров. наук. співроб.; Шемет С.А., мол. наук. співроб.  
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара,  
м. Дніпропетровськ

Фізичні методи дослідження дозволяють розробити неруйнівні прийоми визначення накопичення важких металів для оцінювання небезпеки їхньої токсичної дії на живі організми. Одним з таких методичних підходів може бути спектроскопія відбиття у видимому діапазоні для дослідження характеристик комплексів, які утворені металами і металохромними індикаторами в біологічних тканинах.

Мета роботи – визначити параметри спектрів відбиття комплексів нікелю із специфічним індикатором в рослинних тканинах.

У модельному експерименті проводили тестування рослин у розчинах солей нікелю з різною концентрацією. По завершенні тестування здійснювали обробку коренів тест-рослин розчинами диметилглюксима (ДМГ). Спектри відбиття коренів, оброблених ДМГ, у діапазоні 350-800 нм отримували на спектрофотометрі Specord M40, обладнаному інтегрованою фотометричною сферою. Інтенсивність спектрів відбиття визначали в одиницях абсорбції.

Для комплексу ДМГ-Ni спостерігається характерний максимум при 545 нм, інтенсивність ( $A_{545}$ ) якого пов'язана поліноміальною регресивною залежністю із концентрацією  $Ni^{2+}$  ( $R^2=0,98$ ,  $p=0,02$ ). Встановлено суттєвий регресивний зв'язок  $A_{545}$  з інтегральними показниками фізіологічного стану рослин – індексом толерантності ( $R^2=0,79$ ,  $p=0,04$ ) та співвідношенням довжин пагона і кореня ( $R^2=0,96$ ,  $p=0,04$ ), що свідчить про діагностичну значимість цього показника відносно вмісту металу, який спричиняє токсичний ефект. Перша похідна спектру відбиття комплексу ДМГ-Ni, локалізованого у рослинній тканині, представлена смугою із максимумом при 532 нм і мінімумом при 565 нм. Інтенсивність максимуму в диференційному спектрі відносно контролю зростала із підвищенням концентрації  $Ni^{2+}$ . Отримані результати дозволили розробити неруйнівний метод визначення акумуляції нікелю в рослинах (пат. України 58614).

## Оптичні властивості плівок $Zn_{1-x}Mn_xTe$ , отриманих методом сублімації у квазізамкненому об'ємі

Єрмоєнко Ю.С.<sup>1</sup> студ.; Климов О.В.<sup>1</sup>, асп.;

Курбатов Д.І.<sup>1</sup>, старш. наук. співроб.; Кудій Д.А.<sup>2</sup>, мол. наук. співроб.

<sup>1</sup> Сумський державний університет, м. Суми

<sup>2</sup> Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків

Останнім часом значно зріс інтерес вчених в області матеріалознавства до отримання і дослідження нових плівкових матеріалів для оптоелектроніки, геліоенергетики та спінтроніки. До таких матеріалів відносять халькогенідні сполуки групи  $A_2B_6$ , а також напівмагнітні тверді розчини на їх основі, одним з яких є  $Zn_{1-x}Mn_xTe$ . Особливості даного матеріалу дозволяють використовувати його як віконні шари сонячних елементах. Проте оптичні властивості цієї сполуки вивчені недостатньо.

Тонкі плівки сполук  $Zn_{1-x}Mn_xTe$  були отримані методом випаровування у квазізамкненому об'ємі вакуумної установці ВУП-5М на скляних підкладках при наступних умовах: температура випарника становила  $T_e = 1073$  К; температура підкладки змінювалась в діапазоні  $T_s = (623-923)$  К. Час випарування складав  $t = 4$  хвилини. Здійснювалося випаровування шихти  $Zn_{1-x}Mn_xTe$  напівпровідникової чистоти з вмістом марганцю 5%. Отримані плівки з товщиною  $l \sim (0,85-1,69)$  мкм мали полікристалічну структуру стійкої кубічної модифікації. Дослідження оптичних властивостей шарів проводились з використанням спектрофотометра СФ – 2000. Вимірювання спектральних залежностей коефіцієнта пропускання здійснювалося в діапазоні зйомок 190-1100 нм, коефіцієнта відбиття - 400-800 нм.

Дослідження показали, що при довжинах хвилі починаючи з 540 нм коефіцієнт пропускання матеріалу збільшується до 47-75% та залежить від температури підкладки. Була розрахована ширина забороненої зони матеріалу. Встановлено, що для досліджених плівок  $Zn_{1-x}Mn_xTe$  вона є близькою до 2,24 еВ. Встановлені фізико-технологічні режими отримання плівок з високою оптичною якістю.

## Структурообразование квазикристаллических сплавов Al–Cu–Fe, легированных Si и В

Устинова Е.В., асп.; Суховая Е.В., проф.

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара,  
г. Днепропетровск

Стабильная икосаэдрическая  $\psi$ -фаза ( $\text{Al}_6\text{Cu}_2\text{Fe}$ ), обладающая уникальными свойствами, была обнаружена в системе Al–Cu–Fe [1]. Несмотря на широкое внимание к новому классу квазикристаллов, фазовая диаграмма системы Al–Cu–Fe при легировании Si и В в области существования икосаэдрической фазы не достаточно определена. Влияние легирующих элементов на структуру сплавов Al–Cu–Fe остается спорным [2, 3]. Поэтому целью работы является изучение влияния Si и В на фазовый состав сплавов Al–Cu–Fe.

Сплавы выплавляли из химически чистых элементов в графитовых тиглях. Скорость охлаждения сплавов составляла 10–100 К/с. Составы сплавов находились в следующей концентрационной области (в ат. %): 58–65 % Al; 24–25 % Cu; 11–12 % Fe; 0–7 % Si и 0–3 % В. Контроль содержания элементов выполняли методом рентгенофлуоресцентного анализа. Для исследования структурного и фазового состава сплавов применяли методы количественного металлографического и рентгеноструктурного анализов.

Структуру исследованных квазикристаллических сплавов Al–Cu–Fe, охлажденных со скоростью 10 К/с, образуют дендриты  $\lambda$ -фазы ( $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ ), которые окружены ободками икосаэдрической квазикристаллической  $\psi$ -фазы. Эта фаза образуется по перитектической реакции  $\text{Ж} + \lambda \rightarrow \psi$ . Кристаллы  $\lambda$ -фазы имеют неоднородное строение: в середине в этих кристаллов находятся не растворившиеся участки  $\mu$ -фазы ( $\text{Al}_5\text{Fe}_2$ ). Дендриты  $\lambda$ -фазы кристаллизуются по перитектической реакции  $\text{Ж} + \mu \rightarrow \lambda$ . Остаток жидкости затвердевает с выделением метастабильной  $\tau$ -фазы на основе твердого раствора AlCu(Fe). В этой фазе присутствуют включения  $\eta$ -фазы (AlCu) и  $\theta$ -фазы ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ). При увеличении скорости охлаждения сплава Al–Cu–Fe до 100 К/с суммарный объем  $\lambda$ - и  $\psi$ -фазы увеличивается приблизительно на 10 %, а кристаллизация  $\mu$ -фазы подавляется.

Введение кремния от 4 до 7 ат.% в состав сплавов Al–Cu–Fe приводит к появлению до 7 об.%  $\beta$ -фазы (AlFe(Cu)). Эта фаза кристаллизу-

ется по перитектической реакции  $\text{Ж}+\lambda\rightarrow\beta$ . Затем при затвердевании последовательно протекают две перитектические реакции  $\text{Ж}+\lambda+\beta\rightarrow\psi$  и  $\text{Ж}+\lambda+\beta\rightarrow\psi+\omega$ . В сплаве  $\text{Al}_{59}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}\text{Si}_4$  размер перитектических ободков  $\psi$ -фазы составляет 27,8 мкм, а в сплаве  $\text{Al}_{56}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}\text{Si}_7$  размер ободков  $\psi$ -фазы – 30,9 мкм и  $\omega$ -фазы – 7,8 мкм. Остаток жидкости затвердевает с образованием  $\tau$ -фазы с последующим выделением  $\eta$ - и  $\theta$ -фаз, объем которых практически не изменяется и составляет около 8 %. Рост скорости охлаждения сплавов  $\text{Al-Cu-Fe}$  с 10 до 100 К/с сопровождается измельчением структурных составляющих.

Введение 1 ат.% бора в сплав  $\text{Al-Cu-Fe}$  ( $V_{\text{охл}}=10$  К/с) приводит к уменьшению объема первичной  $\lambda$ -фазы. Объем  $\lambda$ -фазы уменьшается до 3–5 об.%, что можно объяснить увеличением степени завершенности перитектической реакции  $\text{Ж}+\lambda\rightarrow\psi$  в присутствии бора. При увеличении содержания бора до 3 ат.% в структуре сплава  $\text{Al-Cu-Fe}$  наблюдаются иглообразные кристаллы фазы  $\text{Fe}_2\text{AlB}_2$ . В местах расположения пор наблюдаются округлые включения фазы  $\text{AlB}_{12}$ . Увеличение концентрации бора до 3 ат.% в сплавах  $\text{Al-Cu-Fe}$  ( $V_{\text{охл}}=100$  К/с) не изменяет последовательности кристаллизации, но влияет на относительное содержание фаз. Размер перитектических ободков  $\psi$ -фазы в сплаве  $\text{Al}_{62}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}\text{B}_1$  достигает 28,4 мкм, а в сплаве  $\text{Al}_{60}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_{12}\text{B}_3$  – 26,3 мкм. Введение бора 1–3 ат.% в состав сплавов  $\text{Al-Cu-Fe}$  приводит к значительному увеличению пористости сплавов, особенно образцов, охлажденных со скоростью 10 К/с.

Таким образом, проведенные исследования показывают зависимость характера кристаллизации исследованных сплавов  $\text{Al-Cu-Fe}$  как от скорости их охлаждения, так и от состава легирующих добавок.

1. E. Huttunen-Saarivirta, J. Alloys Comp. **363**, 150 (2004).
2. S.M. Lee, B.H. Kim, S.H. Kim et. al., Mater. Sci. Eng. **294–296**, 93 (2000).
3. V. Brien, F. Herbst, P. Weisbecker et. al., J. Mater. Res. **19** №10, 2974 (2004).



## Умови формування $\text{Ag}_2\text{GeSe}_3$ в $T$ - $x$ просторі $\text{Ag-Ge-Se}$

Мороз М.В.<sup>1</sup>, доц.; <sup>2</sup>Прохоренко М.В.<sup>2</sup>, ст. викл.

<sup>1</sup> Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

<sup>2</sup> Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів

$T$ - $x$  простір системи  $\text{Ag-Ge-Se}$  вивчався в [1,2]. Дискусія стосовно умов формування сполуки  $\text{Ag}_2\text{GeSe}_3$  на даний час не завершена [3,4].

Мета роботи: методом ерс, з використанням гальванічних елементів структури  $\text{C|Ag|AgI|скло } \text{Ag}_2\text{GeSe}_3|\text{B|C}$  (C – графіт,  $\text{AgI|скло } \text{Ag}_2\text{GeSe}_3$  – іоноселективна мембрана, B – трифазні сплави досліджуваної системи) дослідити умови формування  $\text{Ag}_2\text{GeSe}_3$ ; встановити фазовий спосіб поділу концентраційного трикутника  $\text{Ag-Ge-Se}$ .

Відповіді отримані з аналізу температурних залежностей ЕРС гальванічних елементів. Сполука  $\text{Ag}_2\text{GeSe}_3$  не утворюється в умовах вакуумного ампульного синтезу. Причиною є недостатня енергія теплових коливань атомів (груп атомів) для подолання потенціального бар'єру утворення нової фази. Умови формування  $\text{Ag}_2\text{GeSe}_3$  досягаються безпосередньо в електродах B, при розряді гальванічних елементів через зовнішнє навантаження R. Триангуляцію системи  $\text{Ag-Ge-Se}$  в інтервалі 300–600 K здійснюють лінії двохфазних рівноваг: між  $\text{Ag}_8\text{GeSe}_6$  та Ag, Ge, Se, GeSe,  $\text{Ag}_2\text{GeSe}_3$ ,  $\text{Ag}_2\text{Se}$ ; між  $\text{Ag}_2\text{GeSe}_3$  та Se, GeSe,  $\text{GeSe}_2$ .

1. O. Gorochov, *Bull. Soc. Chim. France*, **6**, 2263 (1968).
2. З.У. Борисова, Т.С. Рыкова, Е.Ю. Туркина и др., *Неорган. материалы*, **20**, 1796 (1984).
3. З.Ю. Салаева, М.Р. Аллазов, А.А. Мовсун-заде, *Журн. неорган. химии*, **30**, 1834 (1985).
4. А.Г. Миколайчук, В.Н. Мороз, *Журн. неорган. химии*, **32**, 2312 (1987).

**Влияние неосевого влета электронного пучка на динамику волн в плазменно-пучковом ЛСЭ доплеротронного типа**

Лысенко А.В., доц.; Алексеевко Г.А., асп.;  
Коваль В.В., ст. преп.; Евдокименко В.С., студ.  
Сумский государственный университет, г. Сумы

Изучена следующая модель. В плазменную среду, в которой фокусирующее однородное магнитное поле направлено вдоль оси системы, под углом к ее оси влетает релятивистский электронный пучок. Также параллельно оси такой системы вводятся слабый высокочастотный электромагнитный сигнал и мощная низкочастотная электромагнитная волна накачки. Эти волны направлены противоположно друг другу. Параметры такого лазера на свободных электронах (ЛСЭ) подобраны таким образом, чтобы из-за параметрического резонанса электромагнитных волн накачки и сигнала в плазменно-пучковой среде возбуждалась волна пространственного заряда (ВПЗ), которая имеет максимальный инкремент нарастания вследствие плазменно-пучковой неустойчивости. Благодаря плазменно-пучковой неустойчивости и трехволновому параметрическому резонансу между волнами ВПЗ, накачки и сигнала происходит интенсивное усиление электромагнитной волны сигнала. Так происходит перенос кинетической энергии пучка в энергию высокочастотной электромагнитной волны. Случай осевого влета электронного пучка в плазменно-пучковом ЛСЭ был проанализирован ранее [1].

В представленной работе в слабосигнальном приближении проведен анализ влияния неосевого влета электронного пучка на динамику волн в исследуемой системе. Продемонстрировано, что неосевой влет пучка приводит к существенному увеличению инкремента параметрической неустойчивости, а это, в свою очередь, приводит к существенному увеличению усиления электромагнитной волны сигнала. Качественно этот эффект объясняется увеличением времени взаимодействия электронов пучка, которые вращаются в продольном фокусирующем магнитном поле, с циркулярно поляризованными электромагнитными волнами.

1. V.V. Kulish, A.V. Lysenko, V.V. Koval, *Plasma Phys. Rep.* **36**, 1185 (2010).

## Мультигармонические взаимодействия в секции усиления продольных волн супергетеродинного ЛСЭ

Кулиш В.В.<sup>1</sup>, проф.; Лысенко А.В.<sup>2</sup>, доц.; Брусник А.Ю.<sup>1</sup>, ассист.; Би-  
ченко Г.В.<sup>2</sup>, студ.; Колоскова А.А.<sup>2</sup>, студ.

<sup>1</sup>Национальный авиационный университет, г. Киев

<sup>2</sup>Сумский государственный университет, г. Сумы

В работе построена кубическая нелинейная теория взаимодействия мультигармонических волн пространственного заряда (ВПЗ) в секции усиления супергетеродинного ЛСЭ с продольным электростатическим ондулятором [1]. Схема секции усиления представлена на рис. 1. Электронный пучок 1 (рис. 1) проходит через периодически реверсивное электрическое поле 3, которое создается электродами 2.

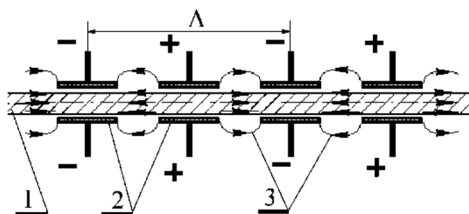


Рисунок 1 – Схема секции усиления волн пространственного заряда.

Показано, что в исследуемой системе реализуются множественные параметрические резонансы двух типов. Изучено влияние этих резонансов на динамику мультигармонических волн пространственного заряда. Продемонстрировано, что резонансные взаимодействия существенно уменьшают уровни насыщения волн ВПЗ. Определены длины и уровни насыщения. Выяснены условия, при которых происходит усиление мультигармонической ВПЗ без искажения ее частотного спектра. Предложено использовать это свойство для усиления ВПЗ с широким частотным спектром без искажений.

1. Пат. 87750 Україна. Супергетеродинний параметричний лазер на вільних електронах з повздовжнім електричним ондулятором / Куліш В.В., Лисенко О.В., Губанов І.В., Бруснік А.Ю.; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 15.

## Мультигармонічні властивості хвиль просторового заряду у двошвидкісній електронній системі

Куліш В.В.<sup>1</sup>, проф.; Лисенко О.В.<sup>2</sup>, доц.;  
Ромбовський М.Ю.<sup>2</sup>, ст. викл.; Волк Ю.Ю.<sup>2</sup>, студ.

<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, м. Київ

<sup>2</sup> Сумський державний університет, м. Суми

Робота присвячена теоретичному дослідженню генерації та взаємодії гармонік хвиль просторового заряду (ХПЗ) у двошвидкісному електронному пучку. Актуальність цього питання зумовлена тим, що такі процеси покладені в основу роботи мультигармонічних дво-потоккових лазерів на вільних електронах [1].

Розглянуто випадок, коли частота першої гармоніки хвилі ХПЗ багато менше за критичну частоту двопотокової нестійкості. У цій ситуації хвилі ХПЗ підсилюються через двопотокову нестійкість. Такі хвилі мають лінійну дисперсійну залежність. Тому має місце також і трихвильова параметрична взаємодія між усіма гармоніками хвилі ХПЗ. У наближенні слабкого сигналу з урахуванням вище вказаних ефектів отримано систему диференціальних рівнянь (1), які описують підсилення та генерацію хвиль ХПЗ,

$$C_{2,m} \frac{d^2 E_m}{dz^2} + C_{1,m} \frac{dE_m}{dz} + D_m E_m = C_{3,m} \langle \mathbf{E} \int \mathbf{E} dp \rangle_{mp} . \quad (1)$$

Тут  $E_m$  – напруженість електричного поля ХПЗ  $m$ -ї гармоніки,  $C_{1,m}$ ,  $C_{2,m}$ ,  $C_{3,m}$ ,  $D_m$  – коефіцієнти рівняння,  $\mathbf{E}$  – вектор напруженості електричного поля ХПЗ,  $\langle \rangle_{mp}$  – знак усереднення за фазою  $m$ -ї гармоніки.

З'ясовано, що зі зростанням плазмової частоти електронного пучка ширина частотного спектра мультигармонічної хвилі просторового заряду збільшується. Також до збільшення ширини частотного спектра призводить зростання середнього значення релятивістського фактора та зменшення різниці парціальних факторів парціальних електронних пучків.

1. V.V. Kulish, *Hierarchical electrodynamics and free electron lasers* (Boca Raton, London, New York : CRC Press : 2011).

## Використання хвилеводно-коаксиального переходу при вимірюванні вологості тіл з довільною геометрією

Сатюков А.І., доцент; Приступа А.Л., доцент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів

Сфера використання електромагнітних хвиль НВЧ діапазону постійно розширюється. Одним з напрямів є вивчення взаємодії електромагнітних хвиль з речовиною, що зокрема, використовується для вимірювання вологості. За останні роки створені численні пристрої, що вимірюють вологість з використанням НВЧ сигналів. Робота багатьох з них базується на визначенні величини послаблення сигналу або зміни діелектричної проникливості вологою речовиною. Для цього необхідно знати геометричні розміри об'єкту, що розміщується між двома антенами в об'ємному резонаторі або в хвилеводі. Якщо досліджувані об'єкти мають неправильну форму (неоднорідну структуру), задача значно ускладнюється.

Авторами зроблено спробу використати в якості вимірювального перетворювача хвилеводно-коаксиальний перехід.

Добре відомо, що в прямокутному хвилеводі довжина хвиль, що можуть розповсюджуватись, пов'язана з розмірами хвилеводу. Так, максимальна довжина хвилі типу  $H_{10}$  дорівнює подвійному розміру широкої стінки хвилеводу. Хвилі з меншими частотами мають великий коефіцієнт затухання. Цей факт використовується для створення сталих атенуаторів у вигляді відрізка хвилеводу певної довжини.

Якщо на хвилеводно-коаксиальний перехід направити НВЧ сигнал з частотою трохи меншою за граничну і збільшувати її, то потужність, що потрапляє до коаксиальної лінії буде зростати, оскільки ми будемо наближатись до частот, на які власне і розрахований цей хвилеводно-коаксиальний перехід. З іншого боку у деяких речовин спостерігається затухання НВЧ сигналу зі збільшенням частоти. Таким чином ці два фактори призводять до наявності на частотній залежності ступеню затухання НВЧ хвилі чіткого мінімуму. Авторами встановлено, що частота максимального послаблення монотонно залежить від вологості досліджуваного зразка.

Таким чином інформацією про рівень вологості речовини в даному випадку є не ступінь послаблення НВЧ сигналу, а частота, на якій спостерігається мінімальний сигнал.

## Новый класс индуцируемых шумом переходов

Денисов С.И., проф.; Бондарь Е.А., асп.

Сумский государственный университет, г. Сумы

Хорошо известно, что внешний шум в динамических системах может играть конструктивную роль. Важным примером этого служат индуцированные шумом переходы в одномерных системах (см., напр., [1]), в результате которых их стационарные функции распределения претерпевают качественные изменения с изменением интенсивности шума. В случае, когда флуктуации моделируются гауссовским белым шумом, необходимым условием существования таких переходов является *мультипликативность* шума. В данной работе показано, что индуцированные шумом переходы могут существовать и в системах с *аддитивным*, но негауссовским белым шумом.

В качестве примера нами изучено влияние белого шума Пуассона, то есть последовательности дельта-импульсов, чьи интенсивности и времена появления являются случайными, на распределение частиц в квадратичном потенциале. Для этого использовалось уравнение Ланжевена с аддитивным шумом Пуассона и соответствующее обобщенное уравнение Фоккера-Планка [2]. Анализ аналитического решения стационарного уравнения Фоккера-Планка показал, что существует такое значение интенсивности шума Пуассона, при котором стационарное распределение частиц в квадратичном потенциале претерпевает качественное изменение. Это изменение проявляется в появлении (при уменьшении интенсивности шума) или исчезновении (при увеличении интенсивности шума) сингулярности определенного типа в распределении частиц. С физической точки зрения появление сингулярности можно интерпретировать как переход части частиц в квазилокализованное состояние. Численные результаты, полученные путем решения уравнения Ланжевена, подтвердили существование такого перехода.

1. В. Хорстхемке, Р. Лефевр, *Индукцированные шумом переходы: Теория и применение в физике, химии и биологии*: Пер. с англ. (Москва, Мир, 1987).
2. S.I. Denisov, W. Horsthemke, P. Hänggi, *Eur. Phys.J. B***68**, 567 (2009).

## Конформационные преобразования молекулы мероцианина

Коваленко О.А.<sup>1</sup>, студ.; Лопаткин Ю.М.<sup>1</sup>, проф.;  
Кондратенко П.А.<sup>2</sup>, проф.

<sup>1</sup> Сумский государственный университет, г. Сумы

<sup>2</sup> Национальный авиационный университет, г. Киев

Одним из наиболее важных и интересных классов органических фотохромных соединений, материалы на основе которых могут найти и находят широкое применение в развитии технологий хранения и воспроизведения информации, производстве светофильтров с модулируемым пропусканием, изготовлении фотохромных линз и различных компонентов молекулярной электроники [1] являются спиропираны и, в частности, мероцианины (рис. 1).

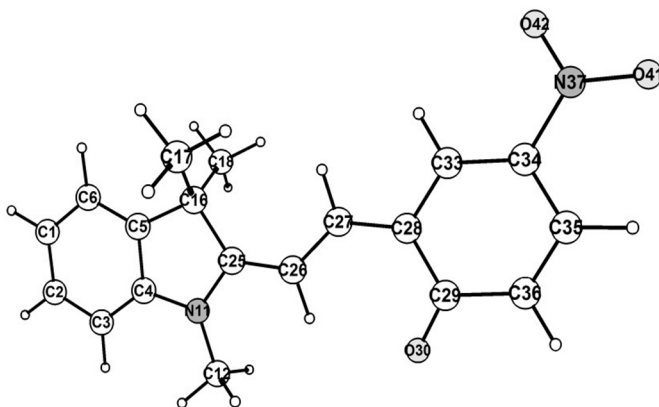


Рисунок 1 –  
Общий вид  
молекулы ме-  
роцианина.

Расчёт и анализ потенциальных барьеров при исследовании изомеров «открытой» формы молекулы мероцианина показали, что открытая форма мероцианина имеет цвиттер-ионное стерически наиболее выгодное транс-цисоидное строение.

Также энергетически выгоден изомер относительно связи C(27)-C(28). Высота потенциального барьера при повороте относительно связи C(26)-C(27) делает существование изомера невозможным.

1. М.Б. Лукьянова, И.В. Ожогин и др., Хим. науки. №10, 1968 (2013).

## Процесс перегибридизации в молекуле спиропирана

Коваленко О.А.<sup>1</sup>, студ.; Лопаткин Ю.М.<sup>1</sup>, проф.;  
Кондратенко П.А.<sup>2</sup>, проф.

<sup>1</sup> Сумский государственный университет, г. Сумы

<sup>2</sup> Национальный авиационный университет, г. Киев

Для квантово-механического описания перестройки молекулярных орбиталей при различных взаимодействиях часто пользуются формальным приёмом, так называемой гибридизацией, тип которой определяет геометрию молекулы, вместе с ней и её симметрию, и формы молекулярных орбиталей.

Обнаружено, что при удлинении связи  $C_{\text{спиро}}-O$  молекула спиропирана существенно перестраивается: молекула становится более плоской, угол при спироатоме увеличивается, происходит изменение двугранного угла  $N-C-C-C$ , в длинноволновой области электронного спектра поглощения появляется полоса (табл.1). Полоса сдвигается в длинноволновую область при удлинении связи.

Таблица 1 – Зависимость плоского угла  $\alpha$  и двугранного угла  $\beta$  при спироатоме в молекуле спиропирана, положения длинноволновой полосы поглощения  $\lambda$  в электронной спектре и соответствующей силы осциллятора  $f$  при увеличении длины  $l$  связи  $C_{\text{спиро}}-O$ .

$l, \text{ \AA}$	1,42	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
$\alpha$ , град	109,77	111,26	113,45	115,56	117,72	119,67	121,12	122,42	124,13
$\beta$ , град	128,04	124,52	122,49	119,7	115,28	109,54	104,31	96,29	76,65
$\lambda$ , нм	394,88	385,92	390,77	399,79	411,34	423,3	436,92	536,07	608,94
$f$	0,053	0,041	0,05	0,055	0,064	0,072	0,091	0,023	0,13

Также происходит перераспределение электрического заряда (смещение электронного облака), при этом увеличивается отрицательный заряд на атоме кислорода (с  $-0,275e$  на  $-0,476e$ ), ослабляется связь в результате уменьшения перекрытия  $\pi$ -орбиталей.

Таким образом, в работе исследован маршрут преобразования молекулы спиропирана в молекулу мероцианина и связанные с этим процессы перегибридизации  $sp^3 \rightarrow sp^2$  и изменения в электронных спектрах поглощения.



## Исследование фотохромизма спиропиранов

Коваленко О.А.<sup>1</sup>, студ.; Лопаткин Ю.М.<sup>1</sup>, проф.;  
Кондратенко П.А.<sup>2</sup>, проф.

<sup>1</sup> Сумский государственный университет, г. Сумы

<sup>2</sup> Национальный авиационный университет, г. Киев

Фотохромизм – процесс обратимого изменения спектра поглощения вещества под действием видимого света или ультрафиолетового излучения. Одним из наиболее перспективных и исследуемых классов органических соединений, проявляющих фотохромные свойства, являются спиропираны. Фотохромные свойства спиропиранов обусловлены фотоинициируемым разрывом связи  $C_{\text{спиро}}-O$ , что приводит к открытой мероцианиновой форме.

Целью данной работы было исследование зависимости энергии связи электронов в молекуле от длины диссоциируемой связи.

Рассматривалась молекула спиропирана индолинового ряда, а также мероцианин – продукт его фотохимического преобразования. В ходе исследования сканирование молекулы, фиксация связи, геометрическая оптимизация и расчёты производились с использованием комплексов полуэмпирических программ *MOPAC* и *HyperChem 8*.

Зависимость энергии электронной системы  $E$  от длины  $C-O$ -связи  $d$  представлена на рис. 1, из которой следует, что фотоиндуцированная форма молекулы является неустойчивой.

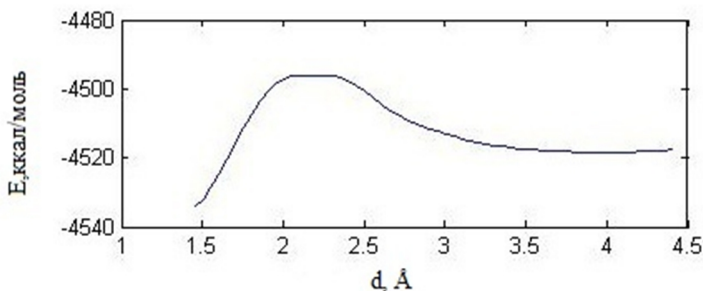


Рисунок 1 – Маршрут фотохромизма молекулы мероцианина.

## Радиолиз молекулы воды

Малашенко А.Г.<sup>1</sup>, студ.; Лопаткин Ю.М.<sup>1</sup>, проф.;  
Кондратенко П.А.<sup>2</sup>, проф.

<sup>1</sup> Сумский государственный университет, г. Сумы

<sup>2</sup> Национальный авиационный университет, г. Киев

Используя моделирование процессов в молекуле пероксида водорода и квантово-химические расчёты, в работе:

– показано, что радиолиз воды (энергия возбуждения выше 10 эВ) приводит к гомолитической диссоциации  $\text{H}_2\text{O}$  (с образованием радикалов  $\text{OH}$  и  $\text{H}$ ) с высоким квантовым выходом вследствие того, что нижнее триплетное состояние является диссоциативным;

– дан анализ молекулярных орбиталей молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  и их роль в наблюдаемых процессах.

Молекула воды – это высокосимметричная молекула (симметрия  $\text{C}_{2v}$ ). Дипольный момент  $d$  молекулы воды направлен по биссектрисе угла  $\text{HOH}$ , т.е. вдоль оси симметрии  $\text{C}_2$ .

Молекулярные орбитали (МО)  $\text{H}_2\text{O}$  сформированы из двух  $1s$ -АО водорода, а также одной  $2s$ -АО и трех  $2p$ -АО кислорода. 3 6 энергетических уровней 4 заполнены электронами, причём четвертая представлена несвязующей МО. Квантовый переход между МО № 3 и № 5 переводит молекулу воды в  $\text{S}_3$ - или  $\text{T}_3$ -состояния, последнее из которых является диссоциативным. Следовательно, радиационное возбуждение молекулы воды будет вызывать её диссоциацию.

При радиационном облучении воды можно перевести молекулу в высоковозбуждённое состояние. При релаксации молекулы из этого состояния возможно заселение диссоциативного триплетного состояния  $\text{T}_3$ , в результате чего образуются две парамагнитные частицы со спином  $\frac{1}{2}$ .

Интересно в этом плане отметить, что с удлинением  $\text{O-H}$ -связи дипольный момент молекулы увеличивается, и положительный заряд на атоме водорода сначала возрастает, достигая максимальной величины порядка  $+0,3 e$ , после чего уменьшается до нуля. Следовательно, в результате диссоциации образуются радикалы  $\text{OH}$  и  $\text{H}$ .

В дальнейшем рекомбинация образовавшихся радикалов приведёт к образованию молекул  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

## Молекулярний транзистор на основі заміщених дифенілу

Малашенко Г.Г.<sup>1</sup>, студ.; Лопаткін Ю.М.<sup>1</sup>, проф.;  
Кондратенко П.О.<sup>2</sup>, проф.

<sup>1</sup> Сумський державний університет, м. Суми

<sup>2</sup> Національний авіаційний університет, м. Київ

Сучасні комп'ютери набули стрімкого розвитку. З часом елементна база буде мініатюризована до розмірів молекули. Робота направлена на вивчення переносу електрона через молекулу, закріплену між двома електродами. Використовувати слід стабільні молекули, які мають дві конформації.

Дослідження проводились з молекулою дифенілу з різними замісниками.

Розгляд молекули дифенілу з замісником  $\text{NO}_2$  показав, що величиною кута між фенільними кільцями можна управляти за допомогою зовнішнього неоднорідного електричного поля малої величини. Але однорідне електричне поле дає значно кращі результати. Величина кута збільшується при вмиканні зовнішнього однорідного поля незалежно від полярності поля.

Спроба вирішити цю ж задачу з використанням точкового заряду  $\text{BF}_4^-$  не дали гарного результату: поле дало зміщення лише  $0,15^\circ$ . При накладенні однорідного поля при збільшенні напруженості електричного поля в позитивному напрямку молекула руйнується.

Молекули можна використовувати в режимі транзистора (рис. 1), проте чутливість до однорідного електричного поля  $\text{NO}_2$ -дифенілу суттєво перевищує чутливість  $\text{Cl}$ -дифенілу (для однакової величини поля  $E = 0,01$  ат. од. приблизно в 6 разів). Проте, у випадку  $\text{Cl}$ -дифенілу є можливість встановити кут між фенільними фрагментами  $90^\circ$ . А отже суттєво розширюються можливості застосування цієї молекули в режимі польового транзистора.

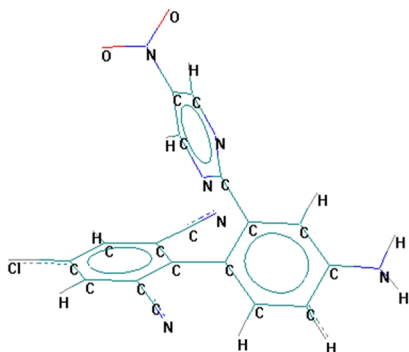


Рисунок 1 – Модель транзистора на основі молекули дифенілу.

## Соляризація без проявлення фотоемулсії

Півень Олександр Б.<sup>1</sup>, *асист.*; Півень Олег Б.<sup>1</sup>, *доц.*;  
Лопаткін Ю.М.<sup>2</sup>, *проф.*

<sup>1</sup> Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

<sup>2</sup> Сумський державний університет, м. Суми

Вперше виявлено лазерну соляризацію в фотоемулсії без проявлення в формі кристалічної несучільної плівки срібла з неправильними отворами.

Раніше причиною соляризації вважалася інактивация, тобто зменшення проявлюваності великих за розміром ЦПЗ. Але, як виявляється, соляризація можлива утворюватися і без проявлення, що узгоджується з роботою [1].

Мікрокристали AgBr є напівпровідники, в яких сильно зменшується питомий опір із збільшенням температури (по експоненціальному закону). Соляризація без проявлення викликається інфрачервоним лазерним світлом  $\lambda = 850$  нм, потужністю  $P = 4$  Вт протягом сумарного часу імпульсів 7,3 с. При цьому відбувається утворення великої кількості вільних електронів в об'ємі напівпровідникового МК AgBr, які притягуються приповерхневим електричним полем МК AgBr з напруженістю  $E \approx 40$  В/см і заповнюють велику кількість центрів чутливості на МК AgBr. Під дією цього поля міжвузлові і вузлові іони срібла  $Ag^+$  будуть притягуватись із об'єму МК і утворюватимуть або ЦПЗ, більші проявлюваних розмірів, або несучільну кристалічну срібну плівку з неправильними отворами під дією імпульсного тиску (рис.1).

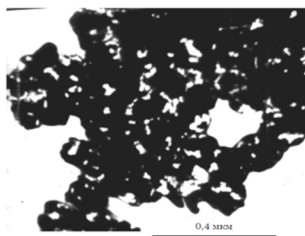


Рисунок 1 – Електронно-мікроскопічна фотографія колодієвої репліки з не проявлених МК AgBr при умовах лазерної соляризації з утворенням несучільної плівки Ag з отворами неправильної форми, отриманої від інфрачервоного лазерного світла з  $\lambda = 850$  нм, потужністю  $P = 4$  Вт в імпульсі, тривалістю імпульсу  $2 \cdot 10^{-7}$  с і частотою ім-

пульсів  $f = 13,5$  кГц при сумарному часі імпульсів 7,3 с. Збільшення 18000.

1. М.Е. Фонкич, О.И. Богатырев, О.В. Харченко, *Вісник Черкаського університету, Серія природничі науки*, вип. 5 (1998).

## Методи розрахунку перерізів фотоядерних реакцій

Жаба В.І., ст. викл.

Ужгородський національний університет, м. Ужгород

Переріз реакції може бути знайдений з експериментальних даних про вихід у результаті рішення оберненої задачі (розв'язок інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду). Для чисельного розв'язку даної задачі були розроблені декілька математичних методів. Найбільш поширеними методами можуть бути методи «різниці фотонів», «найменшої структури» Кука, «оберненої матриці», Пенфольда-Лейсса, «регуляризації» Тихонова [1,2]. Методи Пенфольда-Лейсса і «регуляризації» Тихонова відрізняються між собою по формі ефективного спектру фотонів – апаратурної функції методу. Крім прямого рішення оберненої задачі, можливі інші методи визначення інформації про переріз: комбінування виходів реакції і метод редукції.

У роботі [3] проведено дослідження впливу різних методів згладжування експериментальної кривої виходу на енергетичну залежність перерізу реакції  $^{115}\text{In}(\gamma,\gamma')^{115\text{m}}\text{In}$  і запропоновано перерахувати енергетичні залежності перерізів, використавши інші методи рішення інтегрального рівняння. Доцільним можна вважати порівняння і аналіз енергетичної залежності перерізів реакцій з розрахованими даними по програмі TALYS-1.4.

Розраховані у TALYS-1.4 енергетичні залежності перерізів  $(\gamma,n)$ -реакцій, що призводять до утворення ізомерних станів з моментом  $J^P=1/2(^{79\text{m}}\text{Se}, ^{85\text{m}}\text{Sr}, ^{87\text{m}}\text{Sr}, ^{89\text{m}}\text{Zr}, ^{91\text{m}}\text{Mo})$ , добре узгоджуються з експериментальними результатами.

1. А.Н. Тихонов, А.В. Гончаровский, В.В. Степанов, А.Г. Ягола, *Численные методы решения некорректных задач* (М: Наука: 1990).
2. В.В. Варламов, Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, *Фотоядерные реакции. Современный статус экспериментальных данных* (М: Университетская книга: 2008).
3. В.С. Бохінюк, В.І. Жаба, О.М. Парлаг, *Науковий вісник Ужгородського ун-ту. Серія Фізика* **31**, 111 (2012).

## Диссоциативное состояние полиметиновых красителей

Великодная В.В.<sup>1</sup>, *асп.*; Лопаткин Ю.М.<sup>1</sup>, *проф.*;  
Кондратенко П.А.<sup>2</sup>, *проф.*

<sup>1</sup> Сумский государственный университет, г. Сумы

<sup>2</sup> Национальный авиационный университет, г. Киев

Выделяющиеся фотостойкостью полиметиновые красители (ПМК) при возбуждении их квантами света с достаточно высокой энергией начинают проявлять нестабильность. В связи с этим возникла задача исследования процессов релаксации ПМК (рис.1) как части соответствующей фундаментальной проблемы.

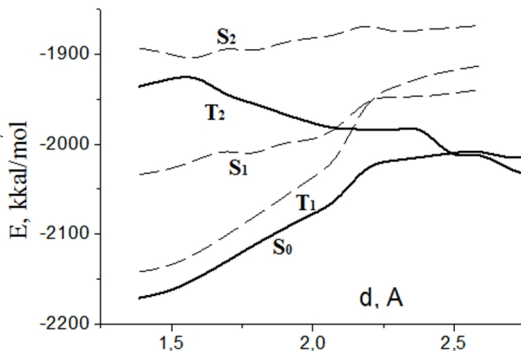
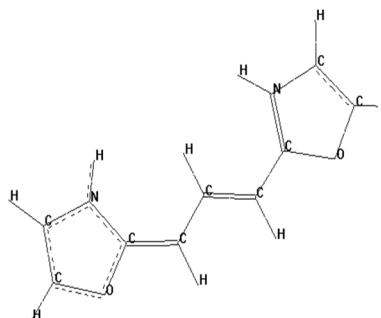


Рисунок 1 - Молекула ПМК. Рисунок 2 - Потенциальные поверхности.

На основании проведённых исследований процессов релаксации возбуждения в молекуле полиметинового красителя показано, что:

- в высоковозбуждённом триплетном состоянии существует диссоциативная поверхность (рис.2, кривая  $T_2$ ), которая соответствует  $\sigma \rightarrow \sigma^*$ -возбуждению молекулы; релаксация возбуждения в пределах данной поверхности приводит к диссоциации молекулы за счёт удлинения C–C-связи молекулы у центрального атома углерода;

- при увеличении длины диссоциирующей связи  $d$  до  $2,16 \text{ \AA}$  наблюдается фазовый переход электронной системы в молекуле, в результате чего энергия синглетного состояния значительно увеличивается, в то время как энергия триплетного состояния практически остаётся без изменений, что вызвано заселением  $\sigma^*$ -МО электроном в основном состоянии.

### Состояние фрагментов молекулы полиметинового красителя после её диссоциации

Великодная В.В.<sup>1</sup>, асп.; Лопаткин Ю.М.<sup>1</sup>, проф.;  
Кондратенко П.А.<sup>2</sup>, проф.

<sup>1</sup> Сумский государственный университет, г. Сумы

<sup>2</sup> Национальный авиационный университет, г. Киев

С целью выяснения, в каком состоянии образуются два фрагмента молекулы ПМК после её диссоциации, в работе проведены расчёты энергий электронной системы этих фрагментов в зависимости от количества электронов на них. Результаты расчёта приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Энергия электронной системы (ккал/моль) фрагментов в зависимости от зарядового состояния и мультиплетности.

№ п/п	Меньший фрагмент: заряд, мультиплетность и энергия электронной системы	Большой фрагмент: заряд, мультиплетность и энергия электронной системы	Суммарная энергия электронной системы
1	заряд 0, дублет, $E = -968,258$	заряд +1, дублет, $E = -1054,957$	$E = -2023,215$ , триплет
2	заряд +1, триплет $E = -805,487$	заряд 0, синглет $E = -1187,743$	$E = -1993,23$ , триплет
3		заряд 0, триплет $E = -1193,616$	$E = -1999,103$ , синглет
4	заряд +1, синглет $E = -803,885$	заряд 0, синглет $E = -1187,743$	$E = -1991,628$ , синглет
5		заряд 0, триплет $E = -1193,616$	$E = -1997,501$ , триплет

Из табл. 1 следует, что энергетически выгодной должна быть реакция образования двух радикалов из основного триплетного состояния. При этом заряженным должен быть больший фрагмент молекулы. Если фрагменты образовать из синглетного состояния, тогда заряд будет локализован на меньшем фрагменте, и оба фрагмента должны быть в триплетном состоянии.

## **Вплив ультразвукової кавітації на механічні властивості полімерних матеріалів в колоїдному розчині**

Гаврилюк С.О., студ.; Кривцов В.В., викл.  
Рівненський державний гуманітарний університет,  
фізико-технологічний факультет, м. Рівне

Ультразвукова кавітація виникає в результаті зміни тиску в рідині до певного критичного значення при проходженні акустичної хвилі великої інтенсивності. При цьому всередині рідини утворюються області, заповнені газом, парою або їх сумішшю.

У роботі вивчався вплив часу опромінення і потужності кавітаційного процесу на механічні властивості полімерних систем, що знаходяться в колоїдному розчині графіту. Використовувалися зразки полівінілхлоридних плівок з різними штучно створеними дефектами (повдовжніми та поперечними мікротріщинами). При цьому площа і об'єм дефектів поверхні контролювалися фото- і відеозйомкою за допомогою комплексу візуалізації зображень і мікроскопів, призначених для вимірювання геометричних та механічних параметрів мікрооб'єктів. Для експериментального дослідження динамічних механічних властивостей полімерів застосували метод вимушених резонансних згинальних коливань консольно-закріпленого зразка у вигляді стрижня. Результати експериментального дослідження процесу кавітації в колоїдних розчинах показали, що застосування різних доз ультразвукового випромінювання в режимі кавітації призводить до збільшення руйнувань і зношування полімерного матеріалу. Оскільки ці зміни відбуваються в межах пружних деформацій, то протягом трьох-п'яти днів полімерна плівка релаксувала (відновлювалася), і значення модуля Юнга поверталось до значення, яке було після нанесення пошкоджень. При цьому кавітація в колоїдному розчині графіту показала кращий результат ніж кавітація в звичайній воді. Однак явище ультразвукової кавітації в колоїдних розчинах потребує подальшого дослідження. Необхідно дізнатися, чи можна використовувати дане явище не лише для подальшого руйнування, але і для «заліковування» дефектів на поверхні полімерних матеріалів при певних додаткових зовнішніх чи внутрішніх умовах (тиск, температура, склад і концентрація розчину, радіаційний фон і т.д.).



## Картина полей на металлодиэлектрической структуре в волноводе

Полетаев Д.А., доц.

Таврический национальный университет имени В.И.Вернадского,  
г. Симферополь, Украина

Отказ интегральных микросхем (ИМС) может происходить из-за воздействия мощного СВЧ излучения. Это обусловлено прожогом проводящих пленок или активных микроструктурных элементов. При этом большинство исследователей считают, что механизм прожога – антенный [1]. Расчеты, приведенные в [2], показывают, что в металлодиэлектрической структуре (МДС), которая является моделью ИМС, наряду с антенным механизмом, может проявляться и механизм, связанный с конечной проводимостью пленок (скин-эффект).

Целью работы является численный расчет поверхностных токов на металлической пленке при воздействии электромагнитного излучения в прямоугольном волноводе.

Для численного расчета значения тангенциальных составляющих магнитного и электрического полей на поверхности проводящей пленки, в пленке и диэлектрической подложке, которые наводятся на проводящей пленке МДС при воздействии электромагнитного излучения СВЧ диапазона, применялся прямой численный метод конечных элементов.

Полученное распределение поверхностного тока показывает, что, с одной стороны, ток концентрируется в середине проводящей пластины, с другой стороны – имеют место «краевые эффекты». А именно, увеличение амплитудного значения тока на торцах пленки. Многочисленные эксперименты и сравнение с результатами моделирования в стандартных пакетах трехмерного моделирования, подтверждают адекватность численной модели.

1. Н.И. Слипченко, В.В. Старостенко, Е.П. Таран, *Радиотехника*. **167**. 209 (2011).
2. И.И. Магда, Н.И. Блудов, Н.П. Гадецкий, *Журнал электроники*. **3**. 55 (1995).

## Зміна параметрів діелектричного спектра системи зі стрибковою провідністю під дією одновісного тиску

Флюнт О. Є., канд. фіз.-мат. наук

Львівський національний університет ім. Івана Франка, м. Львів

Дійсна  $\varepsilon_1$  та уявна  $\varepsilon_2$  частини відносної діелектричної проникності твердих тіл переважно залежать від частоти змінного електричного поля відповідно до степеневого закону з нецілими значеннями показника степеня  $1-n$

$$(\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_\infty) - j \varepsilon_2(\omega) = \Delta\varepsilon (j\omega)^{n-1} = \Delta\varepsilon \{ \sin(n\pi/2) - j \cos(n\pi/2) \} \omega^{n-1}, \quad (1)$$

де  $j$  – уявна одиниця,  $\omega$  – циклічна частота,  $\varepsilon_\infty$  – високочастотне значення відносної діелектричної проникності. Якщо значення показника степеня  $n$  попадає в діапазон від 0,7 до 1, але не дуже близьке до одиниці, то прийнято вважати, що діелектричний спектр зумовлений стрибкоподібним переміщенням квазілокалізованих носіїв електричного заряду. Пояснення частотних та температурних залежностей для цього типу діелектричного відгуку, який часто домінує в аморфних та розупорядкованих матеріалах, пов'язані з серйозними труднощами. Аналіз експериментальних результатів про вплив одновісного тиску на діелектричний спектр з  $n \approx 0,8$ , наприклад, отриманих на високоомних шаруватих кристалах GaSe [1], може дати важливі підстави для обґрунтування тієї чи іншої фізичної моделі поведінки дисперсної системи цього типу.

Для пояснення сильної залежності діелектричного відгуку від одновісного тиску запропоновано модель системи, у якій виникають певні утворення елементарних диполів. Тому експериментальні діелектричні спектри відображають властивості утворень диполів, характерні частоти яких розподілені за степеневим законом. Відповідно до моделі, одновісний тиск приводить до однакової відносної зміни характерних частот ефективних диполів. Модель пояснює як підвищення діелектричної проникності, так і зменшення показника степеня  $n$  у разі підвищення одновісного тиску.

1. Й.М. Стахіра, О. Є. Флюнт, Я. М. Фіяла *Укр. фіз. журн.* 56, 267 (2011).

## Распределение частиц в бесконечно глубокой потенциальной яме под действием пуассоновского белого шума

Денисов С.И., проф.; Денисова Е.С., старш. науч. сотруд.;  
Положий Г.Е., студ.  
Сумский государственный университет, г. Сумы

В данной работе изучается стационарное распределение частиц, совершающих под влиянием белого шума Пуассона случайные блуждания в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $2l$ . Если плотность вероятности  $q(x)$  величины скачков частицы, которые происходят под действием этого шума, является симметричной функцией, тогда стационарная плотность вероятности обнаружить частицу в точке с координатой  $x \in [-l, l]$  имеет вид

$$P_{st}(x) = a\delta(x - l) + a\delta(x + l) + f(x),$$

где  $\delta(x)$  – дельта-функция Дирака,  $a$  – вероятность нахождения частицы на определенной границе ямы,  $f(x)$  – неотрицательное решение уравнения, следующего из обобщенного уравнения Фоккера-Планка. Вероятность  $a$  и функция  $f(x)$  удовлетворяют условию нормировки  $2a + \int_{-l}^l dx f(x) = 1$  и зависят от  $q(x)$ . В отличие от гауссовского белого шума, для которого всегда  $a = 0$  и  $f(x) = 1/2l$ , в случае пуассоновского шума  $a \neq 0$  и  $f(x)$  может зависеть от  $x$ .

Поскольку для произвольной плотности вероятности  $q(x)$  аналитическое нахождение  $a$  и  $f(x)$  не представляется возможным, нами рассмотрен частный случай, когда плотность  $q(x)$  равна  $1/2c$  и  $0$  при  $|x| \leq c$  и  $|x| > c$  соответственно. Установлено, что вероятность  $a$  и функция  $f(x)$  нетривиально зависят от соотношения между параметрами  $l$  и  $c$ . В частности, если  $c \geq 2l$ , тогда  $a = (c - l)/2c$  и  $f(x) = 1/2c$ , а если  $l \leq c < 2l$ , тогда

$$a = \frac{l}{2c} - \frac{\sin\left(\frac{l}{2c} - \frac{1}{4}\right)}{\cos\left(\frac{1}{4}\right) - \sin\left(\frac{1}{4}\right)}, \quad f(x) = \frac{\cos\left(\frac{x}{2c}\right) + \sin\left(\frac{1}{2} - \frac{|x|}{2c}\right)}{4c \cos\left(\frac{1}{2}\right)}$$

при  $c - l < |x| < l$  и  $f(x) = 1/2c$  при  $|x| < c - l$ . Согласно этим результатам, при  $l \leq c < 2l$  функция  $f(x)$  в точках  $x = \pm(c - l)$  имеет разрывы, обусловленные скачкообразным характером движения частиц. Разрывный характер функции  $f(x)$  сохраняется и при  $c < l$ .

**Диссипация энергии в системе проводящих однодоменных частиц  
с равномерным распределением направлений их легких осей**Педченко Б.А., студ.; Лютый Т.В., докторант;

Денисов С.И., проф.

Сумский государственный университет, г. Сумы

Целью данной работы является нахождение мощности тепловых потерь в системе проводящих ферромагнитных наночастиц, находящихся под действием слабого вращающегося магнитного поля  $\mathbf{h}(t)$ . Предполагается, что частицы между собой не взаимодействуют, распределение направлений  $\mathbf{e}_a$  их легких осей является равномерным, а динамика вектора намагниченности  $\mathbf{M} = \mathbf{M}(t)$  каждой частицы описывается уравнением Ландау-Лифшица-Гильберта

$$\dot{\mathbf{M}} = -\gamma \mathbf{M} \times \mathbf{H}_{\text{eff}} + \frac{\alpha}{M} \mathbf{M} \times \dot{\mathbf{M}}. \quad (1)$$

Здесь  $\gamma (> 0)$  – гиромагнитное отношение,  $\alpha$  – параметр затухания, включающий вклад вихревых токов, знак  $\times$  обозначает векторное произведение,  $M = |\mathbf{M}| = \text{const}$ , и  $\mathbf{H}_{\text{eff}}$  – эффективное магнитное поле, действующее на  $\mathbf{M}$ . Рассматривается случай, когда  $\mathbf{H}_{\text{eff}}$  включает в себя лишь вклад  $(H_a/M)(\mathbf{M} \cdot \mathbf{e}_a)\mathbf{e}_a$ , проистекающий от одноосной магнитной анизотропии, и вращающееся поле  $\mathbf{h}(t) = h(\mathbf{e}_x \cos \omega t + \mathbf{e}_y \sin \omega t)$ , где  $H_a$  – поле анизотропии,  $h$  и  $\omega$  – амплитуда и частота вращающегося поля,  $\mathbf{e}_x$  и  $\mathbf{e}_y$  – орты декартовой системы координат.

Используя выражение  $q = V \mathbf{H}_{\text{eff}} \cdot \dot{\mathbf{M}}$  ( $V$  – объем частицы, точка между векторами обозначает их скалярное произведение) для мощности потерь в одной частице, с помощью уравнения (1) мощность потерь в единице объема системы можно представить в виде  $Q = (\alpha n V / \gamma M) \langle \dot{\mathbf{M}}^2 \rangle$ . Здесь  $n$  – концентрация частиц, а угловые скобки обозначают усреднение по направлениям их легких осей. Отсюда, полагая, что  $h \ll H_a$ , решая уравнение (1) в линейном по  $h$  приближении и проводя процедуру усреднения, находим

$$Q = \frac{2}{3} \alpha n V \gamma M h^2 \frac{\omega^2 [(1 + \alpha^2) \omega^2 + \omega_r^2]}{\omega^2 [(1 + \alpha^2)^2 \omega^2 - 2(1 - \alpha^2) \omega_r^2] + \omega_r^4}, \quad (2)$$

где  $\omega_r = \gamma H_a$ . Согласно этой формуле мощность потерь  $Q$  как функция  $\omega$  при  $\alpha \ll 1$  имеет резкий максимум вблизи резонансной частоты  $\omega_r$ , приближенно равный  $Q|_{\omega=\omega_r} = n V \gamma M h^2 / 3\alpha$ .

Полученные аналитические результаты подтверждены численно.

## Швидкість поздовжнього звуку в іонному діелектрику

Ступка А.А., наук. співроб.

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара,  
м. Дніпропетровськ

Наслідуючи [1], розглянемо низькочастотні довгохвильові звукові коливання в іонному кристалі. Для простоти припустимо однорідність та ізотропію системи. Температуру будемо вважати близькою до нуля кельвінів. Будемо здійснювати загальний опис позитивної та негативної компонент єдиними локальними значеннями густини пар частинок  $n$ , тиску  $P$  і масової швидкості, та врахуємо самоузгоджене електричне поле, яке має рівний нулю перший момент і ненульовий другий момент у рівновазі. У іонному кристалі при низькій температурі повна енергія  $U$  майже повністю є електростатичною. Тоді зручно записати  $U = WnV$ , де  $W \sim 1/r \sim n^{1/3}$  - Кулонівська енергія на пару протилежно заряджених частинок,  $V$  - об'єм тіла,  $r$  - відстань між парою. Коефіцієнт пропорційності залежить від типу кристалічної структури. У тензор потоку імпульсу входить тиск, який при низькій температурі можна виразити через повну енергію наступним чином [2]:  $P = -dU/dV = dU/dn(n/V) = U/3V \sim n^{4/3}$ . Запроваджений в [1] коефіцієнт в даній моделі  $v_s^2 = (\partial P / \partial n)_s / M = 4P / (3nM) = 4W / (9M)$ , де  $M = M_+ + M_-$  - маса іонної пари. Отже, маємо швидкості двох поперечних  $u_s^\perp = \sqrt{2W / (3M)}$  і поздовжньої  $u_s^\parallel = \sqrt{v_s^2 + 2u_s^{\perp 2}} = 4 / 3\sqrt{W / M}$  звукових хвиль. З цих виразів можна встановити співвідношення між поздовжньою та поперечною швидкостями звуку в ізотропному іонному кристалі  $u_s^\parallel / u_s^\perp = 2\sqrt{2/3} \approx 1.63$ , що близько до експериментальних значень.

1. А.А. Stupka, *Ukr. J. Phys.* **58**, 1156 (2013).
2. Н. Ашкрофт, Н. Мермін, *Фізика твёрдого тела*, т.2, (Мир, Москва, 1979).

## Динамический переход в двумерном электронном кристалле в условиях неполной экранировки прижимающего потенциала

Сивоконь В.Е.<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук;

Наседкин К.А.<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук;

Щарапова И.В.<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup> Физико-технический институт низких температур  
им. Б.И. Веркина Национальной академии наук Украины, Харьков

<sup>2</sup> RIKENCEMS, Wako, Japan

Система поверхностных электронов над жидким гелием представляет собой двумерную классическую систему с кулоновским взаимодействием. С одной стороны, она интересна как хорошая модель низкоразмерной системы, а с другой – как удобный объект для исследования поверхности квантовых жидкостей. Также обсуждается возможность использования поверхностных электронов для создания кубитов в квантовых компьютерах.

Одним из наиболее интересных особенностей этой системы является существование при определенных условиях пространственно упорядоченного состояния – электронного (вигнеровского) кристалла и, соответственно, фазового перехода между упорядоченным и неупорядоченным состояниями.

В системе наблюдается также неравновесный фазовый (динамический) переход, вызванный внешним электрическим полем при температурах ниже температуры плавления кристалла. Природа и специфика динамических переходов в двумерном вигнеровском кристалле однозначно не установлены, что вызывает необходимость дополнительных экспериментальных исследований. Поскольку свойства электронного кристалла существенно зависят не только от взаимодействия электронов, но и от взаимодействия электронного слоя с колебаниями поверхности жидкости (риплонами), интересны эксперименты, в которых можно независимо влиять на величины этих взаимодействий. Это достигается в случае неполной экранировки прижимающего потенциала, при которой поверхностная плотность электронов и электрическое поле, прижимающее электроны к поверхности жидкости, могут быть независимыми параметрами эксперимента.

В данной работе исследованы динамические переходы в двумерном вигнеровском кристалле над поверхностью жидкого гелия в условиях неполной экранировки прижимающего потенциала. Обнаружено, что критическое электрическое поле, вызывающее переход, зависит от поверхностной плотности электронного слоя и не зависит от прижимающего поля. Предполагается, что динамический переход связан, в первую очередь, с разрушением пространственного порядка в системе, ведущего к делокализации электронов и, как следствие, к изменению особенностей электрон-риплонного взаимодействия.

## Математичне, комп'ютерне моделювання фізичних процесів при проведенні лабораторних занять

Дьоміна Н.А., доц.; Морозов М.В., доц.

Таврійський державний агротехнологічний університет,  
м. Мелітополь

Робота присвячена математичним, комп'ютерним моделям з використанням програмного пакету MathCad для проведення імітаційних, віртуальних лабораторних робіт.

Методи математичного, комп'ютерного моделювання різноманітних явищ та процесів знаходять все більш широке застосування у різних галузях науки і розробка математичних моделей для проведення імітаційних лабораторних робіт з дисциплін «Фізика», «Теоретична механіка» та «Фізичні основи сучасних комп'ютерних технологій» є актуальною [1, 2].

Для реалізації математичного, комп'ютерного моделювання використовується інтегрована математична програма MathCad 14.0 PRO, яка є найбільш поширеною, зручною та ефективною порівняно з іншими системами та мовами програмування [3]. Особливістю та перевагою MathCad, орієнтованою під Windows 95, є: зручний інтерфейс системи аналогічний інтерфейсу текстового редактора Word і електронних таблиць Excel, можливість завдання математичних алгоритмів і формул у природній математичній формі з використанням загально прийнятої символіки для математичних знаків, що робить документи системи подібними (Worksheets) тексту наукової статті або звіту. Математичний пакет MathCad реалізує три основних редактора: текстовий, формульний і графічний, що забезпечує задачі математичного моделювання при проведенні імітаційної, віртуальної лабораторної роботи. Для захисту програми від можливого, але небажаного та некваліфікованого доступу сторонніх використовується операція Lock Regions. Крім того, деякі елементи програми можуть бути «схритими» на моніторі ПК, що дозволяє розробляти навчальні програми для роботи в діалоговому режимі. Також має інтерес можливість анімації графіків.

Розробка математичних, комп'ютерних моделей різноманітних фізичних процесів з використанням програмного пакету MathCad забезпечує проведення імітаційних лабораторних, що підвищує самостійність та зацікавленість студ.ів, активізує навчальний процес та поглиблює вивчення відповідних фізичних явищ та процесів.

1. О.А. Болбат, М.В. Морозов, С.Ю. Радєв, *Мелітополь: ТДАТУ, Вип. 10. 6*, 137: (2010).
2. Д.А. Усанов, *Комп'ютерное моделирование микро- и нано- структур* (Саратов: 2008).
3. В. Дьяконов, *MathCad 2001, учебный курс* (СПб.: Питер: 2001).

Дисперсія показників заломлення кристалів  $\text{PbGa}_2\text{S}_4$ 

Каменщиков В.М., *асп.*; Стефанович В.О., *канд. физ.-мат. наук*;  
Сусликов Л.М., *проф.*

Ужгородський національний університет, м. Ужгород

Досліджується дисперсія показників заломлення монокристалів  $\text{PbGa}_2\text{S}_4$  в спектральній області 0.45-0.80 мкм при  $T = 300$  К.

Кристали  $\text{PbGa}_2\text{S}_4$  жовтого кольору, кристалізуються в ромбічній решітці (просторова група  $Fddd - D_{2h}^{24}$ ) з параметрами комірки  $a = 2.70$ ,  $b = 20.38$ ,  $c = 12.15$  Å.

Вимірювання проведені методом призми. Спектральні залежності  $n_a$ ,  $n_b$ ,  $n_c$  наведені на рисунку 1.

Виходячи із узагальненої осциляторної моделі [1], визначені дисперсійні параметри кристала  $\text{PbGa}_2\text{S}_4$  в різних кристалографічних напрямках (табл. 1).

Виходячи із кореляцій  $E_d$  з іонністю  $f_i$  і отриманих експериментальних значень  $E_d$  при різних поляризаціях падаючого випромінювання, можна зробити висновок, що іонність в напрямку вісі [010] має максимальне значення.

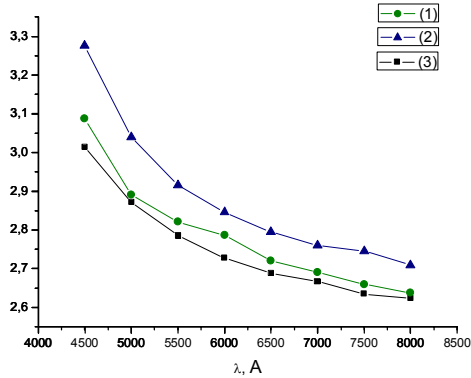


Рисунок 1 – Дисперсія показників заломлення  $n_a$  (кола),  $n_b$  (трикутники),  $n_c$  (квадрати) кристалу  $\text{PbGa}_2\text{S}_4$ .

Таблиця 1 – Дисперсійні параметри кристалу  $\text{PbGa}_2\text{S}_4$ .

Вісі кристалу	$E_d$ , eV	$E_\rho$ , eV	$\beta$
a	23.772	4.515	0.248
b	23.054	4.226	0.240
c	24.140	4.646	0.251
Середнє значен-	23.655	4.462	0.246

1. Wempile S.H., Di Domenico M. *Phys. Rev. B* **4**, 1338 (1971).



## Эффективная система уравнений Ланжевена для вращательного движения однодоменных ферромагнитных частиц

Денисов С.И., проф.; Лютый Т.В., докторант;  
Рева В.В., асп.

Сумский государственный университет, г. Сумы

При описании открытых систем влияние внешней среды часто моделируется гауссовским белым шумом. Если в уравнениях Ланжевена, описывающих такие системы, шум мультипликативный, тогда возникает проблема выбора его интерпретации, поскольку от этого могут зависеть статистические свойства изучаемой системы. С этой проблемой тесно связана и другая – нахождение приведенных уравнений Ланжевена, которые гораздо проще исходных, но имеют эквивалентные (в статистическом смысле) решения.

В данной работе отмеченные выше проблемы решены для векторного уравнения Ланжевена

$$\dot{\mathbf{m}} = -\frac{1}{\tau_r} \mathbf{m} \times (\mathbf{m} \times \mathbf{h}) - \sqrt{\frac{2}{\tau}} \mathbf{m} \times \boldsymbol{\xi}, \quad (1)$$

описывающего вращательное броуновское движение однодоменной ферромагнитной частицы сферической формы с пренебрежимо малым моментом инерции. Здесь  $\mathbf{m} = \mathbf{M}/M$ ,  $\mathbf{M}$  – вмороженная в частицу намагниченность,  $M = |\mathbf{M}|$ ,  $\mathbf{h} = \mathbf{H}/M$ ,  $\mathbf{H}$  – напряженность внешнего магнитного поля,  $\tau_r = 6\eta/M^2$ ,  $\eta$  – коэффициент вязкости среды, в которой движется частица,  $\tau = 6\eta V/k_B T$ ,  $V$  – объем частицы,  $k_B$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура. Предполагается, что компоненты белого шума  $\boldsymbol{\xi}$  удовлетворяют условиям  $\langle \xi_i(t) \rangle = 0$  и  $\langle \xi_i(t) \xi_j(t') \rangle = \delta_{ij} \delta(t - t')$ , где  $i, j = x, y, z$ , угловые скобки обозначают усреднение,  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера,  $\delta(t)$  – дельта функция Дирака.

Методом уравнения Фоккера-Планка установлено, что шум в (1) следует интерпретировать в смысле Стратоновича и показано, что приведенная система уравнений Ланжевена (в Ито смысле) имеет вид

$$\dot{\theta} = -\frac{1}{\tau_r} \frac{\partial w}{\partial \theta} + \frac{1}{\tau} \cot \theta + \sqrt{\frac{2}{\tau}} f_1, \quad \dot{\varphi} = -\frac{1}{\tau_r \sin \theta} \frac{\partial w}{\partial \varphi} + \sqrt{\frac{2}{\tau}} \frac{1}{\sin \theta} f_2, \quad (2)$$

где  $\theta$  и  $\varphi$  – полярный и азимутальный углы вектора  $\mathbf{m}$ ,  $w = -\mathbf{m} \cdot \mathbf{h}$ ,  $f_1$  и  $f_2$  – белые шумы с единичной интенсивностью. Проведена численная проверка эквивалентности решений уравнений (1) и (2).

## **СЕКЦІЯ 2**

### **«НАНОМАТЕРІАЛИ»**

## Вплив металізації вуглецю на характеристики суперконденсаторів

Семенчук І.І., *асп.*

Чернівецьке відділення Інституту проблем матеріалознавства  
ім. І.М. Францевича НАН України, вул. Ірини Вільде, 5

Умови, що визначають використання пористого вуглецю в якості електродної компоненти суперконденсаторів (СК) це, по-перше – велика внутрішня активна поверхня (більше  $1000 \text{ м}^2/\text{г}$ ), по-друге – висока електропровідність і по-третє – хімічна та електрохімічна стабільність. В даній роботі робиться спроба покращення електропровідності пресованого електроду СК за рахунок нанесення на поверхню вуглецевих часток металічного покриття (міді). Передбачалось, що при цьому повинен зменшитися внутрішній опір, але і ємність теж повинна зменшитись, тому що метал може закривати деяку частину пор.

Осадження міді проводилось хімічним способом – способом заміщення. Активованій вуглецевий матеріал в порошковому вигляді змішали з порошком заліза і помістили в розчин  $\text{CuSO}_4$ . При постійному перемішуванні витримували суміш в розчині 5 хв, потім промили в дистильованій воді, відфільтрували і просушили при температурі  $105^\circ\text{C}$  на протязі 30 хв. Залишки залізовмісного порошку видаляли магнітною сепарацією. Зібрали макет з двома ідентичними електродами (наважка активного матеріалу на кожен електрод – 0,05 г) і провели дослідження заряд-розрядних характеристик.

З експерименту встановлено, що питома ємність матеріалу, всупереч очікуваному, зросла на 43 – 45%, а внутрішній опір, як і очікували, зменшився майже на порядок. Зростання ємності при одночасному зменшенні внутрішнього опору пояснюється зменшенням електроопору контактних границь між окремими частками електродного матеріалу.

Таким чином, нанесення металічного покриття на порошокоподібний вуглецевий матеріал, при встановленні оптимальних режимів осадження, буде сприяти покращенню енергопотужнісних характеристик СК.

## Electronic structure of hollow graphitic carbon nanoparticles made from acetylene carbon black

Bogdan Ilkiv<sup>1</sup>, *Junior Research Fellow*; Oleksandr Foya<sup>1</sup>, *Research Associate*;  
Svitlana Petrovska<sup>1</sup>, *Senior Researcher*;  
Ruslan Sergiienko<sup>2</sup>, *Research Associate*; Oleksandra Ilkiv<sup>3</sup>, *Graduate Student*,  
Yaroslav Zaulychnyy<sup>3</sup>, *Professor*

<sup>1</sup> Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NAS of Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup> Physico-Technological Institute of Metals and Alloys NAS of Ukraine, Kyiv

<sup>3</sup> National Technical University of Ukraine “KPI”, Kyiv

The electronic structure of hollow graphitic carbon nanoparticles obtained by catalytic graphitization of acetylene carbon black (ACB HGCNs) was studied by ultra-soft X-ray emission spectroscopy (USXES) method. The phases of the carbon powder samples were determined by XRD with monochromatic  $\text{CuK}_{\alpha 1}$  radiation. Transmission electron microscopy was used to study the ACB HGCN spatial structures and morphologies. The electronic structures of reference Q-graphenes and HGCNs obtained from iron carbide filled carbon nanocapsules ( $\text{Fe}_3\text{C}@\text{CNCs}$ ) which were synthesized by plasma method in hexane were measured for comparison with that of the synthesized ACB HGCNs.

It has been found that according to an energy-dispersive X-ray analysis the content of iron in samples was estimated at about 1.8 wt. % for ACB HGCNs. In the samples of Q-graphenes some amount of MgO, which was used for production of these samples was revealed.

Images of graphitized products obtained by transmission electron microscopy showed ACB HGCNs with different diameters ranging from 20 nm to 1  $\mu\text{m}$  and shell thicknesses ranging from 4 to 50 nm.

USXES investigations revealed greater contribution of overlapping of  $pp\pi+pp\sigma$ -states in greater number of walls in HGCNs in comparison with Q-graphenes.

It has been found that in following sequence: HGCNs obtained from  $\text{Fe}_3\text{C}@\text{CNCs}$  – HGCNs synthesized by graphitization of ACB – Q-graphenes occupation of  $\pi$ -sub-band decreases.

USXES showed that ACB was not fully transformed into ACB HGCNs that was confirmed by XRD analysis and results obtained by transmission electron microscopy.

## Электродинамические параметры составных наночастиц

Камалиева А.Н, студ.

Поволжский Государственный Университет  
Телекоммуникаций и Информатики, г. Самара

Нелинейно-оптические среды с наночастицами металлов являются перспективными материалами для создания быстродействующих оптических переключателей [1]. Особенностью таких сред является возникновение плазмонного резонанса. В работе рассматриваются среды со сложными наночастицами, содержащими металлическое ядро (серебро) с диэлектрической оболочкой из диоксида кремния. Для расчета сечения поглощения и рассеяния использовался метод Адена-Керкера [2].

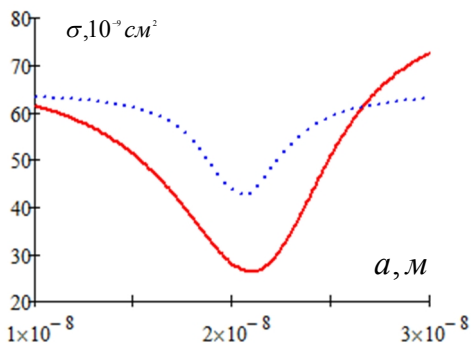


Рисунок 1 – Зависимость сечения поглощения от радиуса сердцевинки.

Сплошная линия:  $\omega = 1 \cdot 10^{14} \text{ рад/с}$ , пунктир:  $\omega = 1,6 \cdot 10^{14} \text{ рад/с}$ .

Результаты расчетов показали, что в рассматриваемой конфигурации существенное влияние на сечение поглощения и рассеяния составных наночастиц оказывает толщина диэлектрической оболочки, а в меньшей мере радиус ядра наночастицы.

Руководитель: Головкина М.В., доц.

1. А.И. Сидоров и др., *ЖТФ* **73**, 79 (2003).
2. T.J. Arruda et al., *J. Optics* **14**, 065101 (2012).

## Исследование параметров композитной среды с наночастицами $\text{TiO}_2$

Автор: Батальцев Д.А., студ.; Головкина М.В., доц.  
Поволжский Государственный Университет  
Телекоммуникаций и Информатики, г. Самара

Гетерогенной (композитной) средой называют объёмные взвеси частиц в какой-либо матрице. Гетерогенные среды с наночастицами представляют интерес для создания различных устройств, таких как: оптические переключатели, устройства пикосекундного диапазона, направленные соединители, интерферометр Маха-Цендера, планарные и трёхмерные диэлектрические микроволноводы и ряд других практически важных устройств для интегральной оптики и оптоэлектроники. В работе рассматривается композитная среда на основе стеклянной матрицы с включениями наночастиц диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ), обладающих высоким коэффициентом отражения в ультрафиолетовой области. Эффективная диэлектрическая проницаемость композитной среды рассчитывалась по формуле Максвелла-Гарнетта:

$$\varepsilon = \varepsilon_h \frac{1 + 2f \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_h}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_h}}{1 - f \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_h}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_h}},$$

где  $\varepsilon_h$  – диэлектрической проницаемости среды-хозяйки,  $f$  – фактор заполнения,  $\varepsilon_2$  – диэлектрическая проницаемость включений. Диэлектрическая проницаемость наночастиц оксида титана, отличная от диэлектрической проницаемости объёмного материала, рассчитывалась в соответствии с моделью [1]. Расчет коэффициента поглощения композитной среды показал зависимость не только от частоты, но и от радиуса наночастиц, что делает возможным изготовление композитных сред с заданными параметрами.

1. Ю.М. Александров, и др., *Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 10. 6*, 21(2012).

## Слоистая структура на основе композитной среды со сферическими наночастицами сложной формы

Обухович Т.Е., студ.; Утина А.Н., студ.; Головкина М.В., доц.  
Поволжский Государственный Университет  
Телекоммуникаций и Информатики, г. Самара

Нанокompозитные среды демонстрируют ряд новых свойств, которые не присущи обычным материалам. Особый интерес представляют среды, содержащие включения сложной формы [1, 2]. В данной работе мы рассматриваем плоскостойкую структуру, содержащую наряду со слоями обычных материалов ( $\text{SiO}_2$ , InAs) тонкие слои композитной среды со сферическими наночастицами, состоящими из диэлектрического ядра, покрытого серебряной оболочкой. Такие составные наночастицы демонстрируют нелинейные свойства, обуславливаемые наличием плазмонного резонанса на границе металл - диэлектрик. Наличие в наночастице двух слоев разной толщины дает дополнительные возможности управления электродинамическими параметрами наночастиц за счет изменения толщины оболочки или радиуса ядра. А включение тонкого слоя композитной среды в одномерный фотонный кристалл приводит к дополнительному влиянию квантовомеханических эффектов и формированию дополнительных запрещенных энергетических уровней и дополнительному изменению спектральных характеристик.

Расчет диэлектрической проницаемости композитной среды проводился по теории Максвелла Гарнетта, диэлектрическая проницаемость металла учитывалась в рамках модели Друде, свойства составных наночастиц рассчитывались в рамках теории [1]. Результаты численных расчетов коэффициента поглощения для рассматриваемой слоистой среды показали, что коэффициент поглощения существенным образом зависит от частоты, а также от толщины оболочки и толщины слоя композитной среды, что позволяет создавать структуры с заданными спектральными характеристиками.

1. А.И. Сидоров, *ЖТФ* **76**, 136 (2006).
2. A. Vallecchi, et. al., *General Assembly and Scientific Symposium*, 2011 XXXth URSI (2011).

## Перестраиваемый усилитель на основе слоистой наноструктуры

Рыгалова Д.А., студ.

Поволжский Государственный Университет  
Телекоммуникаций и Информатики, г. Самара

Слоистые наноструктуры являются наиболее перспективными материалами для создания таких устройств, как перестраиваемые усилители, на основе кольцевого резонатора [1]. Особенностью этих устройств является эффективное усиление сигнала под воздействием электрического поля. В работе рассматривается слоистая наноструктура, содержащая в себе несколько чередующихся слоёв иттриевого феррограната и сегнетоэлектрика. Для расчета дисперсионных характеристик структуры и коэффициента передачи сигнала использовался матричный метод.

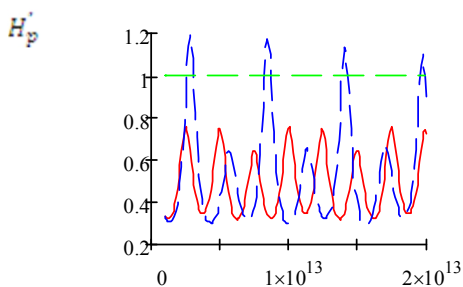


Рисунок 1 – Зависимость действительной части коэффициента передачи от частоты. Сплошная линия: напряженность внешнего электрического поля  $E = 500$  В/м, пунктир:  $E = 2000$  В/м.

Результаты расчетов показали, что в рассматриваемой конструкции существенное влияние на усиление сигнала оказывает изменение внешнего электрического поля, а в меньшей мере толщина слоёв наноструктуры.

Руководитель: Головкина М.В., доц.

1. А.А. Никитин, и др., *ЖТФ* **82**, 7 (2012).



## Топологія і структура неокислених та окислених торцевих поверхонь шаруватих кристалів селеніду галію

Катеринчук В.М., *стариш. наук. співроб.*;  
Кудринський З.Р., *мол. наук. співроб.*; Ковалюк З.Д., *проф.*  
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,  
Чернівецьке відділення, м. Чернівці

Сполуки з шаруватою структурою привертають увагу експериментаторів можливістю одержання природно-сколотої поверхні з високими параметрами малої шорсткості і інертності в оточуючому середовищі. Ван-дер-ваальсівський зв'язок шарів дозволяє легко сколювати кристали, а їх поверхня не потребує механічних і хімічних обробок. Однак шаруваті кристали (ШК) виявляють високу анізотропію властивостей. Тому цікавими є спроби використати ці властивості, зокрема при створенні гетеропереходів в площині, компланарній вісі  $C$  [1]. Зокрема, діодні структури, виготовлені в цій площині, дозволяють реалізувати фотоприймачі лінійно-поляризованого світла з рекордними як для анізотропних кристалів значеннями азимутально-струмової фоточутливості.

Методом рентгенофазного аналізу встановлено, що в процесі окислення грані кристалу GaSe, яка є колінеарною кристалографічній вісі  $C$ , на повітрі при температурі  $600^{\circ}\text{C}$  протягом 4 годин в при поверхневій області утворюються дві хімічні фази:  $\text{Ga}_2\text{Se}_3$  та  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ . Процентне співвідношення фаз є наступним  $\text{Ga}_2\text{Se}_3 : \text{Ga}_2\text{O}_3 : \text{GaSe} = 50.9 : 31.93 : 17.17$ . Досконалість природних торцевих поверхонь ШК GaSe досліджено методом атомно-силової мікроскопії (АСМ). З аналізу трьохмірних АСМ-зображень поверхні виявлені нанорозмірні утворення у вигляді «пагорбів» та «впадин». Їх поява пов'язується з взаємодією оточуючого середовища з поверхневими атомами кристалу. Аналіз довільного поперечного перерізу поверхні торця вказує на те, що максимальне відхилення неоднорідності відносно базисної площини не перевищує  $\approx 2$  нм, що свідчить про високу якість поверхні. Встановлено, що термічне окислення кристалів GaSe при температурі  $600^{\circ}\text{C}$  протягом 4 годин впливає на топологію поверхні. Її структура нагадує сукупність пологий конусів з густиною  $\approx 4 \times 10^9 \text{ см}^{-2}$ .

1. В.Н. Катеринчук, З.Р. Кудринський и др., *ЖТФ* **84**, 99 (2014).

## Морфологічні, оптичні властивості та елементний склад наночастинок $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ отриманих колоїдальним методом

Доброжан О.А.<sup>1</sup>, *асп.*; Шаповаленко А.О.<sup>1</sup>, *студ.*; Опанасюк А.С.<sup>1</sup>, *проф.*; Ібаньєс М.<sup>2</sup>, *проф.*

<sup>1</sup> Сумський державний університет, м. Суми

<sup>2</sup> Каталонський інститут енергетичних досліджень, м. Барселона

Сполука  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  (CZTSe) є одним з перспективних напівпровідникових матеріалів для використання як поглинаючий шар сонячних елементів (СЕ). В порівнянні з традиційними сполуками CdTe та  $\text{CuInGa(S,Se)}_2$ , які використовуються в геліоенергетиці, цей матеріал не містить малопоширених (Te, In, Ga) та токсичних елементів (Cd). Крім того, CZTSe є прямозонним напівпровідником зоптимальною для поглинання сонячної енергії ( $E_g = 1,5$  eV) шириною забороненої зони (ЗЗ) та високим значенням коефіцієнту поглинання ( $10^5 \text{ см}^{-1}$ ). Серед багатьох безвакуумних технологій отримання CZTSe особливу увагу привертає колоїдальний метод, який не вимагає вакууму, технологічно простий, масштабований та дозволяє контролювати властивості синтезованого матеріалу.

Основною метою роботи був синтез наночастинок (НЧ) CZTSe та визначення впливу фосфонних кислот на їх розміри та форму. Морфологія НЧ досліджувалась за допомогою просвічуючої електронної мікроскопії (Jeol 1010). Елементний склад матеріалу визначався за допомогою енергодисперсійного рентгеноспектрального аналізу, з використанням скануючого електронного мікроскопу Zeiss Auriga. Оптичні властивості були досліджені з використанням методу оптичної спектроскопії. Морфологічні дослідження показали, що синтезовані НЧ CZTSe були монодисперсними з розмірами 15-30 нм, вони змінювали свою форму від округлої до трикутної та багатогранної в залежності від типу використаної фосфонної кислоти. ЕДРС аналіз показав, що НЧ мали не стехіометричний склад з малим вмістом цинку. Найкращі результати відносно стехіометрії були отримані при використанні *n*-тетрадецилфосфонної кислоти:  $\text{Cu}_{1,87}\text{Zn}_{0,43}\text{Sn}_{0,99}\text{Se}_4$ . Розраховані значення ширини ЗЗ сполуки лежать в інтервалі (0,88 – 1,50) eV. Отримані результати можуть бути використані при створенні поглинаючих шарів СЕ.

## Изучение кинетики формирования наноструктурного $Al_2O_3$

Семкина Е.В., инж.; Байрачный Б.И., проф.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков

Наноразмерные оксидные слои, формируемые на алюминии методом анодирования, обладают рядом уникальных характеристик, обуславливающих их применение в микро-, наноэлектронике, оптических и сенсорных системах [1–3].

Для управления процессом роста пространственно-пористой системы важно изучить кинетику ее формирования. Пленки  $Al_2O_3$  получали на фольге чистотой 99,99% в растворах серной, щавелевой и ортофосфорной кислот, для сравнения синтезировали пленку барьерного типа в растворе винной кислоты. Поведение алюминия при анодной поляризации изучали методом снятия поляризационных кривых.

Анализ полученных данных показал, что зависимость в виннокислом растворе имеет омический характер с преобладающим вкладом падения напряжения в пленке оксида по сравнению с электрохимической стадией. В растворах  $H_2SO_4$ ,  $(COOH)_2$  и  $H_3PO_4$  наблюдается сходное поведение алюминия – начальный рост тока, пик, соответствующий зарождению пор, переход в неустойчивое пассивное состояние, характеризующее образование на поверхности оксидной пленки, от свойств которой зависит характер дальнейшего образования пористой структуры. Порядок реакции анодного растворения алюминия близок к единице, что соответствует диффузионными ограничениями при формировании оксида.

Варьирование условий электролиза и состава раствора позволило получить высокоупорядоченные рентгеноаморфные структуры с различным диаметром пор, расстоянием между ними и толщиной. Рассчитана пористость полученных пленок, выход по току и коэффициент объемного расширения.

1. G. Paternarakis, J. Chandrinos, K. Masavetas, *J. Solid State Electrochem.* **11**, 1191–1204 (2007).
2. F. Li, L. Zhang, R.M. Metzger, *Chem. Mater.* **10**, 2470–2480(1998).
3. G.D. Sulka, K.G. Parkola, *Electrochim. acta.* **52**, 1880–1888(2007).

## Нанопоруваті анодні оксидні плівки ніобію

Токарева І.А., *асп.*; Байрачний Б.І., *проф.*; Ляшок Л.В., *проф.*

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

Одним із перспективних об'єктів, що викликають науковий і практичний інтерес є наноструктуровані матеріали серед яких, завдяки своїм фізико-хімічним властивостям, окремої уваги заслуговують анодні оксидні плівки (АОП) вентиляльних металів. Відомо, що оксидні покриття ніобію, які отримані методом анодного окиснення в активних електролітах, мають нанопорувату структуру та широке практичне застосування. Дослідження електрохімічного формування наноструктурованих АОП є актуальною задачею.

У даній роботі методом скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) визначено, що нанопоруваті АОП на ніобії можуть бути сформовані при концентрації активатора (HF) в електроліті анодування менше ніж 0,5 М (рис. 1а, 1б). Підвищення концентрації фторид-іонів призводить до руйнування пористої структури оксидного покриття (рис. 1в).

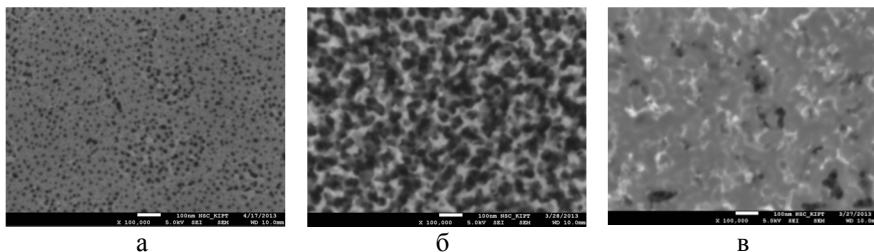


Рисунок 1 – СЕМ поверхні АОП ніобію синтезованих протягом 1 год при 60 В у розчині 1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  з додаванням HF:  
а) 0,25 М; б) 0,5 М; в) 1 М.

На підставі аналізу теоретичних закономірностей та експериментальних результатів, запропоновано механізм утворення поруватої АОП ніобію, що враховує фізико-хімічні процеси, які перебігають на початковій стадії росту оксиду. У присутності активатора відбувається локальне руйнування бар'єрного шару (адсорбція аніонів  $\text{F}^-$ , іонізація та дифузія в розчин продуктів реакції  $[\text{NbF}_7]^{2-}$ ), що призводить до формування нанопоруватої АОП.

## В'язкопружні модулі полівінілхлориду наповненого нанодисперсним металом

Левчук В.В., старший викладач; Колупаєв Б.С., проф.;  
Бричка О.О., студ.; Корейко Н.С., студ.

Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне

Одним із найбільш інформаційних методів вивчення в'язкопружних характеристик аморфних полімерів і гетерогенних полімерних систем (ГПС) на їх основі є визначення швидкості поширення і поглинання ультразвуку (УЗ). Як основу для отримання композитів в  $T-p$  режимі використовували полівінілхлорид ПВХ марки С-6359-М, що містить в якості наповнювачів нанодисперсні порошки міді (Cu), отримані різними методами, зокрема електричного вибуху провідника та електрохімічного осадження в електричному полі. Дослідження швидкості поширення поздовжньої ( $v_l$ ) і зсуву ( $v_t$ ) ультразвукових хвиль, а також відповідних їм коефіцієнтів поглинання ( $\alpha_l$ ,  $\alpha_t$ ) проводили на частоті 0,4 МГц імпульсним методом з прохідним сигналом в області температур  $298 \text{ K} \leq T \leq 358 \text{ K}$ . Отримані результати дослідження дійсної та уявної частини в'язкопружних модулів в функції від амплітуди деформації, температури, вмісту і типу нанодисперсного металу в полівінілхлориді. Виявилось, що найбільші зміни їх величини спостерігаються для композитів, що містять як наповнювач нанодисперсну мідь, отриману електрохімічним методом. При цьому на концентраційній залежності спостерігається мінімальне значення дійсної частини модулів при концентрації  $\varphi = 0,2$  об.% і 0,3 об.% Cu, отриманих різними методами. Величини в'язкопружних модулів також змінюються з амплітудою деформації і нелінійно зменшуються з збільшенням температури системи. Найбільш суттєві зміни в'язкопружних властивостей ПВХ-систем спостерігаються при введенні в матрицю понад 0,5 об.% нанодисперсного наповнювача різної фізико-хімічної природи. Показано, що механізми поглинання поздовжніх і поперечних УЗ хвиль, які пов'язані з об'ємною в'язкістю і в'язкістю зсуву близькі між собою. Введення нанодисперсної міді в ПВХ в діапазоні  $0 \leq \varphi \leq 1,0$  об.% дозволяє в широких межах змінювати комплекс акустичних властивостей системи.

## Вплив дуплексної обробки на структурні зміни порошкових покриттів на основі нікелю

Кравченко Ю.А., *ст. викл.*; Болдак Л.Є., *студ.*

Сумський державний університет, м. Суми

Термін роботи і вартість виготовлення будь-якої деталі є стимулом до пошуку нових технологій модифікації властивостей поверхні. До перспективних напрямків підвищення твердості, зносу та корозійної стійкості поверхневого шару відносять комбіновані (дуплексні, три-плексні) способи обробки.

Об'єктом дослідження виступали покриття із порошку на основі Ni (склад:  $Cr \approx 8 \div 14$ ;  $Fe \approx 5$ ;  $V \approx 2,3$ ;  $Cr \approx 1,2 \div 3,2$ ;  $Cr \approx 0,5$  ваг., товщина  $250 \div 300$  мкм), осаджені потоками імпульсної плазми на поверхню зразків із сталі 3. Покриття являло собою матеріал, який одержано в результаті удару, сильної деформації і високошвидкісної кристалізації прискорених і оплавлених потоками імпульсної плазми частинок. Аналіз шліфів свідчить про те, що формування захисного шару відбувалося шляхом налипання однієї на одну частинок порошку в різних агрегатних станах (на знімках РЕМ можна виділити обриси сильно оплавлених деформованих частинок). Більш чітко про їх наявність свідчать зображення приповерхневої області та поверхні покриття. На глибині  $\approx 150$  мкм від поверхні порошковий шар являє собою однорідну сплавлену систему. В перехідній області "покриття-підкладка" чітко виділяються ділянки вплавлення частинок в сталь, а відсутність чіткої межі розділу свідчить про перемішування матеріалів в рідкій фазі при вибраних режимах нанесення. Для зниження шорсткості покриття і його ущільнення проводилось опалвлення поверхні високошвидкісними потоками імпульсної плазми. Дослідження фазового та елементного складу показали, що використання еродуючого електроду із Мо сприяє насиченню приповерхневої області покриття його атомами. Застосування порошку на основі Ni дає можливість досягнення значного ущільнення матеріалу при його структурній стабільності в умовах високих температур. Встановлено, що зміна елементного і фазового складу та нанотведість одержаного покриття залежать від густини енергії плазмового потоку під час повторної обробки поверхні.

## Математична модель самоорганізації малих стаціонарних пересичень в накопичувальній іонно-плазмовій системі

Калашник А.В., студ.; Космінська Ю.О., доц.;  
Корнющенко А.С., доц.; Перекрестов В.І., проф.  
Сумський державний університет, м. Суми

Накопичувальна іонно-плазмова система (НПС) представляє собою розпилювальний пристрій на основі магнетронного розпилення та пустотілого катоду і використовується як лабораторний інструмент для селективної конденсації різноманітних нано- та мікроструктур в умовах, наближених до рівноважних. Головним критерієм наближення до рівноваги є гранично низьке значення відносного пересичення пари осаджуваної речовини, яке самоорганізується. Це досягається при безпосередній дії плазми на ростову поверхню.

В роботі досліджується математична модель самоорганізації гранично низьких стаціонарних пересичень. Модель представляє собою три диференціальних рівняння часової залежності взаємопов'язаних температури ростової поверхні  $T$ , відносного пересичення  $\xi$  та величини потоку, що конденсується,  $J_c$ . В основі математичної моделі лежать фізичні уявлення про енергетичний баланс на межі поділу «конденсований шар – плазма». Узагальнений вигляд моделі є такий:

$$\begin{aligned}\dot{T} &= f(T, \xi, J_c) \\ \dot{\xi} &= \varphi(T, \xi, J_c) \quad , \\ \dot{J}_c &= \psi(T, \xi, J_c)\end{aligned}\tag{1}$$

де крапка над символом означає похідну за часом.

Методом побудови дво- та тривимірних фазових портретів системи визначаються стаціонарні умови процесу конденсації, які відповідають наявності особливої точки у вигляді стійкого вузла. Спираючись на відоме експериментальне значення швидкості конденсації ряду металів в НПС, проводяться розрахунки значень параметрів системи рівнянь (1), які відповідають реальному експерименту.

## Плазмонний резонанс в наноструктурах

Опалько В.М., студ.; Космінська Ю.О., доц.;

Корнющенко А.С., доц.

Сумський державний університет, м. Суми

Наночастинки металів та напівпровідників здатні проявляти смуги плазмонного резонансного поглинання електромагнітного випромінювання у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах. Цей ефект використовується для створення різних оптоелектронних пристроїв, біосенсорів та ін.

Плазмонний резонанс може спостерігатися як в металевих, так і напівпровідникових наночастинках. Так, в наночастинках шляхетних металів параметри резонансу визначаються розміром та формою наночастинки, що дає можливість налаштування їх резонансів на ефективну взаємодію зі світлом. Відповідно до теорії Мі сумарний переріз поглинання та розсіяння світла  $C$  наночастинкою металу в залежності від розміру визначається за формулою:

$$C = \frac{24\pi^2 R \varepsilon_m^{3/2}}{\lambda} = \frac{\varepsilon_2}{(\varepsilon_1 + 2\varepsilon_m)^2 + \varepsilon_2^2} C = \frac{24\pi^2 R \varepsilon_m^{3/2}}{\lambda} = \frac{\varepsilon_2}{(\varepsilon_1 + 2\varepsilon_m)^2 + \varepsilon_2^2} \quad (1)$$

де  $R$  – радіус частинки,  $\lambda$  – довжина хвилі падаючого світла,  $\varepsilon_m$  – дійсна частина діелектричної проникності середовища, діелектрична проникність матеріалу  $\varepsilon(\omega) = \varepsilon_1(\omega) + i\varepsilon_2(\omega)$ . При умові виникнення плазмонного резонансу –  $\varepsilon_1 = 2\varepsilon_m$ .

Для отримання плазмонного резонансу в напівпровідникових квантових точках необхідна досить висока концентрація носіїв заряду – електронів або дірок. Досягти необхідної концентрації можна при відпалюванні квантових точок. Змінюючи концентрацію носіїв в домішкових напівпровідниках та частоту падаючого світла, можна отримати ряд плазмонних резонансів різної інтенсивності.

В роботі на основі чисельного розв'язку диференціальних рівнянь методом кінцевих елементів в одному, двох чи трьох вимірах проводиться комп'ютерне моделювання параметрів та структури спектрів плазмонного резонансу в наноструктурах, які представляють собою окремі наночастинки та їх олігомери, в залежності від їх матеріалу та геометрії, а саме: форми, розміру, симетрії.



## Вплив складу, температури осадження і опромінення на структурно-напружений стан іонно-плазмових покриттів квазібінарної системи TiC-WC

Шовкопляс О.А., керівник НМБЕН  
Сумський державний університет, м. Суми

Методом рентгенівської дифрактометрії у поєднанні з рентгензومتрією (“ $a\text{-sin}^2\psi$ ”-метод) проаналізовано фазово-структурний й напружено-деформований стани іонно-плазмових покриттів квазібінарної системи TiC-WC в залежності від складу, температури осадження і опромінення протонами з енергією 200 кеВ до дози  $6,5\cdot 10^{17}$  см<sup>-2</sup>. Показано, що використання фаз із різною теплою утворення (TiC – з відносно великою теплою утворення 183,8 кДж/моль та WC – з відносно низькою теплою утворення 37,7 кДж/моль) як складових квазібінарної системи дозволяє змінювати фазовий склад від монокарбиду, стабільного до високих температур, до багатофазного стану з фаз нижчих карбідів. Виявлено розширення (в порівнянні з рівноважними умовами одержання) меж області існування кристалічного стану з кубічною решіткою структурного типу NaCl. Збільшення температури підкладки при осаджуванні приводить до анізотропного росту кристалітів із переважним ростом у напрямі падіння частинок. Із підвищенням вмісту TiC складової з високою енергією зв’язку середній розмір кристалітів збільшується. В той же час великий вміст WC складової дозволяє перевести структурний стан матеріалу на нанорівень із розміром кристалітів 4 – 20 нм.

Визначено, що підвищення вмісту TiC складової приводить до збільшення величини залишкових напружень стиснення в покритті, що при температурі осадження 530°К і складі 25 мол.% WC – 75 мол.% TiC досягає 7,7 ГПа. Встановлено, що в нанокристалічному стані покриттів коефіцієнт Пуассона складає близько 0,24, а коефіцієнт термічного розширення –  $2\cdot 10^{-5}$  К<sup>-1</sup>.

Встановлено, що покриття квазібінарної системи є стійкими за своїми фазово-структурними характеристиками до опромінення протонами. Суттєві зміни під дією опромінення відбуваються тільки в напружено-деформованому стані.

## Формирование пористых структур Ti в условиях самоорганизации малых пересыщений

Загайко И.В., *асп.*; Мокренко А.А., *ассистент*;  
Перекрестов В.И., *проф.*  
Сумский государственный университет, м. Сумы

Интерес к структурам с развитой поверхностью обусловлен широким спектром их применения в микроэлектронике, химии, медицине. Существует широкий спектр методов формирования пористых структур. Но, как правило, их реализация предусматривает сложный, многоступенчатый процесс. Предложенная нами методика имеет ряд преимуществ, связанных с простотой и низкой себестоимостью технологического процесса.

Высокопористые конденсаты Ti были получены с помощью устройства, принцип работы которого изложен в работе [1]. Осаждение производилось на подложки из стекла и монокристаллического KCl. Мощность разряда магнетронного распылителя составляла 10 Вт, температура нагревателя – 300 К, а давление аргона в рабочей камере 2.9 – 4.3 Па. Для уменьшения вероятности образования примесных фаз минимизировались парциальные давления остаточных химически активных газов посредством глубокой очистки аргона.

Исследования образцов, которые проводились при помощи просвечивающей (ПЭМ) и растровой (РЭМ) электронной микроскопии показали, что на подложке изначально формируется базовый непористый слой, а с увеличением времени осаждения (более 3 часов) происходит образование слабо связанных между собой кластеров округлой формы. Дальнейшая конденсация приводит лишь к изменению размеров структурных фрагментов с сохранением общего характера морфологии. Подобное структурообразование пленок возможно при достаточном приближении к равновесию системы плазма-конденсат.

1. V.I. Perekrestov, A.I. Olemskoi, Yu.O. Kosminska, and A.A. Mokrenko, *Phys. Lett. A373*, 3386 (2009).

## Отримання упорядкованої системи наноострівців нікелю за допомогою мембран анодно-окисленого алюмінію

Наталіч В.В., *асп.*; Перекрестов В.І., *проф.*;  
Корнющенко Г.С., *доц.*  
Сумський державний університет, м. Суми

Упорядковані масиви наноструктур металів привертають значний науковий інтерес завдяки перспективам їх використання в електроніці, оптоелектроніці, сенсорах, ультратонких моніторах. Тому дуже важливою технологічною задачею є створення універсального методу, який би дозволив отримувати впорядковані наноструктури на поверхні підкладки з можливістю контролювати їх форму, розмір, та відстань між структурними елементами.

Запропонований нами технологічна система на базі магнетронних розпилювачів та мембран анодно-окисленого алюмінію, дозволяє формувати наносистеми Ni при наближенні до термодинамічної рівноваги. Мембрани анодно-окисленого алюмінію представляють собою нанорозмірні впорядковані пори, що дозволяють контролювати розмір отриманих наноструктур відповідно до розмірів пор на анодно-окисленому алюмінію. Для кращого проникнення речовини в середину пор нами була розроблена система на основі трубок, що формує вузько спрямований потік розпилених атомів. Також для підвищення структурної досконалості конденсатів та зменшення можливості їх формування безпосередньо на мембрані конденсація Ni проводилася при наднизьких пересиченнях. В процесі конденсації нікелю через систему нанопор анодно-окисленого алюмінію були використані мембрани з різними діаметрами пор (55 – 100 нм). Структури отриманих конденсатів Ni досліджувалися за допомогою рентгенівського енергодисперсійного аналізу, РЕМ та АСМ. В результаті проведених експериментів було встановлено, що збільшення часу осадження від двох до п'яти годин, температури нагрівача від 480 до 520°C та потужності розряду магнетронного розпилювача від 0.45 до 0.7 Вт призведе до формування системи наноострівців нікелю, які в свою чергу складаються із слабкозв'язаних один з одним нанокластерів, розмірами 10 – 15 нм.

Робота виконана в рамках гранту № 0113U004331.

## Опис активних речовин в рамках гідродинамічного підходу

Ющенко О.В., доц.; Жиленко Т.І., ст. викл.;

Макашенець М.С., студ.

Сумський державний університет, м. Суми

На даний момент під активною речовиною слід розуміти всюди нерівноважні конденсовані системи. Їх об'єднує наявність самокерованих складових (активних частинок), кожна з яких здатна перетворювати накопичену внутрішню енергію або енергію навколишнього середовища в енергію руху. До неживих прикладів активної речовини можна віднести шари віброуючою гранульованого середовища або колоїдні нанорозмірні частинки, що проходять крізь рідину завдяки каталітичній активності своєї поверхні.

Взаємодія активних частинок одна з одною та з навколишнім середовищем призводять до сильно взаємозалежного колективного руху. При цьому багато з макроскопічних властивостей активних систем універсальні в тому сенсі, що системи з різними масштабами та динамікою на мікроскопічному рівні виявляють однакову поведінку.

Корисні теоретичні основи для опису макроскопічних властивостей активної речовини забезпечуються за допомогою методів нерівноважної статистичної механіки. В узагальненому гідродинамічному підході опис поведінки системи дається за умови невеликого числа полів суцільного середовища. Тоді еволюція цих полів може записуватися у вигляді рівнянь гідродинаміки.

Один з підходів для отримання гідродинамічної теорії активних систем полягає в тому, щоб почати з мікроскопічної моделі та використовувати інструменти статистичної фізики для її узагальнення. В результаті можна отримати довгохвильові рівняння на великих масштабах часу. Це завдання складне, якщо мікроскопічний опис є реалістичним, але може бути здійснене за рахунок наближень, наприклад, враховуючи низьку щільність або слабкі взаємодії. Це дозволяє зв'язати параметри в макроскопічні рівняння для конкретних фізичних механізмів і оцінити їх з точки зору експерименту. Альтернативним підходом є точний опис гідродинамічних рівнянь для макроскопічних полів, включаючи всі умови симетрії.

## A self-assembly of nanoparticles

Yushchenko O.V., *Associate Prof.r*; Badalyan A.Yu., *Assistant*;  
Bratash S.O., *Stud.*  
Sumy State University, Sumy

Nanotechnology achievements are often connected to material science because the design of a wide range of advanced nanostructured materials will reduce the size of the components of many devices. But nanoscience today is more interested in the formation of nanoassemblies and further coupling of them into the nanostructured materials.

There are two main methods of nanoassemblies fabrication: top-down and bottom-up. While the first method is based on different types of lithography, the second method is characterized by the self-organization process – self-assembly of atoms or molecules. Self-assembly involves a large number of nanoparticles, occurs parallel, and forms hierarchically structured materials. So for design of materials with desired properties the self-assembly becomes the most promising method.

We propose a model of the self-assembly of active nanoparticles on the basis of the canonical Hamiltonian approach. Considering the coordinate, momentum and internal energy of the particle, we arrive to the system of three differential equations. For the adiabatic approximation it is reduced to a system of two differential equations, which was investigated by the phase-plane method.

Within our approach all equilibrium states are realized at zero momentum. But depending on the system parameters and the internal energy given by the external conditions, these states may be stable (then particles with the corresponding initial values of coordinate and momentum move to this point) or unstable (the nearest particles change their coordinate and momentum so that move away from the given point). Besides the transformation of internal energy has a big impact. If the internal energy is transformed only into kinetic energy, then there are two possible stable states (two coordinates, where the self-assembly occurs. If the internal energy is transformed not only into kinetic energy, but also into potential energy, much more stable states are realized. But the sensitivity to the initial conditions increases. Analyzing the obtained results, we can talk not only about the possibility of nanoparticles' self-assembly, but also about the coordinates and the velocity of the process realization.

## Дисипація енергії в наночастинках під дією зовнішнього магнітного поля

Бабич Г.В., *асп.*

Сумський державний університет, м. Суми

Останнім часом широко розгляду набули дослідження однодомених наночастинок, що застосовуються в терапії ракових захворювань методом гіпертермії [1,2]. Такі частинки при цьому грають роль центрів дисипації енергії змінного магнітного поля, що викликає розігрів пухлини і як наслідок апоптоз клітин та їх подальшу абляцію.

В даній роботі чисельно досліджується залежність дисипованої енергії від параметрів зовнішнього магнітного поля в однодоменній феромагнітній наночастинці. Магнітний момент такої частинки має постійне за величиною значення, а його напрям змінюється у часі згідно рівняння Ландау-Ліфшиця:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{M}} &= -\gamma' \mathbf{M} \times \mathbf{H}_{eff} + \lambda \mathbf{M} \times (\mathbf{M} \times \mathbf{H}_{eff}) \\ \dot{\mathbf{M}} &= -\gamma' \mathbf{M} \times \mathbf{H}_{eff} + \lambda \mathbf{M} \times (\mathbf{M} \times \mathbf{H}_{eff}), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\mathbf{M}$  – вектор намагніченості,  $\mathbf{H}_{eff}$  – ефективне магнітне поле, що діє на вектор  $\mathbf{M}$ ,  $\gamma'$ ,  $\lambda$  – константи, які визначаються через гіромагнітне відношення та параметр затухання Гілберта. В попередніх роботах розглядався випадок, коли вісь була направлена перпендикулярно до циркулярно поляризованого магнітного поля. В даному дослідженні враховується довільність напрямку легкої вісі, який задається кутами  $\theta_0$  та  $\varphi_0$ , що дозволяє більш широко та узагальнено розглянути процес нагрівання наночастинки під дією зовнішнього поля.

Керівник: Денисов С.І., *проф.*

1. Magnetic Nanoparticles. From Fabrication to Clinical Application (Ed. N.T.K. Thanh). CRC Press, Boca Raton 2012, 584 p.
2. Reddy L., Areas J.L., Nicolas J., Couvreur P. *Chem. Rev.* **112**. 5818 (2012).

**СЕКЦІЯ 3**

**«ФІЗИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА»**

## Електронне збудження стану $(4p^5 4d5s)^4S_{3/2}$ атому рубідію

Роман В.І., *асп.*

Інститут електронної фізики НАН України, м. Ужгород

Внаслідок ефекту конфігураційного змішування з дублетними рівнями, стан  $(4p^5 4d5s)^4S_{3/2}$  з енергією збудження 16.64 еВ має два конкуруючі канали розпаду – електронний з утворенням іону  $Rb^+$  в основному стані, і радіаційний на атомні стани  $(4p^6 nl)^2P$  [1]. В даній роботі, методом електронної спектроскопії [2] нами вперше виявлений електронний розпад цього стану, а також досліджено динаміку його збудження в діапазоні енергій зіткнень від порогу до 20 еВ. Похибка у визначенні ефективного перерізу збудження не перевищувала 40%.

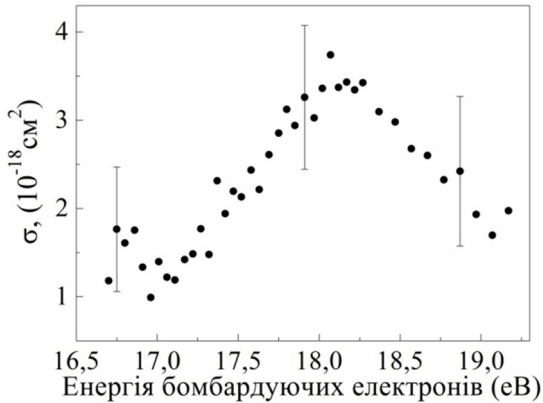


Рисунок 1 – Переріз збудження  $\sigma$  стану  $(4p^5 4d5s)^4S_{3/2}$  атому рубідію.

Функція збудження стану  $(4p^5 4d5s)^4S_{3/2}$  представлена на рис.1. Вона характеризується наявністю двох максимумів, з яких перший, при енергії 16.8 еВ, зумовлений процесом утворення і розпаду стану негативного іону  $Rb^-$ . Другий максимум перерізу ( $\sigma=3.7 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ ) відображає обмінний характер електронного збудження стану  $^4S_{3/2}$ .

Керівник: Боровик О.О., *стари. наук. співроб.*

1. A. Mendelson, et al., *Phys. Rev. A*. **35**, 2095 (1987).
2. A. Borovik, et al., *J. Phys. B*. **38**, 1081 (2005).



## Динаміка збудження автоіонізаційних станів в атомі рубідію

Роман В.І., асп.

Інститут електронної фізики НАН України, м. Ужгород

Електронне збудження  $4p^6$  оболонки в атомі Rb призводить до утворення станів  $4p^5 n_1 n_2 l_2$ , основним каналом розпаду яких є електронний з утворенням іону  $Rb^+$  в основному стані (автоіонізація). З використанням методу електронної спектроскопії [1], нами досліджені функції збудження (ФЗ) деяких дублетних та кватеретних автоіонізаційних станів (АІС), які представлені на рис.1. Похибка при визначенні ефективних перерізів збудження не перевищувала 30%.

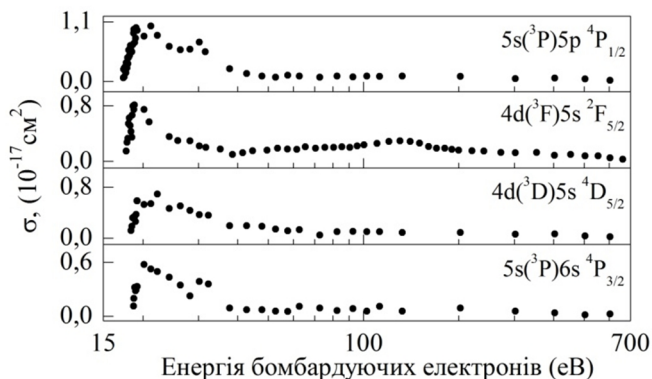


Рисунок 1 – Ефективні перерізи збудження  $\sigma$  АІС атому рубідію.

Як видно, ФЗ кватеретних станів мають типовий для обмінних переходів вид – максимум поблизу порогу збудження і швидке падіння перерізу зі збільшенням енергії зіткнень. Різке зростання перерізу зразу за порогом збудження всіх рівнів вказує на присутність в цій області станів негативного іону Rb. Повільне зменшення перерізу рівнів  $4P_{1/2}$ ,  $4D_{5/2}$ ,  $4P_{3/2}$  в діапазоні енергій 20-40 еВ може бути проявом їх каскадного заселення радіаційними переходами з верхніх кватеретів.

Керівник: Боровик О.О., старш. наук. співроб.

1. A. Borovik, V. Roman, et al., *J. Phys. B.* **46**, 015203 (2013).
2. A. Kupliauskienė, G. Kerevicius, *Phys. Scr.* **88**, 065312 (2013).

## Спектри ежкетованих електронів атомів барію, збуджені електронним ударом

Грицько В.В., *асп.*

Інститут електронної фізики НАН України, м. Ужгород

Електронне збудження автоіонізаційних спектрів атомів барію досліджувалися у єдиній роботі [1]. Однак автори провели дослідження з мінімальною енергією зіткнень 20 еВ. Метою даної роботи було дослідити електронні спектри при менших енергіях зіткнень і провести попередню класифікацію ліній. Виміри проведені на установці, яка включала в себе  $127^\circ$  електростатичні монохроматор і аналізатор електронів та джерело атомного пучка [2].

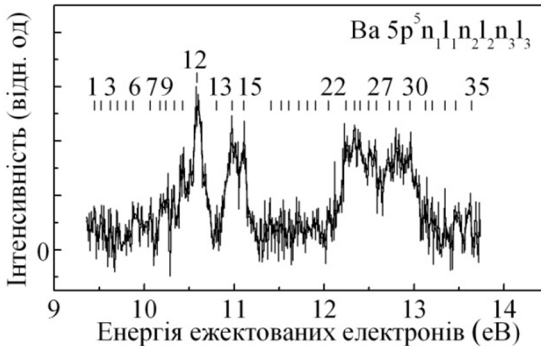


Рисунок 1 – Спектр ежкетованих електронів атомів барію при енергії зіткнень 19.02 еВ.

Електронні спектри атомів барію були одержані для енергій зіткнень 17.96, 18.46, 19.02 і 19.50 еВ. Аналіз спектрів показав, що всі 35 спостережуваних ліній (див. рис.1) належать розпаду атомних автоіонізаційних станів  $5p^5 n_1 l_1 n_2 l_2 n_3 l_3$ . Виявлено нові лінії 1-6, 10, 13, 16, 19, 21, 23-25, 27, 29, 31-35, які не спостерігалися у роботі [1].

Керівник: Боровик О.О., *стари. наук. співроб.*

1. D. Rassi, and K.J. Ross, *K. J. Phys. B* **13**, 4683 (1980).
2. A. Borovik, et.al., *J. Phys. B* **38**, 1081 (2005).

## Спектроскопічна класифікація електронних спектрів атомів барію

Грицько В.В., *асп.*

Інститут електронної фізики НАН України, м. Ужгород

На електронному спектрометрі, який містив  $127^\circ$  електронний аналізатор і монохроматор енергій електронів, джерело атомного пучка [1], проведені виміри спектрів ежектованих (автоіонізаційних) електронів атомів барію в діапазоні енергій зіткнень 17.96-19.50 еВ. Калібрування шкали енергій в спектрах проводилося за даними з фотопоглинання для атомного стану при енергії 15.81 еВ [2] із точністю  $\pm 0.02$  еВ.

Проведена класифікація спостережуваних в спектрах ліній базувалась на теоретичних даних [3]. Дані для перших чотирьох автоіонізаційних станів конфігурації  $5p^5 6s^2 5d$  представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Спектроскопічна класифікація ліній.

$E_{36}$ (eV)	Стан	Перехід	$E_{eж}$ (eV)	Лінія
15.82	$^3P_0$	$5p^6 6s^2 S_{1/2}$	10.60	18
		$5p^6 5d^2 D_{5/2}$	9.93	10
16.01	$^3P_1$	$5p^6 5d^2 D_{3/2}$	10.20	12
		$5p^6 5d^2 D_{5/2}$	10.09	11
16.49	$^3P_2$	$5p^6 6s^2 S_{1/2}$	11.26	23
		$5p^6 5d^2 D_{5/2}$	10.60	18
16.86	$^3F_4$	$5p^6 6s^2 S_{1/2}$	11.64	28
		$5p^6 5d^2 D_{3/2}$	11.06	20

Керівник: Боровик О.О., *стари. наук. співроб.*

1. A. Borovik, et al., *J. Phys. B* **38**, 1081 (2005).
2. D. Rassi and K.J. Ross, *K. J. Phys. B* **13**, 4683 (1980).
3. А.А. Боровик, И.С. Алексахин, А.В. Купляускене, *Опт. и спектр.* **51**, 433 (1981).

## Рентгенограми катоду при розряді електрохімічної комірки Li/LiClO<sub>4</sub> в ПК/InSe

Гаврилук С.В.<sup>1</sup>, доц.; Ковалюк З.Д.<sup>2</sup>, проф.; Мінтянський І.В.<sup>2</sup>, старш. наук. співроб.; Савицький П.І.2, старш. наук. співроб.

<sup>1</sup>Чернівецький державний університет, м. Чернівці

<sup>2</sup>Інституту проблем матеріалознавства НАН України,  
Чернівецьке відділення, м. Чернівці

Дифракція рентгенівських променів (CuK<sub>α</sub> випромінювання) вивчалася in-situ для електрохімічної комірки з берилієвим вікном. Анодом служив металічний літій, а катод формувався на нікелевій сітці з монокристалічного InSe по порошковій технології (розмір часток - ≤75 мкм) з додаванням зв'язуючої та провідної речовин. Як електроліт використовувався 1М розчин перхлорату літію LiClO<sub>4</sub> в пропіленкарбонаті. Реєстрація дифрактограм на різних стадіях розряду проводилася при рівноважних значеннях електродного потенціалу, що досягалося витримкою комірки при розімкнутому колі на протязі 50 годин.

Дифракційний профіль вихідного катоду містить інтенсивні піки від γ-3R політипу InSe, а визначені параметри кристалічної ґратки складають:  $a = 4,003 \pm 0,010$  та  $c = 24,9553 \pm 0,0006$  Å. При розряді інтенсивність дифракційних відбивань від кристалічної ґратки InSe зменшується. На початковій стадії збільшується величина параметра ґратки впоперек шарів та виявлено новий пік при куті  $2\Theta = 32,93^\circ$ , інтенсивність якого зростає до  $x \approx 0,5$  (в перерахунку на Li<sub>x</sub>InSe).

При подальшому розряді появляються й інші відбивання, а їх інтенсивність збільшується аж до  $x \leq 2$ . Надалі рентгенівські дифрактограми вже не містять відбивання від структури InSe. Проведений аналіз показав, що взаємодія літію з моноселенідом індію включає дві стадії. При  $x \leq 0,5$  формується інтеркалятна сполука Li<sub>x</sub>InSe і можлива деінтеркаляція іонів літію. Пізніше має місце реакція диспропорціонування вихідного шаруватого матеріалу з утворенням індію та селеніду літію Li<sub>2</sub>Se.

## Вплив поверхневих електронних станів на магнітоопір тонких монокристалічних пластин вольфраму

Сологуб С.В., старш. наук. співроб.; Борденюк І.В., наук. співроб.  
Інститут фізики НАН України, м. Київ

Представлені результати надвисоковакуумних досліджень зміни магнітоопору (МО) пластин W(110), викликаної адсорбцією водню при фіксованих температурах підкладки в інтервалі  $T = 4,2 - 15$  К. Показано, що при утворенні впорядкованого моношару адсорбату при умовах статичного скін-ефекту ( $\mathbf{H} \parallel \mathbf{n}$ ;  $\mathbf{H}$  –напруженість магнітного поля,  $\mathbf{n}$  – нормаль до поверхні) [1] та поперечного магнітоопору ( $\mathbf{H} \perp \mathbf{n}$ ), МО стає, відповідно, меншим чи більшим за значення  $R_0$ , характерного для атомночистої поверхні. Результати підтверджують висновок про збільшення дзеркальності розсіювання носіїв струму на поверхнях W(110) і Mo(110) внаслідок індукованої адсорбцією трансформації електронної структури поверхні підкладки та викликаного нею придушення переходів носіїв струму між поверхневими і об'ємними електронними станами [2,3].

Представлений аналіз даних про зміну МО при ступінчатому відпалі ( $T = 4,2 - 800$  К) плівок дейтерію, напорошених до насичення на поверхню W(100) при  $T = 4,2$  [4], який показує, що при формуванні моношару адсорбату поперечний МО ( $\mathbf{H} \perp \mathbf{n}$ ) також стає більшим за  $R_0$ , тоді як в умовах статичного скін-ефекту ( $\mathbf{H} \parallel \mathbf{n}$ ) МО не досягає значення меншого за  $R_0$ . Аналізуються причини різної поведінки МО для поверхонь (110) і (100) - відмінності кристалічної і електронної структури поверхні та різниця у структурі моношарових покриттів.

1. O.A. Panchenko, P.P. Lutsishin, S.V. Sologub, *Prog. Surf. Sci.* **96**, 193 (2002).
2. O.A. Panchenko, S.V. Sologub, *Phys. Rev. B* **71**, 193401 (2005).
3. O.A. Panchenko, S.V. Sologub, I.V. Bordenjuk., *Surf. Sci.*, **605**, 1287 (2011).
4. V.F. Koval, O.A. Panchenko, P.P. Lutsishin, S.V. Sologub, *Surf. Sci.*, **331**, 1317 (1995).

## Хвилеводно-вібраторний опромінювач

Зіньковський Ю.Ф., проф.; Туровський А.О., асп.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут», м. Київ

Робота присвячена дослідженню вібраторно-хвилеводного опромінювача [1] на частоту 2,45 ГГц для роботи у складі пристрою опромінення діелектричних матеріалів [2]. Опромінювач повинен забезпечувати рівномірний розподіл поля у ближній зоні, вектор поляризації повинен бути нахиленим під кутом  $45^\circ$  до осі хвилевода.

Конструкція випромінювача приведена на рис.1. На широкій стінці хвилевода 4 розташовано ряд елементів, сформованих відрізком коаксіальної лінії, що з одної сторони переходить у зонд 3, а з іншої, через симетризатор 2, живить плечі півхвильового вібратора 1.

У дослідженні спочатку, задаючись необхідним розподілом поля, розраховувались необхідні параметри вібратора, симетризатора і коаксіального відрізка, співвідношення амплітуд збудження кожного елемента. На другому етапі, за відомими амплітудами визначались відповідні розміри кожного зонда.

В результаті дослідження отримано оптимальні параметри, які забезпечують узгодження випромінювача при необхідному рівні однорідності поля. Розглядалася 5-елементна конструкція. Відстань між елементами  $Lb$  (починаючи від входу) становить 92 мм, 79 мм, 88 мм, 87 мм; довжини  $Lz$  зондів становлять 15,4 мм, 19,5 мм, 18 мм, 17 мм, відповідно; довжина вібраторів  $Lv = 58$  мм, довжина симетруючих щілин  $Ls = 23$  мм, відстань  $Lt$  від вібраторів до хвилевода – 61 мм. Коефіцієнт стоячої хвилі при цьому забезпечений на рівні нижче 1,1.

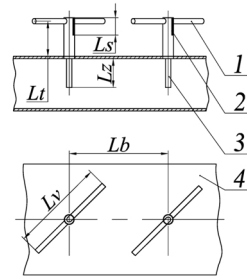


Рисунок 1 – Фрагмент випромінювача

1. М. С. Жук, *Проектирование антенно-фидерных устройств* (Москва Энергия: 1966).
2. Ю. К. Сидорук. *Мікрохвильовий пристрій для передпосівної обробки насіння, сушіння зерна та інших сипучих матеріалів*. Патент України 65629, заяв. 20.05.2011, опубл. 12.12.2011.

### Комплекс диагностики и терапии сердечно-сосудистой деятельности

Фоминых А.М., асп.; Егоров А.В., доц.

Поволжский государственный технологический университет,  
г. Йошкар-Ола

Основная цель работы реализация автономной системы индивидуального непрерывного терапевтического кардиомониторинга на базе системы искусственного интеллекта.

Кардиосигнал снимается с кожной поверхности запястий и ног полимерными электродами с серебряным покрытием. Сигнал пульсовой волны регистрируется с запястья правой руки человека с помощью фотометрического пульсоксиметра. Используя значения времени запаздывания ангиопульсовой волны от электрокардиограммы и значение артериального давления (АД), рассчитывается индивидуальный коэффициент АД человека, используя который, прибор в дальнейшем сам может вычислять значение АД.

Программа автоматической диагностики и терапевтического воздействия представляет собой комплекс подпрограмм и основана на системе автономного анализа и накопления базы знаний.

Нами разработан прототип прибора осуществляющего терапевтическое воздействие синхронизированное с мониторными данными сердечно сосудистой системы человека, где управляющим модулем служит экспертная система с пополняемой базой диагностических знаний, накопление и изменение которой выполняется под контролем врача специалиста.

1. П.Л. Андриященко, В.М. Большов, В.А. Клочков и др., *Мед. техника* **4**, 26 (1995).
2. А.В. Блинов, Е.П. Селиванов, *Измерительная техника* **8**, 64 (1995).

## Електромагнітна камера для сушіння зернопродуктів

Сидорук Ю.К., доц.; Рибачук І.Г., студ.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», м. Київ

Проблемою конвективних методів є різке спадання швидкості сушіння з часом, тому, що більш вологі ділянки зернівки матимуть вищу температуру. Таким чином збільшення швидкості сушіння призводить до значного перегріву зовнішніх шарів, що не допустиме при сушінні насіння [1].

Для забезпечення високої якості та швидкості сушіння зернових матеріалів запропоновано пристрій для безперервного сушіння електромагнітним полем НВЧ [2].

Камера обробки зерна має форму циліндра із радіопрозорими стінками, в яку із завантажувального бункера надходить зерно, яке після сушіння рухається по ній до вихідного бункера. Зерно опромінюється електромагнітними хвилями від лінійних випромінювачів, поляризація яких нахилена під кутом  $90^\circ$  до їх осі. Навколо камери розташований поляризований фільтр (ПФ), у якого з протилежних сторін від осі системи вісь поляризації розвернута на  $90^\circ$ . Тому хвиля вільно проходить крізь ПФ, надходить до зерна, де затухає, а залишкова енергія хвилі відбивається від протилежної сторони ПФ і повторно проходить зерном. Для вищої енергоефективності поверхня ПФ оточена узгоджуючою поверхнею, яка знижує рівень відбитої хвилі від межі повітря-зерно.

Така конструкція забезпечує високий рівень ефективності використання енергії, і при цьому дозволяє створити рівномірний розподіл щільності потоку енергії по об'єму матеріалу, що необхідно для забезпечення високої якості продукту та стабільності його біохімічного складу.

1. U. Shivare, G. Raghavan, R. Bosisio, *JMPPE*. **24**, 38 (1991).
2. Ю. К. Сидорук, *Мікрохвильовий пристрій для передпосівної обробки насіння, сушіння зерна та інших сипучих матеріалів*. Патент України 65629, заяв. 20.05.2011, опубл. 12.12.2011.



## Особенности использования измерительных преобразователей для томографических исследований

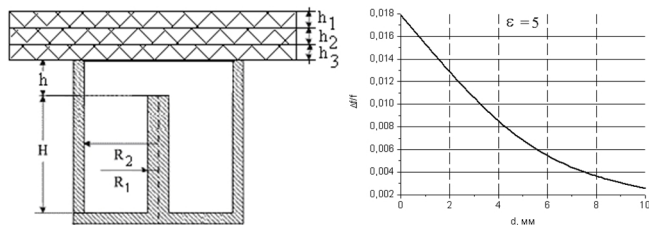
Полетаев Д.А., доц.

Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского,  
г. Симферополь

Основное достоинство диагностических - возможность послойного отображения информации о свойствах объекта. Сегодня широко применяются СВЧ датчики на основе измерительных преобразователей (ИП) [1], преимуществами которых: неразрушаемость измерений и внешнее расположение образца. Представляется целесообразным исследовать возможность анализа параметров образца на разной глубине с помощью ИП.

Целью работы численное исследование способности ИП проводить диагностику параметров различных слоев образца.

В качестве базовой модели взят ИП (рис.1,а), включающий: коаксиальный волновод, высотой  $H$ , участок запредельного волновода, длиной  $h$ , 3х диэлектрик с толщинами слоев  $h_1, h_2, h_3$ , с параметрами: 1:  $\epsilon_1, \text{tg}d_1$ ; 2:  $\epsilon_2, \text{tg}d_2$ ; 3:  $\epsilon_3, \text{tg}d_3$ ,соответственно.



а)б)

Рисунок 1 – а) Модель ИП; б) зависимость сдвига частоты от положения

Прямое численное моделирование методом конечных элементов позволило установить зависимость минимуму коэффициента  $S_{11}$  для данной структуры от положения диэлектрической неоднородности в слоистом образце (рис.1,б).

1. L. Chen, C. Ong, et al., *Microwave electronics measurement and materials characterization* (New York: John Wiley & Sons Ltd: 2004).

## Исследование вольт-амперных характеристик и квантовой проводимости органических молекул бензол-ди-тиола и ферроцена

Дорошенко Д.Ю., асп.; Рубан А.И., доц.  
Сумский государственный университет, г. Сумы

В настоящее время актуальными являются исследования вольт-амперных характеристик одной органической молекулы. Для решения таких задач существует ряд методов, основанных на нано-литографии и сканирующей зондовой микроскопии, которые позволяют исследовать электрические свойства отдельных молекул [1]. Однако остаются нерешенными вопросы исследования влияния химического состава и процесса закрепления на границе электрического контакта одиночных молекул.

В данной работе методом разрыва перехода проведено экспериментальное исследование вольт-амперных характеристик и квантовой проводимости органических молекул бензол-ди-тиола и ферроцена. В данном случае проводился разрыв металлических золотых контактов с повторным их соединением в присутствии исследуемой молекулы. Этот принцип основан на предположении, что молекула, которая связывается с металлической поверхностью, будет с некоторой конечной вероятностью образовывать проводящий мост между электродами. Крепление молекулы к металлическим контактам достигалось за счет тиоловых групп (S-H). Осаждение молекул при комнатных температурах (20 °С) проводилось из коллоидного раствора, а при низких температурах (-135 °С) из паровой фазы.

В результате экспериментальных исследований установлено, что механически управляемый разрыв перехода в вакууме стабилен во всем диапазоне температур. Эта стабильность связана с принципом работы данных переходов, в которых механический изгиб подложки преобразовывается в растяжение проволоки, находящейся на поверхности данной подложки.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке и построении новых видов полупроводниковых приборов.

1. В. Xu, N. Tao, et al., *Science* **301**, 1221 (2003).

**Боротьба з патогенною мікрофлорою та комахами-шкідниками за допомогою електромагнітного поля високих та надвисоких частот**

Слободенюк А.М., студ.; Сидорук Ю.К., доц.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», м. Київ

До новацій в сільському господарстві варто віднести застосування в агропромисловому комплексі електромагнітного поля високих (ВЧ) та надвисоких (НВЧ) частот. Дані технології дійсно мають значні переваги порівняно з традиційними ширококовживаними в даний час.

Першою проблемою, яку можна вирішити за допомогою ВЧ та НВЧ електромагнітного поля, це боротьба з патогенною мікрофлорою. Оптимальним з точки зору знезараження при опроміненні зерна електромагнітним полем є його стан після проходження процедури відволоження, при якій вологість зерна штучно підвищується до 16 – 17%. Зволоження сприяє різкій активації процесів життєдіяльності мікрофлори і підвищує чутливість її до впливу електромагнітного ВЧ та НВЧ поля. Так, порівнюючи різні методи інактивації афлатоксинів в висівках показало, що при екструдуванні та підсмажуванні має місце часткова їх інактивація [1]; при опроміненні електромагнітним полем НВЧ за режиму: швидкість нагрівання  $0,8^{\circ}\text{C}/\text{с}$  і експозиції 90 с афлотоксини зникали повністю. Другою проблемою, яку можна вирішити за допомогою ВЧ та НВЧ електромагнітного поля, це боротьба з комахами-шкідниками. Підвищити ефективність впливу ВЧ опромінення на смертність комах вдалося завдяки зниженню тиску в камері опромінення, що спричинило виникнення плазмових мікророзрядів в середовищі при тиску нижче 40 мм рт.ст., і ці розряди мають негативний вплив на комах [2]. Крім того, ці розряди спричиняють синтез молекул озону, які додатково пригнічують життєдіяльність живих організмів. При цьому ефекті для знищення комах достатньо експозиції 3–5с. Завдяки цьому режимі вдалося підвищити енергетичну ефективність системи в десятки разів.

1. R. Yusupov, G. Yusupova, Motorization and energetics in agriculture 6, 303-308 (2004).
2. Ponomaryova I., Oyarzabal L., Sanchez E. The Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy 43/4, 17–27 (2009).

## Проектирование электронно-оптической системы для источников направленного рентгеновского излучения

Барсук И.В., младш. научн. сотр.; Турчина Л.В., студ.;  
Опалько В.М., студ.; Воробьев Г.С., проф.  
Сумский государственный университет, г. Сумы

Современное развитие рентгеновской томографии требует создания новых узконаправленных источников рентгеновского излучения с целью локализации его воздействия на конкретную исследуемую область и минимизации площади облучения.

Целью работы является проектирование электронной пушки для источников точечного монохроматического рентгеновского излучения направленного действия (сфокусированных потоков рентгеновского излучения), которые могут быть использованы в медицинских рентгеновских микротомографах [1, 2].

Решение поставленной задачи было разбито на два этапа. На первом этапе расчета была выработана методика определения геометрических параметров фокусирующего электрода на упрощенной модели пушки Пирса, которая базировалась на алгоритмах численного моделирования электромагнитных полей и траекторного анализа с использованием метода конечных интегралов. Далее указанная методика была адаптирована для практической схемы микрорентгеновского источника электронно-оптической системы стенда. Исходя из существующих требований к конструкции канала дрейфа методом геометрической оптики, а также на основании результатов анализа распределения зарядов в поперечном сечении электронного пучка определены геометрические размеры пучка на входе магнитной линзы.

В результате проведенных исследований была спроектирована электронно-оптическая система, позволяющая формировать аксиальные потоки электронов с диаметром в кроссовере 0.2 – 0.25 мм, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к электронным пушкам соответствующего назначения.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 0112U001379.

1. E.N. Landis, D.T. Keane, *Materials characterization* **61**, 1305 (2010).
2. E.T. Williams, *Biological Trace Element Research* **12**, 19 (1987).

### **К вопросу влияния геометрических размеров периодических металлодиэлектрических структур на пространственные и волноводные характеристики**

Петровский М.В., *доц.*; Воробьев Г.С., *проф.*;  
Скотаренко Н.А., *студ.*

Сумский государственный университет, г. Сумы

В настоящее время в электронике и технике крайне высоких частот для создания эффективных источников электромагнитных колебаний и элементной базы радиосистем находят широкое применение периодические металлодиэлектрические структуры (МДС), представляющие собой слой диэлектрика, на который нанесена ленточная дифракционная решетка (ДР). В таких системах возможно возбуждение различных режимов излучения: черенковского, дифракционного и их комбинации дифракционно-черенковского. Указанные режимы реализуются путем изменения диэлектрической проницаемости диэлектрика, периода ДР и относительной скорости волны распределенного источника излучения, которым может выступать электронный поток или диэлектрический волновод.

В работе исследовались пространственные – диаграмма направленности излучения (ДН) и волноводные характеристики – коэффициент передачи и КСВ, при возбуждении систем на базе МДС диэлектрическим волноводом.

Для МДС с параметрами структуры, которые соответствуют черенковскому излучению установлено, что в случае увеличения толщины лент наблюдается уменьшение связи распределенного источника излучения с диэлектрическим пространством, однако за счет возбуждения резонаторов, образованных боковыми поверхностями лент, появляются интенсивные лепестки ДН в плоскости решетки.

В случае реализации дифракционно-черенковского излучения для двоякой МДС при перемещении одной из них на величину периода ДР вдоль продольной оси волновода, перпендикулярно образующим лент, наблюдается перераспределение интенсивности излучаемых гармоник. При этом преобладающей по мощности является нулевая или минус первая гармоники в зависимости от величины сдвига.

## Исследование характеристик конфокального резонатора

Дорошенко Д.Ю., асп.; Рубан А.И., доц.;

Бондарь С.А., студ.

Сумский государственный университет, г. Сумы

В электротехнике субмиллиметровых и миллиметровых (МСМ) волн в качестве резонансных систем широко применяются открытые резонаторы (ОР), которые являются важнейшими элементами целого ряда устройств [1]. В частности, на базе сфероидальных и полусферических ОР созданы эффективные измерительные устройства МСМ-волн: резонансные волномеры с вогнутыми и плоскими зеркалами, эталоны частоты, резонансные системы приборов для исследования свойств веществ. При столь быстром развитии устройств МСМ-волн различными областями науки и техники выдвигаются новые требования к выходным параметрам систем, а так же к их функциональным возможностям. Это требует использования новых, не ординарных, физических подходов, при модификации устройств МСМ-волн.

Одним из направлений для дальнейшего развития таких устройств является видоизменение их электродинамической системы для расширения полосы пропускания, а так же повышения эффективности преобразования энергии потока электронов в энергию излучения.

В данной работе методом «холодного моделирования» проведено экспериментальное исследование резонансных характеристик конфокального резонатора с внедренной в него конструкцией держателей для металло-диэлектрической структуры. Анализ спектров колебаний и спектров резонансных частот показывает, что внесение конструкции держателей в конфокальный резонатор приводит к уменьшению добротности электродинамической системы на 15% и не оказывает существенного влияния на ее резонансные характеристики.

Полученные результаты позволяют дать практические рекомендации к исследованию резонансных квазиоптических систем с металло-диэлектрическими структурами.

Работа выполнена в рамках г/б темы №01124001379

1. O.I. Belous, A.I. Fisun, et al, *J. Infrared Milli.* **18**, 445 (1997).

### Фокусирующие свойства триплета магнитных квадрупольных линз с индивидуальным источником питания

Воробьев Г.С., проф.; Пономарева А.А., младш. научн. сотруд.;  
Гейко М.А., студ.; Миляева О.Н., студ.  
Сумский государственный университет, г. Сумы

В связи с поиском новых аппаратурных комплексов, применяемых для целей микро- и наноэлектроники ранее нами был проведен ряд теоретических исследований [1, 2], которые направлены на улучшение ионно-оптических характеристик ядерного сканирующего микронзонда (ЯСМЗ).

В данной работе мы акцентируем внимание на исследованиях ЗФС на базе триплета, которая состоит из трех магнитных квадрупольных линз (МКЛ). Отметим, что две последние линзы расположены на минимальном расстоянии друг от друга и граница поля последней линзы расположена на расстоянии  $g$  от плоскости мишени. Для такой ЗФС необходимо минимум два источника питания линзы для обеспечения стигманической фокусировки. Мы предлагаем ввести дополнительный источник питания. Положение первой линзы варьировалось в пределах  $1,07 \text{ м} \leq a_1 \leq 3,71 \text{ м}$ . Для различных значений геометрических параметров  $a_1$  и  $g$  решалась задача по определению наибольшего приведенного коллимированного аксептанса ЗФС на базе триплета.

В результате анализа полученных расчетов был сделан вывод, что для наименьшего рабочего расстояния  $g = 0,06 \text{ м}$  и положения первой линзы  $a_1 = 1,29 \text{ м}$  аксептанс имеет наибольшее значение  $\Omega = 31,9 \text{ мкм}^2 \text{ мрад}^2$ , что на 50% больше чем для ЗФС без индивидуального источника питания.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 0112U001379.

1. G. Ponomarev, G.S. Vorobjov, A.A. Ponomarova, *Radioelectronics and Communications Systems* **53** No2, 113 (2010).
2. A.A. Ponomarova, K.I. Melnik, G.S. Vorobjov, et al., *Nucl. Instrum. Meth. B.* **269**, 2202 (2011).

## Стійкість до 30кеВ протонного випромінювання структур $\text{In}_2\text{O}_3\text{-InSe}$ та $\text{In}_2\text{O}_3\text{:Sn-Si}$

Сидор О.М., *наук. співроб.*

Чернівецьке відділення інституту проблем матеріалознавства НАНУ,  
м. Чернівці

Структури на основі кремнію часто стають об'єктами досліджень у питанні впливу високоенергетичного випромінювання. Проте існує група шаруватих кристалів  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{VI}}$ , які незважаючи на сильну дефектність володіють високою фоточутливістю і радіаційною стійкістю.

Термічним окисленням сформовано гетероструктури (ГС)  $n\text{-In}_2\text{O}_3\text{-}p\text{-InSe}$  з високими параметрами: напругою холостого ходу  $U_{\text{xx}} = 0,55$  В, струмом короткого замикання  $J_{\text{кз}} = 3,9$  мА/см<sup>2</sup>, коефіцієнтом неідеальності ВАХ  $n = 1,3$ , коефіцієнтом випрямлення  $K \sim 10^3$ , монохроматичними струмовою  $S_1 = 0,2$  А/Вт і вольтовою  $S_U = 4,5 \cdot 10^3$  В/Вт чутливостями. Опромінення проводилося протонами з флюенсом  $10^{12}\text{-}10^{13}$  см<sup>-2</sup>.

Для опромінених ГС зростання рекомбінаційної компоненти в струмові збільшувало  $n$  на 0,3. Навіть для максимальної дози ГС продемонстрували високу стійкість: параметри  $U_{\text{xx}}$ ,  $J_{\text{кз}}$  та  $K$  покращились/не змінилися на 3%, 0% і 230%, відповідно.

Порівняння спектрів фотовідгуку ГС не показало їх зміну з опроміненням – розширення області спектральної чутливості (0,49–1,01 мкм) чи зміна положення її максимуму ( $\lambda_{\text{макс}}=0,66$  мкм) не спостерігалися. Для досліджуваних ГС зростають тільки абсолютне значення фотоструму та пов'язана з ним величина  $S_1$  (на 8%). Параметр  $S_U$  майже не змінився ( $\Delta \sim 2\%$ ).

Опромінений за аналогічних умов фотоперетворювач ІТО–Si продемонстрував значну деградацію. Величини  $U_{\text{xx}}$ ,  $J_{\text{кз}}$ ,  $S_1$  та  $S_U$  цієї структури зменшились на 35, 38, 15 і 94 %, відповідно.

Зроблена інтерпретація процесів, що відбуваються при протонному опроміненні об'єктів, досліджених у даній роботі.



## Електродинамічні характеристики розподілено-зв'язаних діелектричних хвилеводів з екраном змінної провідності

Радько А.С., студ.; Нагнибіда В.В., студ.  
Сумський державний університет, м. Суми

Широке розповсюдження та використання, як окремих приладів так і елементної бази електроніки НВЧ, отримали хвилеводні системи із розподіленим зв'язком. Найбільш відомими серед них є спрямовані відгалужувачі, хвилеводно-пучкові перетворювачі, елементи сумарно-різницевого перетворювачів сигналів, пристрої на базі планарних ліній Люненберга. Тому питання оптимізації вже відомих та пошук нових способів керування міжхвилеводним розподіленим зв'язком в таких системах є актуальними.

В роботі, методом комп'ютерного моделювання була досліджена електродинамічна система, що складається із двох діелектричних хвилеводів ( $\epsilon = 2$ , перетин  $7,2 \times 3,4$  мм<sup>2</sup>, довжина 200 мм), що екрануються шаром діелектрика ( $\epsilon = 11$ ) із змінною провідністю ( $\sigma \approx 10^{-2} \div 10^6$  См/м.). Згідно результатам моделювання зміна провідності діелектричного шару приводить до перерозподілу вхідної енергії між хвилеводами, що дає підставу стверджувати про можливість реалізації такого способу керування хвилеводними процесами. Базуючись на аналізі поведінки коефіцієнтів розповсюдження хвиль встановлено, що при сталих значеннях відстаней між хвилеводами та діелектричним шаром, зміна значення провідності екрану від  $\sigma \approx 10^{-1}$  См/м до  $\sigma \approx 10^2$  См/м приводить до значного відгалуження електромагнітної потужності з основного хвилеводу до вторинного та навпаки. Подальше збільшення значень провідності екрану не є ефективним для перерозподілу енергії. Крім того при незначній провідності на рівні  $\sigma \approx 10^{-2} \div 10^{-1}$  См/м спостерігається погіршення частотних характеристик коефіцієнту сталої хвилі по напрузі через погіршення екрануючих властивостей діелектричного шару і вимагає узгодження додаткового хвилеводу-шару з основною електродинамічною системою.

Робота виконувалася при підтримці д/б теми № 0112U001379.

Керівник: Кривець О.С., доц.

## Методика численного моделирования систем формирования и транспортировки потоков заряженных частиц

Гарбар А.А., студ.; Барсук И.В., младш. научн. сотруд.;  
Дрозденко А.А., доц.  
Сумский государственный университет, г. Сумы

Данная работа посвящена описанию методики численного моделирования потоков заряженных частиц в трехмерных системах их формирования и транспортировки, сравнению с существующими методами и анализу результатов моделирования.

Современный круг задач исследования электромагнитных систем непрерывно расширяется более сложными и требующими большей точности, а все большее число аналитических методов и приближенно-численных уступает в пользу прямых численных в силу универсальности последних. В данной работе предлагается методика, основывающаяся на методе конечных интегралов (МКИ) или FIT – the Finite Integration Technique, который основан на использовании системы уравнений Максвелла в интегральном виде [1]. Данная методика применима для задач моделирования как электрических, так и магнитных полей произвольной пространственной сложности.

Более простые методы решения подобных задач сводятся либо аналитическому описанию (при возможности), либо сведению к плоским задачам (вариации симметрий, рассмотрению ключевых плоскостей) жертвуя при этом точностью в случае сложных пространственных задач. Недостатком применения МКИ является более сложное построение моделируемых объектов в трехмерном пространстве в сравнении с другими методами.

Данная методика численного моделирования была применена для исследования электро- и магнитостатических полей таких приборов как ГДИ, ЛОВ, ЛБВ. Полученные результаты моделирования полей показывают хорошее совпадение с простыми моделями, полученными другими методами, что позволяет рекомендовать МКИ, как наиболее универсальный метод моделирования задач электромагнетизма.

1. M. Clemens, T. Weiland, *Progress In Electromagnetics Research* **32**, 65 (2001).

**СЕКЦІЯ 4**

**«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО  
МІКРО – і  
НАНОЕЛЕКТРОНІКИ»**

## Магнітодеформаційний ефект у плівкових системах на основі Со та Сu

Бутурлім В.Б., студ.; Макуха З.М., асп.;  
Сумський державний університет, м. Суми

Тензорезистивні датчики на основі плівкових матеріалів практично вичерпали свій ресурс у відношенні підвищення чутливості, однак питання стосовно впливу різного роду полів, зокрема магнітних, на величину коефіцієнта тензочутливості залишається маловивченим. У даній роботі було досліджено вплив магнітного поля на коефіцієнт тензочутливості дво- та тришарових плівкових систем на основі Со та Сu. Плівки отримувалися методом термічного випаровування у високовакуумній установці ВУП-5М. Як підкладки використовувались пластини полістиролу з нанесеним на нього шаром NaCl, на який безпосередньо конденсувалась плівкова система. Шар NaCl наносився з метою подальших структурних досліджень та порівняння їх до та після деформації зразків.

В процесі досліджень тензочутливості були отримані деформаційні залежності відносної зміни опору зразків від величини прикладеної деформації без та при дії магнітного поля величиною  $B = 30$  мТл. Далі були розраховані значення коефіцієнту тензочутливості. Наприклад, для плівкової системи Со(30)/Сu(7)/Со(5)/NaCl/П значення КТ при деформації без та в магнітному полі становить  $\gamma_l(0) = 1,8$  та  $\gamma_l(B) = 1,25$  відповідно, а для Со(30)/Сu(10)/NaCl/П –  $\gamma_l(0) = 1,37$  та  $\gamma_l(B) = 1,27$ . Слід зазначити, що деформація  $\Delta\varepsilon_l = 0-0,4$  % відповідає пружній деформації для даних матеріалів. Також був розрахований магнітний коефіцієнт тензочутливості:

$$\beta_{\gamma_{lB}} = \frac{1}{\gamma_l(0)} \frac{|\gamma_l(0) - \gamma_l(B)|}{\Delta B} = (2,43 \div 10,2) \text{ Тл}^{-1}.$$

Крім того, було проведено мікроскопічні дослідження зразків. Так на електронограмах дво- та тришарових плівкових системи окрім ГЦП-Со фіксуються кільця твердого розчину на основі ГЦК-Сu. Структурно-фазовий стан після деформації суттєво не змінюється, окрім того, що спостерігається незначне збільшення міжплощинних відстаней.

Керівник: Проценко І.Ю., проф.

## Дослідження магнітних властивостей тришарових плівкових систем на основі Co та Dy

Шутилева О.В.<sup>1</sup>, *асп.*; Ширзадфар Х.<sup>2</sup>, *асп.*;  
Воробйов С.І.<sup>1</sup>, *мол. наук. співроб.*

<sup>1</sup> Сумський державний університет, м. Суми

<sup>2</sup> Institut Jean Lamour, UMR CNRS 7198, Université de Lorraine, 54506  
Vandœuvre-lès-Nancy, France

Такі магнітні характеристики, як залишкова намагніченість ( $M_r$ ), коерцитивна сила ( $H_c$ ) та намагніченість насичення ( $M_s$ ), які можна знайти з петель гістерезису, визначають параметри та експлуатаційні характеристики елементів сенсорів, магнітних елементів пам'яті, тощо.

У зв'язку з цим у роботі було досліджено вплив ефективної товщини прошарку із рідкоземельного металу та умов термообробки на магнітні характеристики тришарової плівкової системи Co(5) / Dy( $x$ ) / Co(20) / П (П – підкладка,  $x$  – товщина, змінюється від 1 до 20 нм).

Зразки було отримано електронно-променевим методом на підігріту ситалову підкладку ( $T_n \cong 460$  К) у робочому об'ємі вакуумної камери (тиск газів залишкової атмосфери  $p \cong 10^{-4}$  Па). Термообробка здійснювалась за схемою «нагрівання  $\leftrightarrow$  охолодження» до  $T_g = 800$  К. Дослідження магнітних властивостей здійснювались при кімнатній температурі у паралельній геометрії вимірювання за допомогою вібраційного магнітометра.

Для плівок у свіжосконденсованому стані значення величини коерцитивної сили приймає мінімальне значення  $H_c = 12$  Ое для Co(5) / Dy(1) / Co(20) / П, а максимальне  $H_c = 38$  Ое для Co(5) / Gd(20) / Co(20) / П. Після термообробки значення  $H_c$  зменшується в середньому на 42 %. Для величин намагніченості насичення і залишкової намагніченості спостерігається зворотній характер, тобто зі збільшенням товщини прошарку з Dy величини  $M_r$  і  $M_s$  зменшуються.

Такі результати можна пояснити переходом Dy з квазіаморфного стану ( $d < 10$  нм) до кристалічного ( $d > 10$  нм) та частковою зміною магнітних характеристик при поліморфному переході ГЦП  $\rightarrow$  ГЦК для шарів Co в процесі термообробки.

Робота виконана в Інституті Жана Ламура Університету Лотарингії, (м. Нансі, Франція) у рамках індивідуального гранту МОН України для проходження стажування (2013-2014 рр.) та НДР № 0112U004688.

Керівник: Чорноус А.М., *проф.*

**Magnetic properties of thin film Ni-Fe-Co alloy**

Lytvynenko Ia.M., *PhD stud.*  
Sumy State University, Sumy

In recent years, considerable attention has been devoted to the investigation of the physical properties of ultrathin magnetic films of 3d transition metals and thin film structures based on its because of their application in nanoelectronics [1, 2]. Frequent use of ferromagnetic alloys as elements of structures that exhibit AMR, GMR or TMR making them of the relevant object of research.

The goal of our work was to detect the magnetic characteristics (coercivity  $B_C$ , saturation field  $B_S$  and remanent magnetization  $M_r$ ) dependence on the annealing temperature of the thin film Ni-Fe-Co alloy with concentration of components  $c_{Ni} = 40$ ,  $c_{Fe} = 10$  and  $c_{Co} = 50$  at.%. The films of 37 nm thickness were deposited on the amorphous substrates in an oil vapor-free vacuum of  $\sim 10^{-4}$  Pa by thermoresistive co-evaporation technique using permalloy with concentration of components  $c_{Ni} = 79-80$ ,  $c_{Fe} = 13-16$ ,  $c_{Mo} = 2-5$  wt.% and Co independent sources and were annealed to 500, 700 and 900 K for 20 min. The magnetic properties were measured by vibrating sample magnetometer VSM Lake Shore with magnetic field orientation "out of plane" and "in plane" of sample. For as-deposited films was observed a slight anisotropy in the plane of sample and which disappeared after annealing to 900 K.

Hysteresis loops measured under applied field "in plane" are nearly rectangular shape with a sharp magnetic reversal that is typical for easy axis of magnetization. With the sample rotation by an angle from  $0^\circ$  (magnetic field is in plane) to  $85^\circ$  the coercivity increases by 67 % for as-deposited thin films and by 81-82 % for annealed samples and stay independent of the annealing temperature. Established that  $B_C$ ,  $B_S$  and  $M_r$  increase with increasing of annealing temperature. Relative change of  $B_C$  and  $B_S$  in the range of heat treatment temperatures 300-900 K composes 154 % and 88 %, respectively.

Supervisor: Bibyk V.V., *senior lecturer*

1. P. Ciureanu, *Thin-Film Resistive Sensors* (IOP: London: 1992).
2. C. S. Roumenin, *Solid State Magnetic Sensors* (Elsevier: Amsterdam: 1994).

## Магніторезистивні властивості плівкових систем на основі Fe та Pt

Гричановська О.А., асп.; Подуремне Д.В., студ.  
Сумський державний університет, м. Суми

Виявлені в магнітних наноструктурах специфічні властивості і ефекти, що суттєво залежать від геометрії вимірювання і складу матеріалу [1], дають можливість проектувати потенційно нові прилади [2].

Багат шарові плівкові зразки на основі Fe і Pt отримувались шляхом термічного і електронно-променевого випаровування на скляні і ситалові підкладки у вакуум  $10^{-4}$  Па з наступним відпалюванням до 800 К. Швидкість конденсації становила  $\omega = 1-1,6$  нм/с. Швидкість відпалювання 3-5 К/хв. З метою стабілізації свіжосконденсовані плівки витримувалися у вакуумі протягом 0,5-1,0 години при температурі підкладки.

Величина магнітоопору визначалась як  $\Delta R/R_S$ , ( $R_S$  – опір зразка в полі насичення) у паралельній, перпендикулярній і поперечній геометріях. Магнітоопір тришарових плівкових систем Fe(30)/Pt( $d$ )/Fe(30)/П ( $d = 3-5$  нм) відпалених при 800 К, вимірювався при температурі  $T = 300$  К у полі 400-450 мТл. Магніторезистивні петлі гістерезису, показали наявність незначного ефекту ГМО величиною 0,025-0,035 %. Така мала величина ефекту пов'язана із недосконалими гранульованою структурою і антиферомагнітним упорядкуванням у шарах Fe.

При зміні загальної товщини плівкової системи від 35 до 80 нм в інтервалі температур 300-800 К (мультишари [Fe(5нм)/Pt(5нм)] $_n$ ,  $n = 8$ ) помічено незначне зростання величини ГМО 0,035-0,045 %, що можна пов'язати зі зростанням ефективності розсіювання електронів на межах поділу шарів. При товщині немагнітного прошарку Pt  $d \cong 1$  нм тришарова структура виявляє анізотропний магнітоопір, який характерний для плівок заліза.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0112U001381.

Керівник: Проценко І.Ю., проф.

1. S.N. Piramanayagam, C. Chong, et al., *Developments in data storage* (New Jersey: John Wiley & Sons: 2011).
2. R.H. Victora, Y. Wang, et al., *Digests the magnetic recording conference* (Tokyo: Tokyo Institute of Technology: 2013).

**Концентраційні залежності магнітооптичних характеристик  
багатшарових плівкових систем на основі Fe і Au**Костенко М.В., *асп.*

Сумський державний університет, м. Суми

Проблема застосування приладових плівкових структур у вигляді багатшарових систем спін-вентельного типу та мультишарів полягає у нестабільності їх робочих характеристик, що напряму пов'язані із стабільністю їх структури та фазового складу. Аналіз літературних даних [1-2] вказує на можливість утворення в системах на основі Fe і Au твердих розчинів (т.р.) на основі ГЦК-Au при відпалюванні зразків до 700 К. Процес фазоутворення впливає на магнітні характеристики цих систем. У наших дослідженнях шаруваті плівкові зразки отримувались шляхом термічного і електронно-променевого випаровування на ситалові підкладки у вакуум  $10^{-4}$  Па з наступним відпалюванням до 700 К. Магнітооптичні властивості зразків досліджувалися за допомогою установки по вимірюванню магнітооптичного ефекту Кера. Результати дослідження магнітооптичних властивостей зручно представляти у вигляді залежності таких важливих магнітних характеристик систем як коерцитивна сила  $B_s$ , поле насичення  $B_c$  та зміни кута Кера  $Q_r$ . Для усіх трьох величин характерним виявилось значення концентрації  $c_{Fe} \approx 60$  ат. %, при якій спостерігається явно виражений мінімум на залежності для величини  $Q_r$  та помітні максимуми для величин  $B_s$  та  $B_c$ . Для відпалених зразків значення  $Q_r$  мають вищі значення, а  $B_c$  – зменшуються, у той час коли значення  $B_s$  для зразків майже не змінюється. Таким чином, можна стверджувати, що результати дослідження магнітооптичних властивостей підтверджують висновок про утворення т.р. (Au, Fe). Формування приладових структур із спін-залежним розсіюванням електронів для більшої стабільності можна використовувати системи на основі Fe і Au, але за умови їх функціонування в межах 300-400 К.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0112U001381.

Керівник: Чешко І.В., *ст. викл.*

1. P. Prodhomme, et al., *J. Magn. Magn. Mater.* **315**, 26 (2007).
2. G.H. Yang, K.W. Geng, F. Zeng et al., *Thin Solid Films* **484**, 283 (2005).



## Вплив магнітного поля на коефіцієнт тензочутливості одно- і тришарових металевих плівок

Гришук О.С., асп.; Агібалов Д.К., студ.  
Сумський державний університет, м. Суми

Значним стимулом до вивчення впливу магнітного поля на механічні і електричні характеристики полікристалічних феромагнітних матеріалів є перспектива практичного застосування керованої магнітним полем зміни форми зразка чи його електроопору.

У даній роботі експериментально досліджувалися тензорезистивні властивості плівок Ni і Ag та тришарових структур на їх основі при повздовжній деформації  $\Delta\epsilon_l$  до 1 %.

Одношарові плівки срібла характеризуються порівняно невеликим значенням коефіцієнта тензочутливості (КТ), що знаходяться в діапазоні від 2,5 до 1,5 одиниць для товщин 5-50 нм відповідно. В однорідному магнітному полі (МП) величиною 200 мТл істотних змін КТ не спостерігалось. В одношарових плівках нікелю ріст КТ в МП склав до 20 %, причому в області малих товщин (10-20 нм) збільшення КТ становить від 23 до 27 %. Якщо розглянути зразки товщиною від 40 до 55 нм, то збільшення КТ в магнітному полі становить 18-22 %.

При дослідженні тришарової плівкової системи Ni(10 нм)/Ag( $d_{Ag}$ )/Ni(30 нм)/П встановлено, що КТ при відносно малих товщинах шару срібла ( $d_{Ag} < 10$  нм) має величину близько 9 одиниць. При збільшенні товщини до  $d_{Ag} = 40-42$  нм КТ зменшується до 6 одиниць і в інтервалі 40-50 нм різко падає до 1,5. Це можна пояснити тим, що збільшується загальна товщина плівкової системи і відповідно зменшується вплив інтерфейсного розсіювання електронів на величину КТ. При внесенні даної плівкової системи у зовнішнє перпендикулярне до поверхні зразка магнітне поле індукцією 200 мТл спостерігається ріст КТ незалежно від товщини шару срібла: при товщинах срібла до 10 нм КТ зростає на 22-24 % і становить 11-11,2 одиниць. При збільшенні товщини срібла до 40-50 нм КТ вже збільшується лише на 17-18 % і становить 7-7,1 одиниць.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0112U001381.

Керівник: Гричановська Т.М., доц.

**Фазовий склад та магніторезистивні властивості плівкових системи Ni / Au / Ni**

Холод Т.С., асп.; Михайлов А.О., студ.  
Сумський державний університет, м. Суми

Магнітні багат шарові структури, які останніми роками інтенсивно досліджуються, важливі як з точки зору теоретичних досліджень, так і для практичного застосування. Прикладний інтерес викликаний їх здатністю поєднувати у собі властивості магнітом'яких і магнітотвердих матеріалів, які суттєво залежать від структури і фазового складу зразків [1].

У даній роботі, в якості досліджуваних магнітних структур, було використано тришарові плівкові системи Ni(*d*) / Au(15 нм) / Ni(25 нм) отримані шляхом пошарової конденсації, де *d* – товщина верхнього шару Ni, яка змінювалась від 5 до 15 нм.

Відомо, що в масивному стані Ni і Au мають кристалічну ГЦК структуру з параметрами 0,3524 нм та 0,4079 нм відповідно. Розрахунок електронограм показав, що у невідпаленому стані плівкові системи Ni(*d*) / Au(15 нм) / Ni(25 нм) зберігають індивідуальність окремих шарів і вони мають середні значення параметрів решіток  $a(\text{Au}) = 0,408 \pm 0,0020$  нм та  $a(\text{Ni}) = 0,352 \pm 0,002$  нм.

Вимірювання магнітоопору здійснювалось у паралельній, перпендикулярній і поперечній геометрії, при кімнатній температурі у змінному зовнішньому магнітному полі індукцією від 0 до 600 мТл. Всі невідпалені плівкові системи мали анізотропний магнітоопір і магніторезистивні петлі гістерезису подібні до відповідних петель для одношарових плівок Ni та його сплавів. Найбільше значення магнітоопору мала плівкова система Ni(25) / Au(15) / Ni(25) / П, величина якого в поздовжній геометрії не перевищувала 0,07 %. Отримані низькі значення магнітоопору можна пояснити доволі товстим прошарком немагнітного матеріалу (Au), який перешкоджав встановленню обмінного зв'язку між феромагнітними шарами нікелю.

Керівник: Гричановська Т.М., доц.

1. R.V.S. Prasad, Boo Hyun An, Youngmin Shin, *J. Mater. Lett.* **116**, 86 (2014).

## Магніторезистивні властивості систем на основі плівок Fe і Ni

Шешеня Л.А., асп.; Агеєнко І.П., студ.  
Сумський державний університет, м. Суми

В сучасних тонкоплівкових технологіях, значна увага приділяється феромагнітним 3d-металам (Fe і Ni), як природнім джерелам поляризованих по спіну електронів. Багатошарові системи на основі плівок Fe і Ni використовують для розробки і конструювання пристроїв дія, яких заснована на ефекті гігантського магнітоопору.

В якості досліджуваних зразків, в даній роботі, було використано тришарові плівкові системи Fe(10нм)/V(dv)/Fe(50нм) та Ni(50нм)/V(dv)/Ni(10нм), отримані шляхом пошарової конденсації, де dv – товщина шару ванадію.

Магніторезистивні характеристики Fe(10)/V(5)/Fe(50), Ni(50нм)/V(5)/Ni(10нм) визначалися при кімнатній температурі у змінному зовнішньому магнітному полі індукцією від 0 до 600 мТл. Товщина шару ванадію змінювалась в межах від 3 до 10 нм.

Експериментальні дослідження магніторезистивних властивостей плівкових систем показали, що невідпалені зразки з товщиною шару ванадію  $d_v \approx 3$  нм мають анізотропний магнітоопір, а магніторезистивні петлі гістерезису для таких систем подібні до відповідних петель для одношарових плівок феромагнітних металів (Ni, Fe). Величина поздовжнього і поперечного магнітоопору (МО) при цьому не перевищує 0,01-0,05 %. Відпалювання даних зразків при температурі  $T_g \cong 600-650$  К супроводжується незначним збільшенням величини МО.

Абсолютні значення МО невідпалених зразків з товщиною немагнітного прошарку  $d_v \approx 10$  нм на порядок більші за попередні і значною мірою залежать від фазового складу та концентрації компонентів плівкової системи. В зразках де вдалося уникнути утворення твердого розчину, МО зростає при підвищенні температури відпалювання і для плівок відпалених при 650 К, складає 0,2-0,6 % для поздовжнього і 0,1-0,5 % для перпендикулярного МО.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0112U001381.

Керівник: Гричановська Т.М., доц.

## Формування плівкових твердих розчинів на основі Au і Fe

Субота В.А., студ.; Шабельник Ю.М., мол. наук. співроб.  
Сумський державний університет, м. Суми

Незважаючи на значну кількість літературних даних (див., наприклад, [1]) стосовно утворення та властивостей плівкових твердих розчинів (т.р.), це питання залишається актуальним. Тому метою досліджень було вивчення впливу температури та концентрації феромагнітної компоненти на структурно-фазовий стан.

У роботі методом резистивного випарування матеріалів з наступною термообробкою були отримані тришарові плівкові зразки Fe / Au / Fe / П із загальною концентрацією  $c_{\text{Fe}} = 25\text{-}85$  ат. %. Структурні дослідження і фазовий аналіз проводилися з допомогою просвічуючого електронного мікроскопу ПЕМ-125К.

Показано, що до утворення т.р. (Au, Fe) приводить відпалювання до 700 К, про що свідчить аналіз електроннограми від даних зразків. Наявність групи ліній, які відповідають параметру кристалічної решітки  $a = 0,407$  нм, що дещо менше від табличного значення параметра кристалічної решітки ГЦК-Au ( $a_0 = 0,408$  нм [2]) вказує на появу т.р. заміщення атомів Fe у решітці Au. На електроннограмах від зразків із загальною концентрацією  $c_{\text{Fe}} = 40\text{-}70$  ат. % і термовідпалених до 800-900 К спостерігається система ліній від ГЦК-т.р. (Au, Fe) та декілька слабких ліній від ОЦК-Fe.

У відповідності із даними роботи [3] цей результат можна пояснити стабілізацією гранульованого стану в матриці т.р. (Au, Fe).

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0112U001381 Міністерства освіти і науки України.

1. I. Bakonyi, L. Peter, *Prog. Mater. Sci.* **55**, 107 (2010).
2. С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев, *Рентгенографический и электронно-оптический анализ* (Москва: МИСИС: 1994).
3. F. Zavaliche, W. Wulfhekel, M. Przybylski, et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36**, 779 (2003).

## Магнітооптичні властивості спін-вентильних структур на основі Fe, Co та Ag

Дробниця П.А., студ.; Демиденко М.Г., асист.;  
Федченко О.В., асист.; Пилипенко О.В., асист.  
Сумський державний університет, м. Суми

Поширеними матеріалами для створення магнітних шарів спін-вентильних структур являються Fe, Cr, Co, а немагнітних – Ag, Au та Cu. Спін-вентилі на основі Fe, Co та Au проявляють суттєву залежність величини магнітних характеристик від температури відпалювання, товщини та порядку конденсації магнітних шарів [1]. Аналогічні залежності магнітооптичних і магніторезистивних властивостей були виявлені при дослідженні спін-вентильних структур на основі Fe, Co та Ag.

Магнітооптичні дослідження проводились для чотирьох типів спін-вентилів, що мають різний порядок конденсації феромагнітних шарів (Fe та Co) з товщиною 3 та 20 нм. Товщина всіх шарів вибиралась аналогічною до тієї, яку мали шари спін-вентилів на основі Fe, Co та Au [1], для забезпечення можливості порівняльного аналізу магнітних характеристик структур з різним матеріалом немагнітного прошарку.

Залежності кута Керра від індукції магнітного поля показали відсутність поля зміщення в усіх невідпалених зразках, що непрямодові свідчить про суцільність немагнітного прошарку. Для всіх чотирьох типів спін-вентилів, при відпалюванні до 450 К не спостерігалось суттєвих змін значення  $B_C$ . При відпалюванні до 600 К, у структурах з відносно товстим шаром Fe,  $B_C$  збільшилося у 3 рази і сягнуло, наприклад, 27 мТл для спін-вентилів Au(3)/Co(3)/Ag(6)/Fe(20)/П. Для структур з відносно товстим шаром Co (I та IV типів) суттєві зміни  $B_C$  спостерігалися лише в інтервалі температур 600-750 К, що пов'язано з переходом Co до високотемпературної ГЦК-фази. Так, наприклад, для структури Au(3)/Co(3)/Ag(6)/Fe(20)/П  $B_C$  до та після відпалювання становило відповідно 6 та 75 мТл. Такі суттєві зміни пов'язані з утворенням т.р.(Ag,Co) на основі ГЦК-ґратки Ag або з суттєвим збільшенням розміру кристалітів Ag.

1. М.Н. Demydenko, А.Р. Kuzmenko, et al., *J. Nano- Electron. Phys.* **5** No4, 04017 (2013).

**Магніторезистивні властивості плівкових сплавів Fe-Pd**Левченко О.М., студ. Карпенко К.Г., асп.;

Одноворець Л.В., доц.

Сумський державний університет, м. Суми

Дослідження властивостей плівкових систем на основі феромагнітних (Fe, Co) і благородних (Pd, Pt) металів проводяться з точки зору їх практичного використання як носіїв інформації з високою щільністю магнітного запису, елементів магніто-оптичних систем та приладів спінової електроніки, причому особлива увага приділяється стабільності робочих характеристик під дією зовнішніх фізичних полів.

Конденсація Fe і Pd здійснювалось у вакуумній установці ВУП-5М (вакуум  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  Па) на ситалову підкладку (П) шляхом одночасної конденсації металів з наступним відпалюванням за схемою «нагрів  $\leftrightarrow$  охолодження» до  $T_c = 570$  і  $670$  К. Загальна товщина зразків складала 80-100 нм і контролювалась методом кварцового резонатора. Концентрація окремих компонент була обчислена розрахунковим методом. Для вивчення кристалічної будови і фазового складу зразків використовувався електронний мікроскоп ПЕМ-125К. Магніторезистивні властивості зразків досліджувались в автоматичному режимі при  $T \cong 300$  К з використанням чотириточкової схеми у постійному магнітному полі в трьох геометріях вимірювання: перпендикулярній ( $\perp$ ), поздовжній ( $\parallel$ ) і поперечній ( $\oplus$ ) геометріях. Величина магнітоопору (МО) розраховувалась на основі співвідношення:

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

де  $R(B)$  і  $R(0)$  – опір зразка в магнітному полі та без нього, відповідно.

Магнітне поле створювалось електромагнітами, максимальна величина магнітної індукції ( $B$ ) складала 450 мТл. Зразки мали кристалічну структуру і фазовий склад близький до  $FePd_x$ , де  $x \cong 3$ , що відповідає діаграмі стану (рис. 1, вказано стрілкою).

Приклади польових залежностей МО представлені на рис. 2. Отримано, що магніторезистивні петлі гістерезису відпалених до 570 і

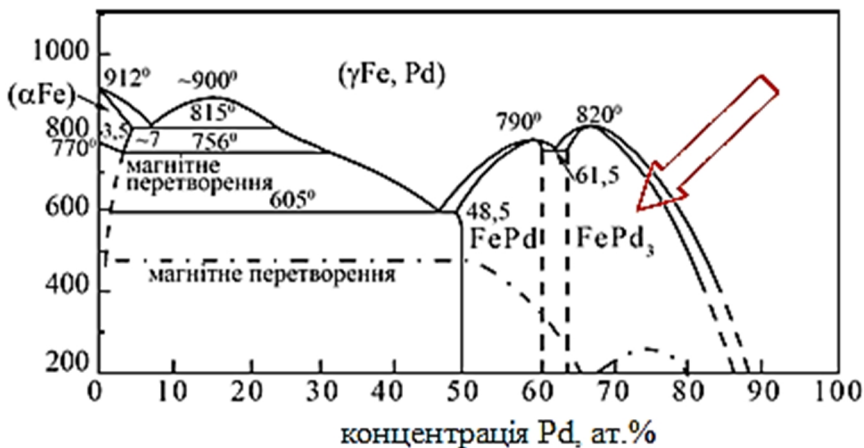


Рисунок 1 – Фрагмент діаграми стану системи Fe-Pd

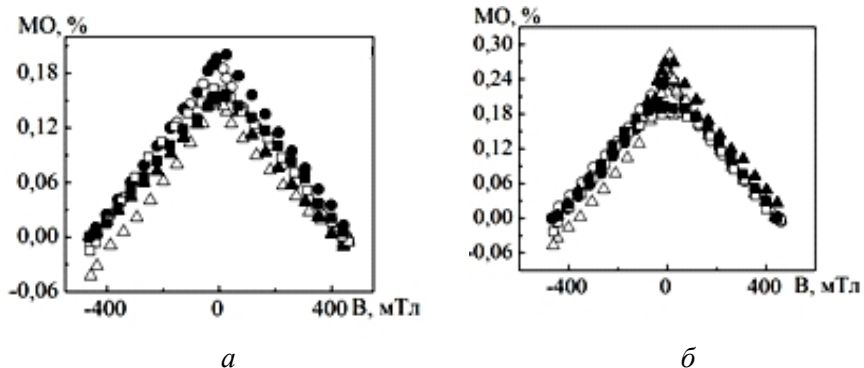


Рисунок 2 – Польові залежності МО для пліткових систем  $Fe_{17}Pd_{83}$ , відпалених до 570 (а) і 670 (б) К для різних геометрій вимірювання:

○, ● – ⊥; Δ, ▲ – || та □, ■ – ⊥

670 К пліткових систем в усіх трьох геометріях вимірювання вказують на наявність ефекту ГМО із амплітудою від 0,05 до 0,30 %. Встановлено, що при зміні загальної концентрації атомів Fe від 10 до 36 ат. % величина МО має максимальне значення 0,20-0,22 % (перпендикулярна); 0,15-0,30 % (поздовжня) та 0,13-0,18 % (поперечна) геометрії вимірювання.

## Застосування плівкових систем на основі Co, Cr або Cu як чутливих елементів сенсорів

Яців О.О., студ.

Сумський державний університет, м. Суми

Сучасний розвиток сенсорного приладобудування потребує створення плівкових датчиків зі стабільними та наперед заданими характеристиками. Найбільш перспективними з цієї точки зору є плівкові матеріали на основі Co, Cu або Cr із можливим спін-залежним розсіюванням електронів. Чутливі елементи на їх основі широко застосовуються для виготовлення чутливих елементів сенсорів з різноманітними характеристиками за рахунок можливості утворення різних комбінацій плівкових систем. Таких як: гранульовані структури, в яких частинки феромагнітного матеріалу впроваджені в матрицю немагнітного, або спін-клапани, які складаються з двох магнітних шарів, що розділені немагнітним прошарком, один з яких закріплено певним чином, а інший знаходиться у вільному положенні [1, 2].

Результати отриманих нами електронно-мікроскопічних досліджень структурно-фазового стану показали, що плівкові системи на основі Co і Cr є двофазними, а в системі на основі Co і Cu має місце утворення наноструктурованого твердого розчину з виділенням гранул Co. Термовідпалювання до температури  $T_s = 800$  К не призводить до суттєвих змін фазово-структурного стану, що дозволяє виключити вплив температури на робочі характеристики датчика.

При формуванні структури чутливого елемента важливу роль відіграє можливість датчика реагувати на зміни в магнітному полі, незалежно від геометрії вимірювання та значення чутливості плівкової системи до зовнішнього магнітного поля ( $S_B$ ). З метою виявлення системи з найкращими характеристиками нами були проведені розрахунки величини ( $S_B$ ), яка визначалась за співвідношенням  $(\Delta R/R(B_s))_{\max}/\Delta B$ , для двох типів структур. За результатами розрахунків можна зробити наступні висновки. Так для свіжесконденсованих систем на основі Co і Cr найбільше значення величини  $S_B$  (19,8 %/Т) спостерігалось для зразка Co(5)/Cr(20)/Co(20)/П в перпендикулярній геометрії вимірювання, а для систем на основі Co і Cu для зразка Co(14)/Cu(9)/Co(14)/П –  $S_B = 21,5$  %/Т/, в поперечній



геометрії вимірювання. Подальше термо-відпалювання зразків типу CoCr/Co/П до  $T_g = 800$  К призводить до збільшення величини  $S_B$  приблизно вдвічі (20%/Тл), в порівнянні зі свіжесконденсованими зразками ( $S_B = 12\%/Тл$ ), та поступового зменшення майже втричі (3,5 %/Тл) при  $T_g = 1000$  К.

За результатами досліджень магніторезистивних властивостей для двох типів систем можна зробити наступні висновки. Значення магнітоопору для структур типу Co/Cu залежить від загальної концентрації атомів Co в системі та змінюється від 0,2 до 0,4 % з ростом  $c_{Co}$  від 60 до 87 ат. %. Окрім того, магніторезистивні властивості гранульованих плівок на основі Co і Cu майже не залежать від термобробки зразків. В системах типу Co/Cr/Co/П нами фіксувалися невеликі значення магнітоопору (0,1-0,3 %), причому максимальне значення (0,4 %) було зафіксоване в перпендикулярній геометрії вимірювання, після термовідпалювання до  $T_g = 800$  К, для зразка Co(5)/Cr(20)/Co(20)/П.

Виходячи із отриманих результатів можна зробити висновок, що обидві системи, в залежності від концентрації компонент, можуть застосовуватися для створення чутливого елементу датчика для детектування слабких магнітних полів або швидкої реакції на зміну зовнішнього магнітного поля.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0112U001381.

Керівник: Кондрахова Д.М., *мол. наук. співроб.*

1. I.V. Cheshko, S.I. Protsenko, L.V. Odnodvoretz, P. Shifalovich, *Technical Phys. Lett.* **35** No10, 903 (2009).
2. A. Chiolerio, P. Martino, M. Coisson, P. Allia, *J. Magn. Magn. Mater.* **31**, 3099 (2009).

## Дослідження властивостей структурованих плівок со методом феромагнітного резонансу

Сірик А.В., студ.; Пилипенко О.В., асист.  
Сумський державний університет, м. Суми

Актуальність досліджень властивостей масивів феромагнітних частинок малих розмірів пов'язана із можливістю їх практичного застосування для формування носіїв інформації з високою щільністю запису. Зменшення розміру частинок і відстаней між ними приводить до зміни магнітних властивостей кожної окремої частинки і плівкової системи в цілому, тобто перехід від масивних систем до масивів частинок дає можливість отримати матеріали з новими унікальними магнітними властивостями.

У роботі наведені результати досліджень магнітних властивостей суцільних (товщиною до 30 нм, осаджених методом магнетронного розпилення) і структурованих (із ефективною товщиною меншою 30 нм, отриманих методом ультрафіолетової фотолітографії та іонного травлення) плівок Со.

Вимірювання магнітних неоднорідностей методом феромагнітного резонансу (ФМР) структурованої плівки Со виявили у її спектрі, окрім головного резонансного піка  $\omega_{\text{рез}}$ , положення якого для суцільної плівки відповідає 600 Е, дві сателітні лінії біля 150 Е і 700 Е, що якісно узгоджується із експериментальними результатами, отриманими для пермалоевих частинок у вузлах квадратної матриці [1]. Температурні дослідження структурованих плівок Со в інтервалі температур 40-300 К, показали для всіх резонансних сигналів, як і у випадку для суцільної плівки, спостерігається лінійне зростання інтенсивності сигналу при підвищенні температури до від 40 до 230 К і його постійне значення при більш високих температурах.

Таким чином, структурування плівки Со дозволило отримати більш складний ФМР спектр із сильною температурною залежністю піків поглинання, що говорить про зміну магнітних властивостей плівки у порівнянні із масивними матеріалами.

Керівник: Однодворець Л.В., доц.

1. S. Jung, *et al.*, *Phys. Rev. B* **66**, 132401 (2002).

## Магнітні властивості тришарових плівок на основі Co та Gd

Воробйов С.І., мол. наук. співроб.; Сліпченко Є.А., студ.;

Сірадзе Г.М., студ.

Сумський державний університет, м. Суми

При виборі матеріалів для створення елементів пам'яті велику увагу приділяють таким основним характеристикам як коерцитивна сила ( $H_c$ ), залишкова намагніченість ( $M_r$ ) та намагніченість насичення ( $M_s$ ). Також важливе значення має сама форма петлі гістерезису, а саме такий параметр як коефіцієнт прямокутності ( $K_n$ ), який визначається за співвідношенням  $M_r/M_s$ . Для магнітних матеріалів носіїв інформації, потрібно, щоб  $K_n \rightarrow 1$  при відносно малій коерцитивній силі (до 30 Е), що дає можливість швидко перемагнічувати такий матеріал при відносно малих значеннях магнітного поля.

У даній роботі представлено результати вимірювань указаних вище параметрів у тришаровій плівковій системі Co(5)/Gd(x)/Co(20)/П (П – підкладка) в залежності від товщини прошарку (x) на основі Gd та впливу на них термообробки.

Тришарові плівки були отримані методом електронно-променевого осадження на підігріту ситалову підкладку до  $T_n = 450$  К. Вивчення магнітних властивостей проводилось методом вібраційної магнітометрії при кімнатній температурі (прилад VSM Lake Shore 7400) в паралельній геометрії вимірювання (лінії індукції магнітного поля направлені паралельно поверхні зразка). Дослідження структурно-фазового складу проводилось за допомогою методу просвічуючої електронної мікроскопії (прилад ПЕМ-125К). Термовідпалювання зразків проводилась до температури  $T_g = 800$  К.

Аналіз результатів електронографічних досліджень показує, що у свіжосконденсованому стані тришарові плівки Co/Gd/Co мають різний фазовий склад: ГЦП-Co + ГЦК-Co + квазіаморфний Gd (при ефективній товщині Gd приблизно до 10 нм) або ГЦП-Co + ГЦК-Co + ГЦК-GdH<sub>2</sub> + ОЦК-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (сліди) (при товщині плівки Gd більше 10 нм). Термообробка зразків не призводить до суттєвої зміни фазового складу, однак прослідковується збільшення вмісту фаз ГЦК-Co та ОЦК-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Дослідження магнітних властивостей тришарових плівок у свіжо-сконденсованому стані показали, що збільшення ефективної товщини прошарку на основі Gd на залежностях намагніченості від прикладеного зовнішнього магнітного поля спостерігаються характерні перегини, що свідчить про пошарове перемагнічування шарів.

Залежності величини коерцитивної сили та залишкової намагніченості від ефективної товщини прошарку на основі Gd носить осцилюючий характер. Мінімальне значення  $H_c$  становить 14 Е для системи Co(5)/Gd(5)/Co(20)/П, а максимальне 32 Е для Co(5)/Gd(15)/Co(20)/П. Величина намагніченості насичення, то з ростом ефективної товщини прошарку на основі Gd вона зменшується.

Розрахунки коефіцієнту прямокутності для даних плівкових систем показали, що максимальне значення  $K_n$  становить 0,915 для плівкової системи Co(5)/Gd(1)/Co(20)/П, а мінімальне 0,756 для Co(5)/Gd(10)/Co(20)/П. Якщо порівняти величину коефіцієнту прямокутності цих систем із сумарною товщиною шарів Co такою ж, як товщина одношарової плівки (яка була отримана і досліджена при однакових технологічних умовах), то можна відмітити наступне. Для одношарової плівки кобальту товщиною  $d_{Co} = 25$  нм, величина  $K_n = 0,567$ . Отже можна зробити висновок про те, що наявність прошарку на основі Gd призводить до збільшення величини  $K_n$ .

Після термовідпалювання плівок до  $T_g = 800$  К величина коерцитивної сили збільшується приблизно на 10-20 % у порівнянні зі свіжо-сконденсованими, що можна пов'язати зі змінами у структурно-фазовому стані.

Що стосується величини коефіцієнту прямокутності, то після термообробки він збільшується, наприклад для системи Co(5)/Gd(1)/Co(20)/П  $K_n = 0,947$ , а для системи Co(5)/Gd(10)/Co(20)/П  $K_n = 0,802$ .

Робота виконана у рамках НДР № 0112U004688.

Керівник: Черноус А.М., проф.

## Магнітні властивості приладових структур на основі Co та Gd

Воробйов С.І., *мол. наук. співроб.*; Шабельник Т.М., *студ.*;  
Шпетний І.О., *доц.*

Сумський державний університет, м. Суми

Робота присвячена встановленню загальних закономірностей, які пов'язані з впливом товщини окремих шарів феромагнетика, кількості повторювань та температури термообробки у багатшаровій плівковій системі на основі Co та Gd на їх магнітні властивості.

Зразки на основі Co і Gd отримувались у робочому об'ємі високовакуумної установки Alliance Concept DP 850 методом магнетронного осадження в атмосфері інертного газу Ar. Плівки конденсувалися пошарово на кремнієву підкладку при температурі  $T_n = 300$  К, з кількістю повторювань  $n = 2 \div 8$ .

У процесі конденсації ефективна товщина шарів Gd зберігалася постійною, а ефективна товщина шарів Co при цьому змінювалась та складала  $d_{Co} = 2$  і  $5$  нм. Для запобігання окисленню, плівкові зразки покривались двошаровою плівкою Ta/Pt.

Термообробка зразків здійснювалась у вакуумі за схемою «нагрівання  $\rightarrow$  витримка протягом 10 хв при  $T_e = 700$  К  $\rightarrow$  охолодження до кімнатної температури».

Магнітні властивості мультишарів досліджувались методом вібраційної магнітометрії (прилад VSM Lake Shore 7400) при кімнатних температурах, при двох орієнтаціях зразка відносно зовнішнього магнітного поля:

– лінії індукції магнітного поля були направлені паралельно поверхні зразка (паралельна геометрія);

– лінії індукції магнітного поля були направлені перпендикулярно до поверхні зразка (перпендикулярна геометрія).

Дослідження магнітних властивостей показали, що свіжесконденсовані плівки характеризуються відносно малою коерцитивною силою. Причому, при збільшенні ефективної товщини шару Co від 2 до 5 нм (незалежно від кількості повторювань) величина  $H_c$  зменшується. Наприклад, при паралельній геометрії вимірювання для плівкової системи Ta(5)/Pt(5)/[Co(2)/Gd(2)]<sub>n</sub>/Ta(2)/Pt(5)/SiO(100)/Si (у дужках вказана товщина у нм) вона складає  $H_c = 21,53$  Е, а для системи

Ta(5)/Pt(5)/[Co(5)/Gd(2)]<sub>4</sub>/Ta(2)/Pt(5)/SiO(100)/Si  $H_c = 7,47$  Е. Також при збільшенні ефективної товщини шару Co і кількості повторювань загальної магнетизація системи зростає. Зокрема при збільшенні товщини Co з 2 до 5 нм величина магнетизації зростає приблизно на порядок, а при збільшенні повторювань з 2 до 8 при  $d_{Co} = 2$  нм на 40 %, а при  $d_{Co} = 5$  нм на 75 %. Аналогічна до магнетизації з кількістю повторювань, веде себе і коерцитивна сила у системі з товщиною прошарку Co  $d_{Co} = 2$  нм при  $n = 2$   $H_c = 20,69$  Е, а при  $n = 8$   $H_c = 23,09$  Е, а для  $d_{Co} = 5$  нм при  $n = 2$   $H_c = 6,18$  Е, а при  $n = 8$   $H_c = 11,85$  Е. На такий результат може впливати якість інтерфейсів між шарами. Згідно даних роботи [1], при збільшенні кількості повторювань, інтерфейси стають більш дефектними. Причому чим менші значення мають товщини шарів системи, тим руйнування інтерфейсів настає при меншій періодичності.

Термообробка зразків не залежно від товщини шару Co та кількості повторювань призводить до зниження загальної намагніченості системи. Величина коерцитивної сили зростає пропорційно збільшенню ефективної товщини шару Co, при  $d_{Co} = 2$  приблизно до 2 разів,  $d_{Co} = 5$  нм до 3 разів. Такий результат може бути пов'язаний з утворенням на межі поділу Co/Gd за рахунок термодифузії аморфного твердого розчину (Co, Gd).

Робота виконана у рамках НДР № 0112U004688.

Керівник: Чорноус А.М., проф.

1. Н. Miyagawa, Н. Shiraoka, М. Tani, et al., *J. Cryst. Growth* **311**, 2143 (2009).

## Формування функціональних металевих плівкових структур спін-вентильного типу на основі Co, Cu і Au

Манько А.В., студ.

Сумський державний університет, м. Суми

Велику групу функціональних плівкових матеріалів, сформованих на основі магнітних і немагнітних металів, що чергуються, об'єднують під загальною назвою матеріалів із спін-залежним розсіюванням електронів. Найбільший інтерес представляють структури спін-вентильного типу як основні елементи нового напрямку електроніки – спінтроніки. Такі структури представляють собою багат шарову плівкову систему, основу якої складають два магнітні функціональні шари (найчастіше це шари Co товщиною 5-40 нм) і немагнітного прошарку (Cu або Au товщиною 4-10 нм). Але поряд з простотою виготовлення таких плівкових систем, для них характерні невеликі значення зміни магнітоопору і низька температурна стабільність параметрів таких систем. По аналогії з відомими роботами [1, 2] нами була запропонована методика формування складних функціональних плівкових систем спін-вентильного типу на основі Co, Cu і Au, де один або два магнітних шари Co замінюються мультишарами  $[\text{Co}/\text{Cu}(\text{Au})]_x$ , де  $x = 4-12$  – кількість фрагментів мультишару. Товщина окремих шарів вибиралася однаковою  $d = 1, 2, 3$  та  $4$  нм. Результати експериментальних досліджень вказують на те, що свіжосконденсовані мультишари на основі Co і Cu у вибраному діапазоні товщин навіть при кімнатній температурі мають великі значення магнітоопору (зміна опору складає більше 1 %) та ознаки гігантського магнітоопору. Як показує аналіз літературних даних, термостабільність мультишарів набагато більша від стабільності простих спін-вентильних структур чи так званих гранульованих сплавів тому очікується, що стабільність структур спін-вентильного типу, у яких функціональні магнітні шари замінені на мультишари, будуть мати більшу стабільність характеристик і значення величини магнітоопору.

Керівник: Чешко І.В., ст. викл.

1. Kamiko M., Yamamoto R. *Mater. Sci. Engin. B.* **141**, 16 (2007).
2. Angelakeris M., Papaioannou E.T., Valassiades O., et al., *J. Magn. Mater.* **272**, 1317 (2004).

**Вплив температури підкладки на структурні та оптичні властивості плівок ZnO нанесених методом спреї-піролізу**

Серебренников С.А., студ.; Доброжан О.А., асп.;

Опанасюк Н.М., доц.

Сумський державний університет, м. Суми

Оксид цинку (ZnO) як прямозонний напівпровідник *n*-типу провідності з широкою забороненою зоною (3,37 eВ при  $T = 300$  К) та найбільшою серед бінарних сполук енергією утворення екситонів (60 меВ). Завдяки своїм унікальним електричним та оптичним властивостям, нетоксичності, стабільності в атмосфері перспективний для використання в приладах мікро- та наноелектроніки, оптоелектроніки, сенсорики, геліоенергетики та ін.

Для синтезу плівок ZnO використовувався метод спреї-піролізу, який є досить простим, відносно дешевим, безвакуумним способом нанесення суцільних, пористих та наноструктурованих шарів великої площі на підкладках різних типів. Плівки ZnO були нанесені на скляні підкладки в інтервалі температур  $T_s = (473-673)$  К. Як прекурсор використаний дигідрат ацетату цинку з концентрацією 0,2 М. Мета даної роботи полягала у дослідженні впливу температури підкладки на структурні, субструктурні та оптичні властивості плівок.

У роботі властивості отриманих плівок вивчалися методами рентгенівської дифрактометрії, скануючої електронної мікроскопії, енергодисперсійної рентгенівської та оптичної спектроскопії. Встановлено, що коефіцієнт стехіометрії зразків  $\gamma = C_O/C_{Zn}$  змінювався в діапазоні 1,26-1,39, відповідно шари мали надлишок кисню. Дифрактограми від плівок свідчать, що вони є однофазними та мають гексагональну структуру. У шарах ZnO, отриманих при  $T_s < 573$  К, переважаючою текстурою росту є  $[100]$ , при більших температурах –  $[002]$ . Розраховані значення сталих ґратки матеріалу плівок склали:  $a = 0,3248-0,3255$  нм,  $c = 0,5151-0,5211$  нм, ці дані добре корелюють з довідниковими значеннями. Визначене значення оптичної ширини забороненої зони матеріалу знаходиться в діапазоні 3,18-3,30 eВ та залежить від температури їх отримання.

Результати досліджень можуть бути використані при розробці віконних та антивідбиваючих шарів тонкоплівкових сонячних елементів з покращеними властивостями і низькою вартістю.



## Отримання плівок CdZnTe зі змінною концентрацією цинку

Знаменщиков Я.В., асп.

Сумський державний університет, м. Суми

Мета даної роботи полягала в отриманні плівок CdZnTe змінного хімічного складу шляхом зміни умов їх вирощування.

Плівки CdTe та ZnTe зконденсовані одночасно методом вакуумного термічного випаровування у квазізамкненому об'ємі. Структурні дослідження виконані з допомогою рентгено-дифрактометра ДРОН-4 у *Ka* випромінюванні мідного анода, за їх результатами розраховані параметри кристалічної решітки.

У подальшому згідно закону Вегарда обчислена концентрація цинку:

$$a = 6,481 - 0,3837(x),$$

де  $a$  – параметр кристалічної решітки,  $x$  – концентрація цинку.

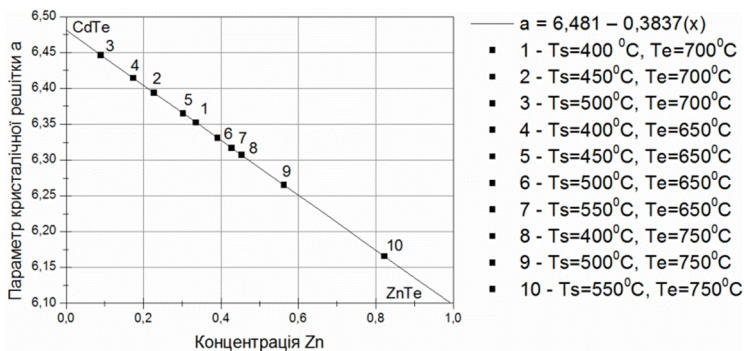


Рисунок 1 – Визначення концентрації цинку в зразках CdZnTe, отриманих при різних умовах осадження ( $T_s$  – температура підкладки,  $T_e$  – температура випаровувача)

У результаті роботи були отримані плівки CdZnTe зі змінною концентрацією цинку та вивчені залежності концентрації цинку від температур підкладки та випарника.

Керівник: Косяк В.В., доц.

## Розрахунок тиску насичених парів Sn та S

Возний А.А., асп.

Сумський державний університет, м. Суми

Для отримання тонких плівок SnS методом співвипаровування у вакуумі, важливим питанням є розрахунок тисків насичених парів компонентів. У свою чергу це дозволить оцінити оптимальні температури випаровування, при яких можливо отримати матеріал близький до стехіометричного складу. У даній роботі відповідні розрахунки проводились за стандартною формулою:

$$\log P = A + BT^{-1} \quad (1)$$

де  $P$  – тиск (Па),  $A$ ,  $B$  – константи ( $S_2$ :  $A = 10,07$ ;  $B = 4928,53$ ; Sn:  $A = 6,036$ ;  $B = -15710$ ),  $T$  – температура К.

Для розрахунку тиску насиченої пари Sn та  $S_2$ , коефіцієнти  $A$ ,  $B$  були взяті із літературних джерел або були розраховані шляхом апроксимації експериментальних даних. У результаті були встановлені температури випаровування матеріалів що відповідають однаковим значенням тиску парів компонентів.

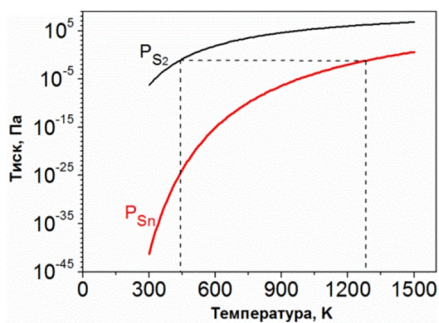


Рисунок 1 – Графік залежності тиску насичених парів Sn та S від температури (пунктирні лінії – оптимальні температури при однаковому тиску парів компонентів)

Розраховані температурні режими осадження були використані для отримання плівок SnS.

Керівник: Косяк В.В., доц.

## Электроэрозионный медный порошок, полученный из отходов микроэлектроники

Агеев Е.В., *проф.*; Агеева Е.В., *доц.*;

Хорьякова Н.М., *асп.*; Малюхов В.С., *студ.*

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Широкое применение нанопорошков меди для создания функциональных материалов в настоящее время не вызывает сомнения. Нанопорошки меди способны поддерживать высокую и стабильную проводимость и могут быть использованы для миниатюризации деталей в технике связи, нано- и микроэлектронике. Медь чаще, чем другие цветные металлы встречается в устройствах электроники.

Потребление меди для производства проводников тока, кабелей, двигателей, генераторов и т.п. из года в год увеличивается, что в свою очередь вызывает рост объёмов образования отходов потребления – лома. Извлечь медь из этих устройств не составляет большого труда, т.к. устройства разбирается на составные части. Обеспечение достаточного количества меди для удовлетворения будущих потребностей общества требует повышения уровня утилизации и переработки.

В связи с этим поиск эффективных методов переработки медных отходов электроники является актуальным и необходимым. На наш взгляд, одним из наиболее перспективных методов переработки медных отходов, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД), с помощью которого можно получить медный порошковый материал различной дисперсности.

Целью исследования является получение медных порошковых материалов методом ЭЭД из отходов медной электротехнической проволоки и изучение распределения по размерам частиц полученного порошка методом лазерной дифракции.

Процесс получения медных порошков осуществляли на установке для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов, разработанной авторами [1], которая содержит реактор ЭЭД для загруженных в него медных отходов, регулятор напряжения и генератор импульсов, силовой блок и блок управления.

Для получения медного порошка использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов, разработанную авторами [2, 3] и отходы

електротехнической медной проволоки (ТУ 16-705.492-2005). Проволоку загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – дистиллированной водой, процесс проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 33,5 мкФ, напряжение 200-220 В, частота следования импульсов 28 Гц. В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами произошло разрушение медной проволоки с образованием дисперсных частиц порошка.

Известно, что в зависимости от размера частиц порошка будут меняться его свойства, а также свойства получаемого на его основе материала. Поэтому, полученный порошок выпарили и проанализировали распределение полученных частиц по размерам с помощью лазерного анализатора размеров частиц «Analysette 22 NanoТес». Данный метод анализа был выбран не случайно, лазерная дифракция обладает рядом важных преимуществ, таких как краткое время анализа, хорошая воспроизводимость и точность, простая калибровка, большой диапазон измерений (от 0,01 до 2000 мкм) и высокая универсальность.

На основании результатов анализа установлено, что средний размер частиц составляет 23,65 мкм, арифметическое значение – 23,655 мкм, удельная площадь поверхности –  $1,62 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{м}^3$ .

На основании полученных результатов можно сделать вывод о возможности применения медных порошков, полученных методом электроэрозионного диспергирования, для переработки отходов микроэлектроники.

1. Н.М. Хорьякова, *Перспективное развитие науки, техники и технологии: сб. докладов III-й Междунар. науч.- практич. конф. в 3 томах. Том 3* (Курск: ЮЗГУ: 2013).
2. Е.В. Агеев, *Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: сб. докладов Междунар. науч.- инновац. конф.* (Тамбов: Изд-во ИИ Чеснокова А.В.: 2013).
3. Е.В. Агеев, Патент 2449859, Российская Федерация, С2, В22F9/14. *Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов* / Агеев Е.В.; заявитель и патентообладатель ЮЗГУ. – № 2010104316/02; заяв. 08.02.2010; опубл. 10.05.2012. – 4 с.

## Исследование свойств пленок ZnSe, полученных методом электрохимического осаждения

Новикова Т.В., студ.; Стариков В.В., доц.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков

В настоящее время пленки ZnSe широко используются в оптоэлектронике в роли солнечных преобразователей, сцинтилляционной технике, люминесцентных приборах и светоизлучающих диодах.

Основным методом осаждения является вакуумный. Этот метод имеет ряд недостатков: ограниченность размеров подложек для нанесения пленок, неоднородность пленок, себестоимость. Альтернативой вакуумным методикам осаждения является гидрохимическое осаждение селенида цинка, но при использовании последней методики пленки имеют низкую адгезию, что стимулировало исследования в области их электрохимического синтеза. Явным преимуществом данного метода является управление реакцией, ликвидация недостатков вакуумного метода и увеличение адгезионной прочности пленок.

Синтезированные нами пленочные материалы, осаждались при температуре раствора 75-80 °С, с вариациями концентрации Se от 0,1 до 0,5 М и щелочи 1-5 М. Время осаждения изменялось от 5 до 20 мин при пропускании плотности тока – 0,06-0,4 А/см<sup>2</sup>.

При помощи рентген-дифрактометрии было установлено, что полученные пленки являются однофазными и представлены фазой ZnSe. Замечено, что с ростом концентрации KOH, в начале, происходит сглаживание рельефа и увеличивается сплошность образца. При концентрации KOH больше 3М начинается разрушение поверхности и образование высокоразвитого рельефа. В свою очередь, увеличение концентрации Se в растворе улучшает морфологию синтезированных пленок, что также проявляется в сглаживании рельефа.

Пленки, полученные при  $C(\text{KOH}) = 3 \text{ М}$  и  $C(\text{Se}) = 0,5 \text{ М}$ , что показывает стабильность и постоянство значений измеренного электросопротивления равного  $(0,23-4,15) \cdot 10^6 \text{ Ом}$ , имеют улучшенные свойства.

Найденные значения оптической ширины запрещенной зоны, лежат в диапазоне 2,35-2,5 эВ, что хорошо совпадает с данными для пленок, полученных вакуумным методом.

**Електрон-фотонна емісія Se/As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Te/As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>**

Лінтур М.І., *наук. співроб.*; Маркович Л.М., *наук. співроб.*;  
Приходько М.В., *наук. співроб.*; Подгорецька Г.Ю., *наук. співроб.*  
Ужгородський національний університет, м. Ужгород

Логіка сучасного етапу розвитку фізики полягає в тому, що основними об'єктами досліджень у все більшій мірі стають не монокристали, не окремі плівки, а складні наноструктурні матеріали. Вибір багатшарових структур Se/As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Te/As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> обумовлено практичною зацікавленістю через їх високу прозорість в інфрачервоній області спектра, проявами ефектів перемикавання та індукованих змін, зокрема їх застосуванням в голографії та оптоелектроніці.

Дослідження взаємодії електронів з поверхнями плівок Se/As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> і Te/As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> проводилось на надвисоковакуумному електрон-фотонному спектрометрі в діапазоні довжин хвиль 200-800 нм. Тиск залишкових газів в робочій камері становив  $p \sim 10^{-9}$  Тор, а електронний струм на мішені  $I_{el.} = 2,15-2,5$  мкА. Досліджувані зразки опромінювались електронами з енергією  $E_n = 500$  еВ, під кутом  $\alpha = 15^\circ$  відносно нормалі до поверхні.

В спектрограмах Se/As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> і Te/As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> спостерігалось неперервне випромінювання в широкому діапазоні довжин хвиль з максимумами близько  $\lambda_1 = 300$  нм і  $\lambda_2 = 750$  нм, а в спектрі Se/As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> виявлено особливість при  $\lambda_3 = 500$  нм. Неперервне випромінювання з максимумом при  $\lambda_1 = 300$  нм, яке спостерігається у всіх досліджуваних випадках, має одну і ту ж природу. Його за механізмом пов'язуємо з електронними міжзонними переходами в плівках As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Спектральна особливість при довжині хвилі  $\lambda_3 = 500$  нм теж характерна для плівки As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> і відповідає випромінюванню „дефектних” кластерів AsS<sub>3</sub>, As<sub>4</sub>S<sub>4</sub> та As<sub>2</sub>S<sub>5</sub>, які збуджуються бомбардуючими електронами. Неперервне випромінювання з максимумом близько  $\lambda_2 = 750$  нм спричинює свічення дефектів, що виникають на границі між двома шарами (Se і As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Te і As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>), через їх перемішування під дією пучка електронів [1].

1. K. Adarsh, K. Sangunni, S. Kokenyesi, *J. Appl. Phys.* **314** (2005).

## Вплив інтеркаляції кобальту на електричні властивості монокристалів InSe

Шевчик В.В., *асп.*; Боледзюк В.Б. *канд. фіз.-мат. наук*,  
Нетяга В.В., *канд. фіз.-мат. наук*  
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича,  
Чернівецьке відділення, м. Чернівці

Сполуки впровадження на основі моноселеніду індію, що містять магнітні домішки, є новим класом сполук. Актуальність даного напрямку зумовлена значним інтересом науковців до досліджень і створення нових матеріалів та структур, що володіють феромагнітними властивостями.

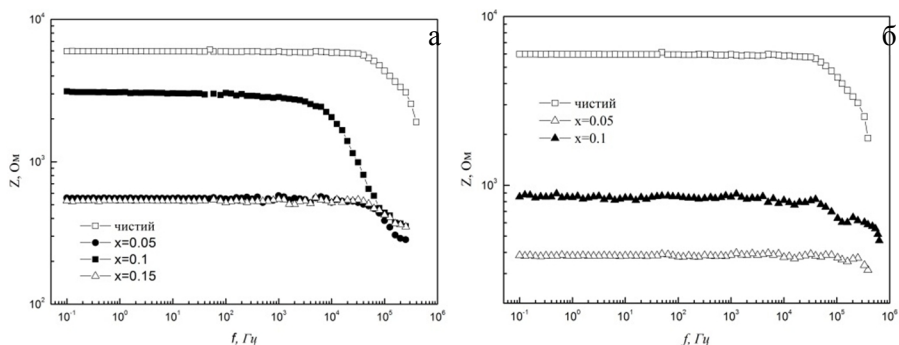


Рисунок 1 – Частотний спектр спектра імпедансу зразків  $\text{Co}_x\text{InSe}$  отриманих без магнітного поля (а) та в магнітному полі (б)

Провідність шаруватих кристалів вздовж кристалографічної осі  $c$  залежить від відстані між сусідніми шарами і від ступеню перекриття їх хвильових функцій. Тому можна припустити, що зміна кристалографічного параметру  $c$  кристалографічної ґратки кристалу приводить до змін провідності між шарами. Цим можна пояснити збільшення електроопору зразків при концентрації кобальту  $x=0.1$  ат.%. Схожа поведінка зменшення і збільшення параметру  $c$  ґратки InSe спостерігалась в роботі [1].

1. И.М. Стахира, Н.К. Товстюк, В.Л. Фоменко, В.М. Цмоць, А.Н. Щупляк, *ФТП* **45**, 10 (2011).

## Вплив часу інтеркалювання $C_3H_8O_3$ на основні параметри шаруватих кристалів InSe

Фешак Т.М., асп.

Інститут проблем матеріалознавства імені І. М. Францевича,  
НАН України, Чернівецьке відділення, м. Чернівці

Останнім часом зріс інтерес до аналізу впливу впровадження атомів, іонів або молекул у шаруваті напівпровідники класу  $A^3B^6$  [1]. Зацікавленість процесом інтеркаляції [2] викликана не тільки неповним розуміння її природи, але й багатообіцяючими можливостями практичного застосування отриманих на її основі різноманітних інтеркаляційних сполук.

Кристали селеніду індію (InSe) володіють шаруватою структурою, яка оснований на ковалентно-іонному та ван-дер-ваальсівському типах зв'язків, і, як наслідок, їй притаманна підвищена адсорбція до сторонніх атомів, іонів чи молекул.

В експериментах базовим матеріалом служив шаруватий напівпровідник InSe, вирощений методом Бріджмена. Досліджувані зразки вирізалися у вигляді прямокутних паралелепіпедів розміром  $13 \times 10 \times 5,5$  мм. Інтеркаляцію здійснювали експозиційним методом, поміщенням зразків у рідинне середовище  $C_3H_8O_3$ , яке мало однакову температуру з матеріалом. В цьому випадку основним параметром процесу інтеркаляції був час експозиції.

Визначення основних параметрів зразків здійснювалося за допомогою вимірювання ЕРС Холла і вимірювального комплексу Solartron SI 1255.

Після перших 14 діб інтеркаляції зразків у  $C_3H_8O_3$ , спостерігалось зростання провідності, концентрації, рухливості основних носіїв заряду та імпедансу. Подальше продовження процесу впровадження привело до незначного зменшення основних параметрів зразків, окрім імпедансу, величина якого зменшилася на два порядки.

1. В.Б. Боледзюк, З.Д. Ковалюк, М.М. Пирля, С.Г. Барбуца, *Ukr. J. Phys.* **58** No 9, 857 (2013).
2. W.R. McKinnon, R.R. Haering, *Modern Aspects Electrochem.* No 15, 235 (1983).



## Резонанс струму і напруги в нанокompозиті $(\text{FeCoZr})_x(\text{CaF}_2)_{100-x}$

Проценко С.І.<sup>1</sup>, проф.; Бондарєв В.А.<sup>2</sup>, асп.;  
Гриценко С.В.<sup>1</sup>, студ.

<sup>1</sup> Сумський державний університет, м. Суми, Україна

<sup>2</sup> Люблінська політехніка, м. Люблін, Польська Республіка

У роботі представлені результати досліджень електричних властивостей на змінному струмі нанокompозиту  $(\text{FeCoZr})_x(\text{CaF}_2)_{100-x}$ . Зразок отриманий методом іонно-пучкового розпилення в вакуумній камері в атмосфері аргону та кисню.

Встановлено, що після його відпалювання до температури  $T = 548$  К протягом 15 хвилин, кут зсуву фаз  $\theta$  в області низьких частот має ємнісний характер, а в області вищих частот – індукційний.

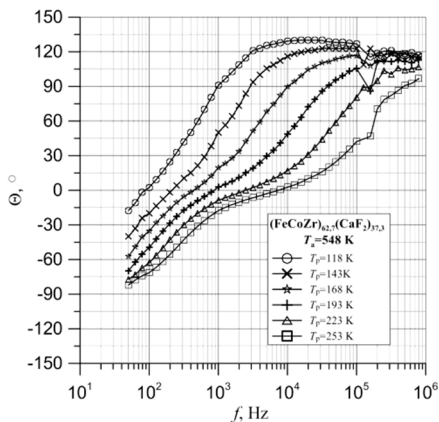


Рис. 1. Частотна залежність при різних температурах вимірювання кута зсуву фаз  $\theta$  нанокompозиту  $(\text{FeCoZr})_{62.7}(\text{CaF}_2)_{37.3}$ , відпаленого до  $T = 548$  К

Аналіз залежностей виказав, що в зразку мають місце резонанси напруг і струмів, що відповідає конвенціональному RLC-контурі.

1. T.N. Koltunowicz, P. Zukowski, M. Milosavljević, A.M. Saad, J.V. Kasiuk, J.A. Fedotova, Yu.E. Kalinin, A.V. Sitnikov, A.K. Fedotov, *J. Alloys Comp.* **586**, 353 (2014).
2. T.N. Koltunowicz, J.A. Fedotova, P. Zhukowski, A. Saad, A. Fedotov, J.V. Kasiuk, A.V. Larkin, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **46**, 125304 (2013).

## **СЕКЦІЯ 5**

# **«ЕЛЕКТРОННЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ»**

## Електрофізичні властивості чутливих елементів датчиків на основі металевих плівок

Шумакова М.О., студ.

Сумський державний університет, м. Суми

Широке застосування в галузях мікро- і наноелектроніки та сенсорного приладобудування знаходять багатокomпонентні плівкові матеріали у вигляді плівкових сплавів, шаруватих і багатшарових систем, у яких межі поділу дуже суттєво впливають на фізичні властивості, зокрема на термічний коефіцієнт опору (ТКО) і коефіцієнти тензочутливості (КТ). Чутливі елементи датчиків, сформовані на їх основі, мають більш широкий спектр функціональних можливостей у порівнянні із одношаровими матеріалами. Не дивлячись на великі досягнення в галузі фізики багатшарових плівкових систем, ряд питань носить проблемний характер. Це, перш за все, відсутність теоретичних моделей, які задовільно описували б розмірні ефекти (РЕ) в ТКО, слабка узгодженість експериментальних результатів із теоретично очікуваними. Залишаються не до кінця вивченими питання про температурну і деформаційну залежність параметрів електроперенесення: коефіцієнти дзеркальності поверхні плівки ( $\rho$ ), проходження межі зерна ( $\tau$ ) і межі поділу окремих шарів ( $Q$ ).

Мета роботи полягала в апробації теоретичної моделі з урахуванням фізичних процесів розсіювання електронів [1] та їх експериментальна перевірка на прикладі дво- і тришарових плівкових систем на основі Cr, Cu і Sc із урахуванням температурних та деформаційних залежностей параметрів електроперенесення.

Плівкові зразки отримувались методом термічного випарування металів у вакуумі  $10^{-4}$  Па (установка ВУП-5М). Кінцева товщина зразків вимірювалась методом двопроменевої інтерферометрії (прилад – інтерферометр Лінника). Підкладкою служили вільні плівки С ( $d \sim 10$  нм) для електронно-мікроскопічних досліджень, скляні пластини або смужки полістиролу - для вимірювання ТКО або КТ, відповідно. Для вивчення кристалічної будови і фазового складу плівкових зразків та проведення електронографічного аналізу використовувався електронний мікроскоп ПЕМ-125К. При апробації теоретичних моделей для електрофізичних властивостей багатшарових плівок були також частково використані результати роботи [1] стосовно ТКО і дифузійних процесів, які контролювалися методом вторинно-іонної мас-спектрометрії.

У таблиці 1 представлені результати порівняння експериментальних і розрахункових даних для дво- і тришарових плівкових систем. Як видно із таблиці 1, ця відповідність дуже добра (відхилення від експериментальної величини складає не більше 22%).

Таблиця 1 – Порівняння експериментальних і розрахункових величин ТКО

Плівкова система	$\beta \cdot 10^3, \text{K}^{-1}$	Розрахункові дані $\beta \cdot 10^3, \text{K}^{-1}$	
		із урах. темп. ефектів	$\frac{ \beta - \beta_{\text{розра}} }{\beta}, \%$
Cu(20)/Cr(10)/П	1,35	1,4	3,7
Cu(30)/Cr(30)/П	1,64	1,61	1,8
Cr(25)/Cu(30)/П	1,59	1,56	1,9
Cr(25)/Cu(45)/П	1,73	1,97	13,8
Cu(48)/Cr(15)/П	2,22	2,23	0,5
Cr(15)/Cu(50)/Cr(25)/П	0,71	0,58	18,3
Sc(18)/Cu(48)/П	2,10	1,67	20,4
Sc(65)/Cu(43)/П	1,90	1,50	21,0
Sc(93)/Cu(38)/П	1,69	1,32	21,9

Таким чином, у роботі проведена апробація теоретичної моделі для електрофізичних властивостей (ТКО і КТ) багатшарових плівкових систем та встановлено, що узгодженість експериментальних і розрахункових даних покращується при переході від моделі Р.Дімміха до апроксимаційного співвідношення, напівкласичних і напівфеноменологічних моделей, зокрема, в останньому випадку ступінь відповідності лежить в межах  $[(\beta - \beta_{\text{розра}})/\beta] = \pm(20-22)\%$  і  $[(\gamma - \gamma_{\text{розра}})/\gamma] = \pm(3-19)\%$  (системи на основі Cu і Sc) та  $\pm(0,5-19)\%$  і  $\pm(25-27)\%$  (системи на основі Cr і Cu), відповідно.

Керівники: Проценко С.І., *проф.*; Однодворець Л.В., *доц.*

1. С.І. Проценко, А.М. Чорноус, *Металлофиз. новейшие технол.* **25**, 5, 587 (2003).

## Термічна стабільність магнітних характеристик спін-вентильних структур на основі Fe, Co та Au

Негрійко С.О., студ.; Демиденко М.Г., асист.;  
Федченко О.В., асист.

Сумський державний університет, м. Суми

Магнітні властивості спін-вентильних структур, які являються перспективними матеріалами для створення чутливих елементів датчиків, вивчені вже досить детально. Однак, залишаються питання, що пов'язані з впливом процесів дифузії, рекристалізації та фазоутворення, що мають місце при підвищених температурах, на зміну магнітних характеристик цих структур.

Магнітооптичні та магніторезистивні (МО) дослідження проводились для чотирьох типів спін-вентильних структур свіжосконденсованих та відпалених до різних температур. Структури відрізнялись товщиною (по 3 та 20 нм) та порядком чергування магнітних шарів. Результати досліджень магнітооптичного ефекту Керра (МОКЕ) всіх спін-вентилів до відпалювання показали відсутність поля зміщення, що непрямо свідчить про цілісність немагнітного прошарку ( $d_{Au} \cong 6$  нм). Після відпалювання до  $T_g = 450$  К, індукція розмагнічування ( $B_c$ ) дещо зменшується для всіх зразків, що пов'язано із заліковуванням дефектів плівок та покращенням доменної структури. Після відпалювання до  $T_g = 600$  К, для спін-вентилів з відносно товстим шаром Co ( $d_{Co} \cong 20$  нм) змінюється характер залежності  $B_c$  від кута повороту зразка у площині ( $\alpha$ ), що непрямо свідчить про фазоутворення. Це припущення підтверджується результатами мікроскопічних та еліпсометричних досліджень. Крім того, після відпалювання до  $T_g > 600$  К, спостерігається стрімкий ріст поля насичення, наприклад, від 5 до 25 мТл для спін-вентилів IV типу. Така ситуація може мати місце при зміні структури магнітних шарів, зокрема при утворенні твердих розчинів (Au,Co) та (Au,Fe). Значення МО спін-вентилів, навпаки, немонотонно зменшується при збільшенні температури відпалювання. Найбільш термічно-стабільними являються структури з відносно товстим шаром Co. Вони змінюють значення МО на 0,2% лише після відпалювання до  $T_g = 750$  К. Однак, для них характерна зміна знаку МО при різних температурах відпалювання.

## Створення оригінальної системи нанопозиціонування для скануючої зондової мікроскопії

Попова О.В., студ.; Горячко А.М., канд. фіз.-мат. наук;  
Сидоров Р.О., студ.; Мельник П.В., проф.;  
Коваль І.П., доц.; Находкін М.Г., проф.

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, м. Київ

Для роботи зондових мікроскопів необхідно контролювати робочу відстань зонд-зразок і здійснювати переміщення зонду в площині зразка з високою точністю. Відомі на теперішній час системи нанопозиціонування є досить дорогими у виготовленні, тому метою даної роботи була розробка оригінальної системи нанопозиціонування, процес виготовлення якої спрощується та стає набагато дешевшим, оскільки використовуються лінійні елементи. Загальну схему п'єзосканера - системи надточного нанопозиціонування в скануючому тунельному мікроскопі наведено на рис. 1.

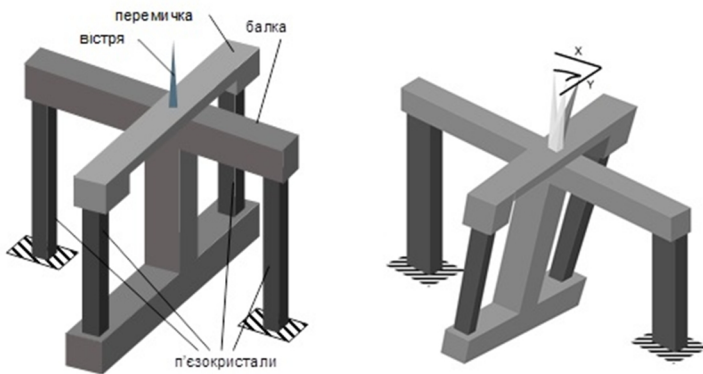


Рисунок – 1 Схема конструкції системи нанопозиціонування

Запропонована нами схема досить проста в користуванні та виготовленні.

Робота була представлена у II турі Всеукраїнського конкурсу наукових студ.ських робіт в галузі «Приладобудування», нагороджена дипломом I ступеню.

## Мобільна установка для дослідження метрологічних характеристик побутових лічильників газу

Маглак А.В., Аркуша В.А., студ.; Середюк О.Є., проф.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
м. Івано-Франківськ

На сьогоднішній день питання правильності обліку природного газу в комунально-побутовій сфері набуває все більшої актуальності. Зокрема, це стосується засобів, якими можна було би не тільки здійснювати облік газу, але і контролювати правильність функціонування побутових лічильників газу (ПЛГ). Тому актуальним є розроблення засобів вимірювання витрати і об'єму природного газу, на базі яких можна було би створювати установки для дослідження метрологічних характеристик ПЛГ впродовж міжповірочного інтервалу і безпосередньо на місці експлуатації. Проведений аналіз нормативних документів і технічних засобів для дослідження метрологічних характеристик ПЛГ показав, що дослідження на даний час проводяться тільки з використанням повітря як робочого середовища. Це не дає можливості об'єктивно оцінювати характеристики ПЛГ, оскільки на їх похибку впливає вид робочого середовища, а при демонтажі і транспортуванні до місця повірки ПЛГ можуть суттєво змінитися їх метрологічні характеристики. Розроблені технічні засади створення мобільної установки згідно концепції [1], суть реалізації якої полягає у використанні попередньо проградуйованих спеціальних звужувальних пристроїв у вигляді торцевих сопел з давачами вимірювання тиску, температури і перепаду тиску на них. Розроблений алгоритм функціонування установки і здійснений вибір технічних засобів для його реалізації. Особливістю установки є застосування методики перерахунку витратної характеристики торцевих сопел за числом Рейнольдса, що дозволяє вимірювати об'єм природного газу, який відлічує ПЛГ, і визначати його похибку в умовах експлуатації на природному газі. У роботі вказані складові похибки установки, здійснене їх чисельне оцінювання, що показало можливість застосування установки як засобу вимірювання метрологічного призначення.

Робота була представлена у II турі Всеукраїнського конкурсу наукових студ.ських робіт в галузі «Приладобудування», нагороджена дипломом II ступеню.

1. О.Є. Середюк, С.А. Чеховський, А.Г. Винничук, *Ж. Нафт. і газ. промисловість* **6**, 38 (2006).

## Дослідження вихідних та температурних характеристик GaAs-фотоперетворювачів

Завальнюк А.О., студ.; Костіна Н.О., студ.

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків

Показано, що у фотовольтаїчних германієвих р-n- переходах поряд з дифузійним необхідно враховувати і тунельний механізм протікання струму. У роботі на основі двоекспоненціальної моделі темнових ВАХ досліджено дифузійно-тунельний механізм струмопереносу в одно перехідній Ga фото комірці як базового елементу тандемного фотоперетворювача (ФП) GaInP/GaInAs/Ge. Проведено дослідження температурних характеристик тунельного та дифузійного струмів германієвої фотокомірки за допомогою різних моделей для визначення ширини забороненої зони. Показано, що температура має більший вплив на щільність дифузійного струму, ніж тунельного. Із використанням спектральної методики проведено моделювання вихідних параметрів германієвого субелемента (СЕ) при варіації його макропараметрів і спектру поглинання. Як показано в роботі, коефіцієнт корисної дії Ge-субелемента у складі триперехідного СЕ GaInP/GaInAs/Ge склав  $\sim 2,3\%$ , що підтверджується графіками залежності ККД від напруги навантаження при мінімальному значенні смуги пропускання. У результаті порівняння ККД для трьох різних спектрів поглинання фотокомірки, зроблено висновок, що зі зменшенням спектру поглинання зменшується і ККД приладу. Виконаний аналіз дозволяє моделювати роботу окремих комірок триперехідного ФП зі структурою GaInP/GaInAs/Ge. На основі світлових ВАХ досліджено вплив температури на напругу холостого ходу, який був підтверджений в ході експериментальних досліджень. Спостерігається зменшення напруги холостого ходу з підвищенням температури. Проведено експериментальне дослідження характеристик тандемного ФП GaInP/GaInAs/Ge у залежності від температури, що підтверджує теоретичні припущення.

Робота була представлена у II турі Всеукраїнського конкурсу наукових студ.ських робіт в галузі «Приладобудування», нагороджена дипломом III ступеню.

Керівник: Сліпченко М.І., проф.



## **Вихретоковый дефектометр – прибор нового поколения**

Сернецкая Я.А., студ.; Тараник А.Н., студ.

Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля,  
г. Луганск

Разработана математическая модель формирования выходного сигнала накладного вихретокового преобразователя находящегося над поверхностью ферромагнитного объекта. Дефект объекта представляется в виде полущели с наклонной стенкой, угол наклона которой изменяется в процессе расчета. Такая модель дефекта позволяет получать изменения выходного сигнала накладного вихретокового преобразователя, когда он неподвижно находится над дефектом. При этом, в формировании выходного сигнала преобразователя не участвует явление краевого эффекта, которое неизбежно возникает при пересечении преобразователем граней дефекта. Таким образом, удастся получить «чистый» сигнал преобразователя, зависящий только от геометрических размеров самого дефекта. Такая модель позволяет по величине сигнала преобразователя идентифицировать дефект по его глубине или определять глубину залегания дефекта, когда дефект является подповерхностным. Результаты расчетов позволяют говорить об определении глубины залегания дефекта до 30 мм. Однако для реализации этой функции необходимо создать датчик, не реагирующий на край объекта контроля. Предложенная математическая модель позволяет рассчитать накладной вихретоковый датчик, не обладающий краевым эффектом. Подтверждением полученных результатов расчетов преобразователя стало создание вихретокового дефектометра ДПД-2Н с комплектом накладных вихретоковых преобразователей, которые не обладают краевым эффектом.

Работа была представлена во II туре Всеукраинского конкурса научных студенческих работ в отрасли «Приборостроение», награждена дипломом III ступени.

Руководитель: Мирошников В.В., *проф.*

## Контроль концентрации $H_2S$ , $CO_2$ газов в геотермальной энергетике

Кулдашов О.Х., докторант  
Ферганский политехнический институт, г. Фергана

В последние годы все большее внимание привлекают проблемы использования чистых нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ) для нужд энергоснабжения различных сельскохозяйственных и промышленных объектов. Актуальность и перспективность данного направления энергетики обусловлена двумя основными факторами: катастрофически тяжелым положением экологии и необходимостью поиска новых видов энергии.

На сегодняшний день развивается геотермальная энергетика, поскольку прогнозные геотермальные ресурсы на доступных глубинах (до 5-6 км) в 4-6 раз превышают ресурсы углеводородов. Главными потребителями геотермальные ресурсы на ближайшую и отдаленную перспективу в Узбекистане, несомненно, будут теплоснабжение и, в значительно меньшей мере, выработка электроэнергии. Геотермальные ресурсы имеют несколько составляющих: их можно рассматривать одновременно как источник электрической и тепловой энергии и как источник ценных химических соединений: аморфный кремнезем, В, Li, Zn, Mn, HS, NaCl, геотермальные газы  $H_2S$ ,  $CO_2$ .

Данные по химическому составу геотермальных ресурсов показывают наличие в них геотермальных газов ( $H_2S$ ,  $CO_2$ ) [1], контроль концентрации которых значительно облегчает их освоения и поиск новых источников минерального сырья. Как известно в диапазоне 1,7 - 4,8 мкм находятся интенсивные линии поглощения геотермальных газов  $CO_2$ ,  $H_2S$ . Развитие оптоэлектроники и её элементной базы, создание новых высокоэффективных полупроводниковых источников излучения создают предпосылки для разработки высокочувствительных и точных, надежных приборов для контроля концентрации геотермальных газов ( $H_2S$ ,  $CO_2$ ). В данной работе предложено устройство для контроля концентрации геотермальных газов. Устройство для контроля геотермальных газов содержит источник питания, генератор прямоугольных импульсов с двумя противофазными выходами, к одному выходу которого подключен делитель частоты (последовательный счетчик), выход которого через одновибратор соединен с управ-

ляющим входом модулятора экспоненты, эмиттерный повторитель, два электронных ключа, излучающие диоды рабочий и опорный, излучающие на опорной и рабочей длинах волн соответственно, газовую камеру, фотоприемник, соединенный с первым дифференцирующим устройством, выход которого через пороговое входом схемы совпадений, первый вход которой подключен к выходу второго дифференцирующего устройства, вход которого соединен с излучающим диодом, счетчик, счетный вход которого соединен с выходом схемы совпадений, а его вход “установка нуля” соединен с выходом одновибратора. Газовую камеру облучают двумя потоками излучения  $\Phi_{0\lambda_1}$  и  $\Phi_{0\lambda_2}$  на опорной  $\lambda_1$  и рабочей  $\lambda_2$  длинах волн соответственно. Прощедшие через газовую камеру потоки излучения будут равны соответственно:

$$\Phi_{\lambda_1} = \Phi_{0\lambda_1} e^{-kLN_1}, \quad \Phi_{\lambda_2} = \Phi_{0\lambda_2} e^{-kLN_1} \cdot e^{-k_2LN_2}, \quad (1)$$

где  $\Phi_{0\lambda_1}$  и  $\Phi_{0\lambda_2}$  – подающие на газовую камеру потоки излучения на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  соответственно,  $\Phi_{\lambda_1}$ ,  $\Phi_{\lambda_2}$  – потоки излучения после прохождения через газовую камеру на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  соответственно,  $N_1$  – концентрация смеси газообразных веществ,  $L$  – длина оптического пути, т.е. длина газовой камеры,  $N_2$  – концентрация определяемого газообразного вещества,  $K_1$  – коэффициент рассеяния смеси газообразных веществ,  $K_2$  – коэффициент поглощения определяемых газообразных веществ.

В момент равенства потоков  $\Phi_{\lambda_1}$  и  $\Phi_{\lambda_2}$

$$\Phi_{0\lambda_2} e^{-k_2LN_2} = A e^{-\frac{t_c}{\tau}}, \quad N_2 = \frac{1}{K_2 L_\lambda} \cdot t_c, \quad (2)$$

где  $t_c$  – время, соответствующее моменту сравнения,  $\tau$  – постоянная времени экспоненты. Генератор прямоугольных импульсов вырабатывает импульсы с необходимой частотой повторения. Эти импульсы с противофазных выходов поступают на вход делителя частоты и на управляющие входы ключей. Прямоугольные импульсы с выхода делителя частоты (рис. 1.а) поступают на вход одно- вибратора.

Прямоугольные импульсы с необходимой длительностью с выхода

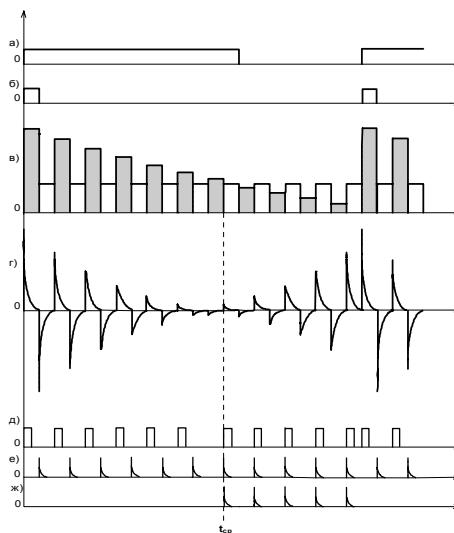


Рисунок – 1 Временные диаграммы поясняющие работу устройства

выхода одно вибратора экспоненты, выход которого соединен через эмиттерный повторитель с выходом электронного ключа, где формируется дискретный экспоненциальный импульс тока, который протекает через излучающий диод, вызывает поток излучающий по такому же закону. Противофазно заполняющим экспоненту импульсам переключаются электронный ключ протекающий через излучающий диод импульс тока вызывает световой поток, амплитуда которого постоянна.

Прошедшие через газовую камеру потоки воспринимаются фотоприемником. На рис.1в изображена временная диаграмма суммарного фотоэлектрического сигнала на выходе фотоприемника. Этот сигнал подается на вход первого дифференцирующего устройства, с выхода которого продифференцированный фотоэлектрический сигнал (рис.1г) поступает на вход порогового устройства. Далее сигнал с выхода порогового устройства (рис.1д) подается на один из входов схемы совпадения. На другой вход схемы совпадения подается сигнал с выхода второго дифференцирующего устройства (рис.1е). С момента сравнения  $t_c$  на выходе схемы совпадений появляется серия импульсов, которые поступают на счетный вход счетчика (рис.1 ж). В начале следующей экспоненты на вход “Установка нуля” счетчика поступают прямоугольные импульсы с выхода одно вибратора и счетчик подготавливается. По показаниям счетчика можно определить концентрацию геотермальных газов ( $H_2S$ ,  $CO_2$ ).

1. В.В. Потапов и др. Процессы тепломассопереноса при комплексном использовании геотермальных ресурсов (П-Камчатский: Камчат ГТУ, 2005. – 136 с.).

## Улучшение акустических характеристик ультразвуковых измерительных систем

Заика В.М., *асп.*

Черкасский государственный технологический университет,  
г. Черкассы

Пьезоэлектрические преобразователи широко используются в ультразвуковой измерительной технике. Весьма перспективным является использование пьезоэлектрических преобразователей в электроакустике.

Электроакустические преобразователи применяются для работы в воздушной среде (системы охраны, измерительная техника), в воде (локаторы, эхолоты, подводная связь) [1].

Автором разработана и исследована конструкция ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя, которая представляет собой двухконтурную колебательную систему, состоящую из электромеханической колебательной системы – биморфного пьезоэлемента 1 и акустической (механической) колебательной системы – резонатора Гельмгольца 2 (рис. 1, а), а также построена его диаграмма направленности (рис. 1, б).

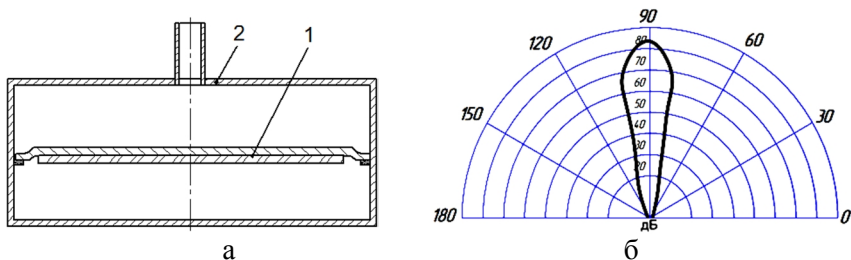


Рисунок – 1 Конструкция (а) и диаграмма направленности (б) пьезоэлектрического электроакустического преобразователя

За счет концентрации звуковой энергии разработанный ультразвуковой преобразователь увеличивает акустическую мощность и повышает дальность распространения звука в направлении акустической оси.

1. V. Sharapov *Piezoceramic sensors* (Springer Verlag: 2011, 498 p.).

## Экспресс-анализатор пищевых продуктов

Полетаев Д.А., доц.; Соколенко Б.В., ассист.

Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского,  
г. Симферополь

Сегодня качество и состав пищевых продуктов тестируется либо в специализированных лабораториях, либо «на глазок». Первый вариант подразумевает длительность процедуры проверки, второй – явную субъективность.

Как осуществить осознанный выбор, руководствуясь строгими количественными показателями для исключения вероятности употребления просроченных и явно испорченных товаров?

Целью работы является поиск явных количественных критериев и разработка малогабаритного устройства для проведения экспресс-анализа продуктов питания.

В качестве критерия предлагается проводить детектировать посторонние газы вблизи продуктов питания. Так, процесс брожения вызывает активное выделение метана [1].

Современные полупроводниковые технологии включают ряд датчиков, регистрирующих наличие того или иного газа. Современные микроконтроллеры позволяют обрабатывать и выводить информацию [2]. Такая совокупность микроэлектронных устройств и соответствующее программное обеспечение позволяют создать компактный диагностический комплекс, который может быть встроен в мобильный телефон для постоянного применения и контроля продуктов питания.

Данная разработка может применяться путешественниками, в домашнем хозяйстве, в пищевой и легкой промышленности.

В настоящее время разрабатывается действующий прототип устройства.

1. К.Н. Steinkraus, *Handbook of indigenous fermented foods* (New York: Marcel Dekker: 1995).
2. К. Фрике, *Курс цифровой электроники* (Москва: Техносфера: 2004).

## Piezoelectric transducers sound based on bimorph elements

Sharapov V.M., *Dr. Tech. Sc., Professor*, Sotula Zh. V., *Ph. Dr.*  
Cherkasy State Technological University, Cherkasy

Piezoelectric transducers are widely used in underwater acoustics, electroacoustics in ultrasound, medical and measuring equipment. The methods of improvement of descriptions of piezoelectric acoustic transducers are considered in this work [1]. To reduce the resonance frequency of the easiest way is to increase the size of piezoelectric element, however, this method has its limitations and technological constructive. Compound piezoelectric element with the metal plate with a piezoelectric element or piezoelectric element or other piezoelectric elements with two metal plate leads to a decrease of the flexural oscillations and by an order or increasing resonant frequencies. Reduce the resonant frequency for the symmetric bimorph element can be achieved if you move relative to one another piezoelectric elements (Fig. 1).

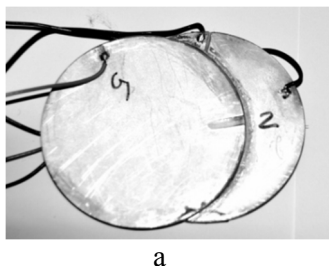


Fig. 1 – Symmetric bimorph element with a shift piezo elements (a) and the amplitude-frequency characteristics (b)

As can be seen from Fig. 1, the use of the bimorph piezoelectric element could substantially reduce the resonant frequency of the transducer[2].

1. Sharapov V. *Piezoceramic sensors* (Springer Verlag, 2011, 498 p.).
2. Sharapov V., Sotula Zh., Kunickaya L. *Piezo-Electric Electro-Acoustic Transducers* (Springer Verlag, 2014, 230 p.).

**Метод бестормозных испытаний пневматических двигателей**

Фоминых А.М., асп.; Егоров А.В., доц.

Поволжский государственный технологический университет,  
г. Йошкар-Ола

Реализация энергоэффективного метода определения механической мощности, развиваемой вращающейся пневматической машиной, определения пневмодинамического момента, который приложен к ее вращающейся части и играет решающую роль в процессе преобразования энергии, происходящем в пневматической машине.

Предлагаемый способ позволяет избежать использования тормозных испытаний за счет бестормозного определения момента инерции. Он реализуется путем записи угловых ускорений при запуске двигателя без нагрузки и с нагрузкой с известным моментом инерции. Затем из полученных данных определяется крутящий момент, момент инерции, механическая мощность.

Таким образом, используя один диск с эталонным моментом инерции можно определить момент инерции пневматического двигателя, а после этого и параметры скоростной характеристики пневматического двигателя, что позволит значительно повысить экономическую эффективность испытаний.

При проведении измерений предлагаемым методом увеличивается точность получаемых результатов. Метод является бесконтактным поэтому имеет высокую энергоэффективность.

1. Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Филинов В.Н. *Машиностроение*. Энциклопедия в 40-ка томах. Т. III-7. Измерения, контроль, испытания и диагностика, 2005-464с.;
2. Лоскутов А.С., Григорьев А.Н., Кожин Д.В. *Испытания двигателей внутреннего сгорания*. Учебное пособие. Йошкар-Ола, Марийский государственный технический университет, 2007-136с.



## Аналіз вимог до розробки сучасних космічних приладів

Омельяненко В.А., *асп.*

Сумський державний університет, м. Суми

Сьогодні космічні дослідження можуть проводитися або прямим методом – з використанням автоматичних або пілотованих космічних літальних апаратів, що посилаються у досліджувані області, або шляхом дистанційних спостережень. Фінансово-економічні вимоги обумовлюють необхідність створення міні-, мікро- і наносупутників з низькою вартістю та коротким часом підготовки, що стимулює створення нового покоління бортових наукових приладів з низькими масою та споживанням потужності, але з високим рівнем метрологічних параметрів. У випадку датчиків фізичних величин ситуація ускладнюється, оскільки спроба їх мініатюризації з одночасним підвищенням рівня метрологічних параметрів має потребу в залученні досягнень також у матеріалознавстві, виробничих технологіях і вимагає серйозного теоретичного та експериментального обґрунтування.

При створенні космічних апаратів нових типів постає завдання оптимізації елементної компонентної бази приладобудування, в процесі чого необхідно враховувати два основних фактори:

– стійкість до накопиченої радіаційної дози; Для космічних апаратів на низьких орбітах зі строком активного існування до 5 років досить інтегральної стійкості (електрони та протони) до накопиченої дози на рівні 100 крад.

– захищеність від тиристорного ефекту; Тиристорний ефект найбільше проявляється при проектних нормах на рівні нижче 0,5-0,35 мкм. Є наслідком впливу високоенергетичних часток, і тому мікросхеми космічного застосування повинні мати межу стійкості на рівні 60  $\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$  і вище [1].

Тому при розробці приладів та виборі елементної компонентної бази необхідно враховувати її функціональні можливості, вартість, доступність та строки існування на ринку, надійність і стійкість до впливу факторів космічного простору.

1. А.С. Басаев, В.Ю. Гришин, *Електроніка: наука, технологія, бізнес* 8, 4 (2009).

## Контролирующий оптимизатор беговой нагрузки

Цапик Д.К., студ.; Коломийцева А.В., студ.;

Шиканова Ю.А., студ.; Полетаев Д.А., доц.

Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского,  
г. Симферополь

Современный человек старается следить за своим здоровьем. Простейший способ поддержания тонуса мышц – это бег [1]. Люди бегают утром, вечером, в обеденный перерыв. Существует множество приборов, которые позволяют контролировать расстояние и нагрузку. Но ни один из них не позволяет давать рекомендации по наиболее оптимальному темпу бега, оценивать реальную нагрузку, с учетом рельефа местности.

Целью работы является разработка программно-аппаратного комплекса, проводящего мониторинг физиологических показателей человека, анализирующего и накапливающего данные, выводящего подробную статистику, позволяющий оценивать состояние человека, грамотно планировать суточную нагрузку, давать рекомендации по оптимизации нагрузок, сравнивать показатели различных субъектов.

Аппаратная часть устройства состоит из комплекса датчиков, которые измеряют пульс человека, фиксируют количественные показатели его беговой активности: число шагов (прыжков) в единицу времени, общее число шагов, пройденное расстояние, постановку стопы при беге, частоту сокращений мышц и микроконтроллерного устройства управления [2]. При этом предусмотрена возможность учета рельефа (спуск, подъем) местности для расширения спектра снимаемых характеристик. При этом данные записываются на носитель информации (флеш-карта) либо на мобильное устройство.

Программная часть считывает сохраненные данные, проводит их анализ и выдает итоговые результаты: статистические данные по бегу (общее расстояние, количество километров в день, темп, нагрузка). Предполагается разработка специализированных веб-сервисов для демонстрации полученных результатов и обмена опытом.

1. Т. Гутос, *История бега* (Москва: Текст: 2011).
2. К. Фрике, *Курс цифровой электроники* (Москва: Техносфера: 2004).

## Способ и устройство для картографирования уровня загрязненности среды

Полетаев Д.А., доц.; Соколенко Б.В., ассист.; Цапик Д.К., студ.  
Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского,  
г. Симферополь

Воздух в больших городах загрязнен выхлопными газами, отходами промышленных производств [1]. Полностью очистить атмосферу на сегодняшний день, к сожалению, не удастся. Однако можно обозначить наиболее загрязненные участки для привлечения внимания общественности, наглядно демонстрируя наличие экологических проблем. Кроме того, это позволит более рационально планировать движение транспортных средств и пешеходных маршрутов.

На сегодняшний день существуют карты загрязнений местности, однако они обновляются довольно редко и строятся в глобальных масштабах области (региона).

Целью работы является разработка программно-аппаратного комплекса по мониторингу чистоты воздуха на наличие загрязнений (выхлопные газы, радиоактивное загрязнение, выбросы предприятий) и картографирования местности.

В качестве основы предлагается выбрать передвижную платформу, типа аппарата для съемок Google-панорам улиц городов. В качестве базовых датчиков планируется установка сенсоров задымленности, концентрации  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , радиоактивного загрязнения, биологического загрязнения. Микроконтроллерная система [2] обрабатывает сигналы с датчиков, накапливает и усредняет данные и передает их на центральный сервер, который помечает соответствующим цветом на карте, согласно условным обозначениям. Возможно использование существующих веб-сервисов (например, Google maps).

1. Ю.Д. Бойчук, Е.М. Солошенко, О.В. Бугай, *Екологія і охорона навколишнього середовища* (К.: Княгиня Ольга: 2005).
2. К. Фрике, *Курс цифровой электроники* (Москва: Техносфера: 2004).

## Схемотехника приставки для электрогитары «Distortion 250»

Морозова А.И., студ.; Бондарева Е.С., студ.; Сорокопудова Ю.В., студ.; Колесникова Я.Н. студ.

ВГАОУ ВПО НИУ «БелГУ», г. Белгород

Distortion – звуковой эффект, достигаемый искажением сигнала путём его «жёсткого» ограничения по амплитуде, или устройство, обеспечивающее такой эффект. Эффект distortion, как компонент, присутствует в синтезаторах, эффект-процессорах и компьютерных программах для обработки звука.

В основе эффекта лежит свойство транзисторных усилителей вносить нелинейные искажения в сигнал, особенно если тот близок к максимально возможному для конкретного усилителя. Однако выходной сигнал имеет сложную зависимость спектральных компонент от амплитуды и спектрального состава входного [1].

Существует большое разнообразие как аналоговых, так и цифровых схем, эмулирующих различные варианты «перегрузки» усилителей. "Классическая" конструкция гитарного искажителя такова: сигнал от гитары попадает на вход усилителя, который "раскачивает" гитарный сигнал с приблизительно 200 мВ до 2...5 В. Коэффициент усиления регулируется ручкой Gain или Distortion. Частотная характеристика усиления, как правило, нелинейная, и обычно, - нерегулируемая.

Целью работы стало исследование преобразования сигнала при помощи «Distortion 250» и описание этих преобразований.

В процессе изготовления печатной платы проводились следующие манипуляции: разводение дорожек платы; предварительная подготовка заготовки (очистка поверхности, обезжиривание); нанесение защитного покрытия; удаление лишней меди с поверхности платы (травление); очистка заготовки от защитного покрытия; сверление отверстий, покрытие платы флюсом, лужение. Для травления платы использовался раствор хлорного железа. Процесс травления в этом растворе занял 15 минут.

Для разводения дорожек платы было использовано программное обеспечение AltiumDesigner 10.

Ниже (рис. 1) представлена принципиальная схема приставки.

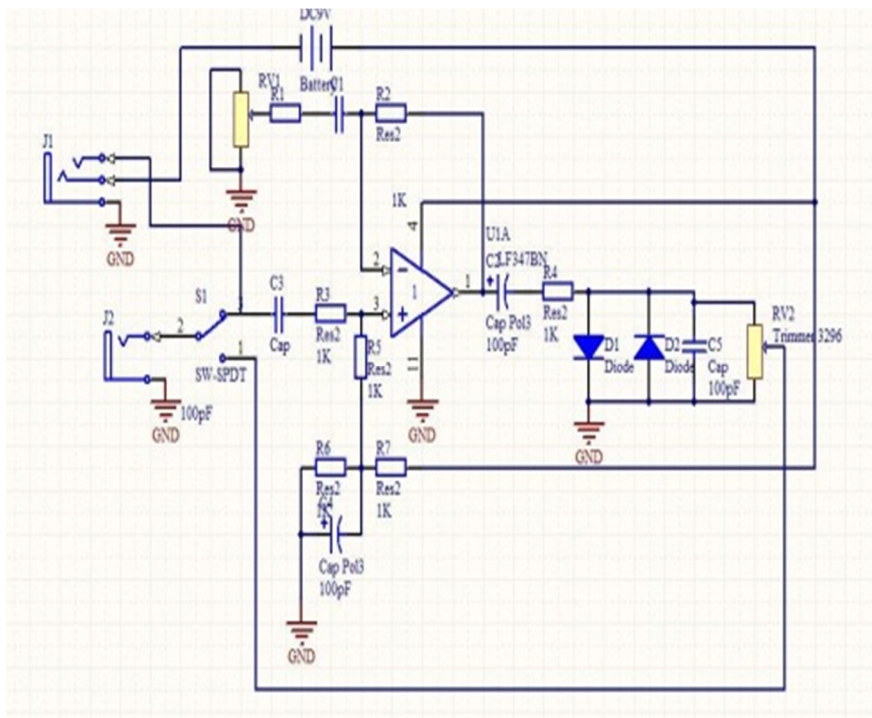


Рисунок 1 – Принципиальная схема приставки «Distortion 250».

При подключении гитарных шнуров к входу и выходу «Distortion 250» цепь замыкается. Сигнал со входа попадает на фильтры частот (рис. 2), стоящие перед операционным усилителем (U1A), после этого сигнал поступает в операционный усилитель, подключенный неинвертирующим способом как дифференциатор, в котором усиливается в нужное число раз. Для включения операционного усилителя в цепь используют емкость коррекции C2, которая пропускает только переменный ток, убирая его постоянную составляющую. Она предназначена для компенсации фазового сдвига, вызванного RC-цепочкой, образованной входной емкостью усилителя и сопротивления обратной связи R2. Если операционный усилитель работает на большую емкостную нагрузку, то выходной каскад может вносить дополнительный сдвиг фазы, вызывающей неустойчивость. Для ослабления этого сдвига нагрузка развязывается от усилителя резистором R1. Диффе-

ренциальный каскад на входе (C3, R3, R5) содержится для того, чтобы производить все виды аналоговых вычислительных операций. Для этого требуется подать смещение на один из входов дифференциального каскада. Оно подается от делителя напряжения (R6, R7). Переменный резистор RV1 используется для регулировки коэффициента усиления.

Далее сигнал из микросхемы поступает на диоды, которые отвечают за ограничение сигнала. Это обычно достигается встречно-параллельным включением кремниевых диодов в цепь операционного усилителя с отрицательной обратной связью. Диоды включаются встречно-параллельно и замыкают выход операционного усилителя на землю. Следом сигнал поступает на выходной конденсатор C5, выступающим в роли фильтра, далее проходит на переменный резистор RV2, который регулирует выходное напряжение.

Работа примочки была проверена на практике, к ней была подключена электрогитара. При извлечении звука с использованием «Distortion 250» наблюдался, как и предполагалось, перегруженный звук. В зависимости от положения ручки потенциометра RV1 изменялась степень «перегруза», а положение ручки RV2 меняло громкость звука.

«Distortion 250» преобразует сигнал и меняет его амплитуду. В зависимости от положения ручки потенциометра RV1 изменяется степень «перегруза» - меняется амплитуда поданного сигнала, а положение ручки RV2 меняет громкость звука, то есть обрезает уже обработанный сигнал. Приставка проста в изготовлении, и может заменить дорогостоящие аналоги.

Руководитель: Алейников А.Ю., *руководитель Студенческого конструкторского бюро инженерно-физического факультета ВГАОУ ВПО НИУ «БелГУ»*

1. П. Шкритек. Справочное руководство по звуковой схемотехнике (М.: Мир: 1991).

## Microprocessor electronics in space instrument making

Alferyev I.S., *stud.*, Mochalov A.V., *Prof.*, Fedyuk R.S., *post graduate stud.*, Danilenko V.V., *stud.*; Mironov K.K., *stud.*

Far Eastern Federal University

Volumes of information processed on board the spacecraft (SC) is constantly growing, the algorithms of the onboard systems - complicated. Therefore, a need for new solutions in the field of system architecture SC. Operating conditions are very complex spacecraft: overload when starting, temperature, radiation, and other negative factors of outer space, as well as the inability to repair a running companion, require onboard equipment reliability and survivability. Architecture used today onboard control systems and data do not satisfy in full all these requirements [1]. Need a new concept of architecture - board information and control systems of spacecraft, which provides high functionality and reliability of such systems.

Currently, some progress in the field of micromechanics, micro, nano-processor and information technologies make it possible to design and create a new type of information processing systems and management - intelligent. This type of system is especially important in mechatronics as design of mechanical systems and their control systems should be carried out as a single unit - integrated systems. It should be borne in mind that some problems can be solved easily and in physical samples in other "information" samples – micro - controllers, however combined information process, including realized in software. Modern mechatronics is considered as the science of building intelligent machines. It was preceded by extensive experience of interconnecting mechanical devices, radio -and optoelectronics, analog and digital computing facilities in the complex systems of various purposes. The components of these systems are separate units that are connected using different converters (DAC, ADC) and other interfacing devices. [2]

1. Kostkin M., Pozdnjakov P., Popovich A. *Electronics: Science, Technology, Business*, **4**, 86 (2008).
2. Pupkov K.A. Advances in micromechanics, micro, nano-processor and information technologies make it possible to design and create a new type of information processing systems and management - smart [electronic resource]. Access address: <http://ihst.ru/~akm/36t17.pdf>.

## Разработка цифрового стетофонендоскопа

Газизов А.Т., студ.;

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Медицинский стетофонендоскоп – это устройство, предназначенное для выслушивания внутренних органов человека. Акустическому стетофонендоскопу присущи многие недостатки. Результаты аускультации являются субъективными, так как зависят от опыта и умения врача. Звуки низкой частоты воспринимаются ухом человека тише, чем высокой, в связи с чем, они могут быть не услышаны вовсе, однако именно звуки нижних частот преобладают в сердечной жизнедеятельности и являются важными при аускультации.

Перечисленные недостатки обходит цифровой стетофонендоскоп. На данный момент существуют лишь дорогостоящие приборы зарубежного производства, более того, автору не известны русскоязычные статьи по заявленной проблеме. Таким образом, целью проекта стала разработка цифрового стетофонендоскопа, обладающего хорошими характеристиками и относительно низкой стоимостью.

Разработанный стетофонендоскоп предназначен для выявления звуковой составляющей жизнедеятельности сердца и легких с возможностью выделения интересующих частот. С помощью специального программного обеспечения звук на компьютере визуализируется. Таким образом, врач получает фонокардиограмму, что позволяет немедленно объективизировать данные, полученные при аускультации. В то же время разработанная программа позволяет врачу получить частотный спектр тонов и шумов сердца.

В ходе работы разработан и изготовлен лабораторный макет цифрового медицинского стетофонендоскопа. Проведены первые испытания, показавшие, что прибор надежно разделяет сердечные тоны, а программа работает отлажено. Ведутся работы по усовершенствованию и доработке разработанного макета цифрового стетофонендоскопа в связи с возможностью создания более дешевого аналога по сравнению с существующими устройствами.

Руководитель: Алейник А., доц.



## Радіолокаційно–вихрострумний метод виявлення металів

Абрамович А.О., студ.; Товкач І.О., студ.  
НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Сучасний георадар – це складний геофізичний прилад для неруйнівного контролю неоднорідностей середовища.

В основі роботи георадара лежить підповерхнєве зондування - явище відбивання електромагнітної хвилі від межі поділу шарів з різною діелектричною чи магнітною проникністю. Такими межами є локальні неоднорідності різної природи. Георадари з великою вірогідністю визначають цю неоднорідність та глибину її залягання, але не можуть визначити склад неоднорідності, наприклад, це сталь чи золото. Тому виникла необхідність у створенні георадара без цього недоліку.

У розробленому георадарі поєднано переваги радіолокаційного та вихрострумного методів ідентифікації неоднорідностей в одній системі, що дозволило підвищити вірогідність виявлення, та провести класифікацію типу виявленого металу [1] (рис. 1).

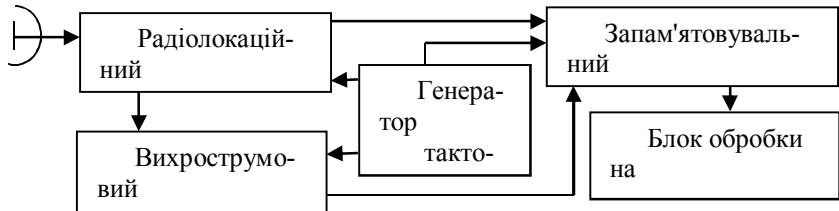


Рисунок 1 – Структурна схема радіолокаційно-вихрострумного георадара

Таким чином, поєднавши переваги радіолокаційного та вихрострумного методів обробки сигналів, вдалося створити прилад, в основу функціонування якого покладено новий метод виявлення сигналів, який відкриває шлях до розробки та застосування гібридних систем у геолокації.

1. Jol M. H. Ground Penetrating Radar Theory and Applications / H. M. Joy. - Oxford GB.: Elsevier B.V., 2009. - 574с. - ISBN: 978-0-444-53348-7.

## Побудова мікросмужкових фільтрів на основі фракталів

Фурманова Н.І., *асист.*

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

Мікросмужкові конструкції фільтрів характеризуються мініатюрністю, технологічністю, а також просто інтегруються з іншими елементами радіосхем.

Використання топологій на основі фракталів при проектуванні мікросмужкових смугопр пропускаючих фільтрів дозволяє отримати конструкції з додатковими перевагами, такими як широкосмуговість, відсутність паразитної смуги пропускання на частоті, кратній центральній частоті смуги пропускання тощо за рахунок скейлінгових ефектів[1, 2].

Під фракталом розуміють геометричну фігуру, що має властивості самоподібності, тобто складається з декількох частин, кожна з яких подібна всій фігурі повністю. Прикладом побудови фракталу може служити трикутник Серпинського (рис. 1).



Рисунок 1 – Трикутник Серпинського: нульова (а), перша (б), друга (в) та третя (г) ітерації

На основі трикутника Серпинського може бути спроектований мікросмужковий смугопр пропускаючий фільтр з двома смугами пропускання. Так, в результаті проведених розрахунків та моделювання в системах електромагнітного аналізу електронних пристроїв нами було запропоновано конструкцію двосмугового фільтра з центральними частотами 8,1 та 12,2 ГГц та смугами пропускання в 7,3 та 2,8% відповідно.

1. I.K. Kim, N. Kingsley, et al., *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* **53** No9, 2943 (2005).
2. R.N. Baral, P.K. Singhal, *Radioengineering.* **17** No4, 34 (2008).

## Електронна система автоматичної реєстрації термоелектричних сенсорів

Кілиб О.С., студ.; Опанасюк Н.М., доц.  
Сумський державний університет, м. Суми

У наш час актуальною є проблема автоматизації фіксування результатів вимірювання термоелектричних сенсорів (наприклад, термопар) під час проведення досліджень різного плану. Деякі серійні пристрої, які виконують дану функцію, надають можливість проведення вимірів через фіксовані проміжки часу і дозволяють зберігати результати у внутрішню пам'ять з послідуною передачею на комп'ютер користувача. Недоліками таких пристроїв є висока ціна і реалізація обміну даними через RS-232, який рідко зустрічається на нових комп'ютерах непромислового призначення.

Мета даної роботи полягає у розробці пристрою на базі мікроконтролера для реєстрації показань різних типів термопар та передачі даних через інтерфейс USB на персональний комп'ютер. Була підібрана модель мікроконтролера, яка задовольняє необхідним вимогам для виконання завдання – однокристальний контролер компанії Atmel, ATmega48PA. Він має вбудований датчик температури для компенсації холодного спаю, достатню швидкодію для підтримки USB і досить дешевий.

Було розроблено пристрій для автоматизованої фіксації температури за допомогою різних типів термопар з можливістю регулювання точності і діапазону вимірюваних температур. Також реалізована підтримка широко розповсюдженого інтерфейсу USB для обміну даними з персональним комп'ютером.

Створено програмне забезпечення для мікроконтролера і для персонального комп'ютера. Поточна версія може працювати у операційних системах Windows і потребує встановлення драйвера lib-usb та .NET Framework 4 для своєї роботи. У подальшому є можливість модифікації програмного забезпечення, яка дозволить відмовитися від встановлення драйвера і додаткового ПО, а також, надасть можливість працювати у операційних системах GNU/Linux.

Отриманий пристрій може бути використаний для фіксації показань термопари при проведенні досліджень.

## Електричні властивості матеріалів контактів на основі плівок Fe і Ge

Власенко О.В., асист.; Кошіль О.П., студ.;  
Одноворець Л.В., доц.  
Сумський державний університет, Суми

За допомогою омичних невідпрямних контактів, від якості яких в значній мірі залежать характеристики, надійність і ресурс роботи мікроелектронних приладів, відбувається електричне з'єднання напівпровідників (НП) з металевими (Me) елементами і провідниками. Основною характеристикою омичного контакту є його опір на квадрат площі, який складається із послідовно з'єднаних опорів: приконтактної області НП та пов'язаного із проходженням електронами потенціального бар'єру. Авторами [1] було показано, що в сплавних омичних контактах Me/НП у процесі термообробки відбуваються розчинення НП в Me, рекристалізація та можливий прояв механізму протікання струму по металевим шунтам, які являють собою атоми метала, що осаджуються в місцях концентрації дефектів (наприклад, дислокацій), і закорочують шар об'ємного заряду. При цьому на краях таких ліній концентрується електричне поле і струм протікає за рахунок польової емісії.

Для отримання двохшарових плівкових зразків Fe/Ge/П (П – підкладка) використовувалася вакуумна установка типу ВУП-5М. Пошарова конденсація і термовідпалювання плівкових систем здійснювались терморезистивним методом при температурі ситалової підкладки  $T_n \cong 300$  К і відпалювання до  $T_g \cong 900$  К протягом трьох термостабілізаційних циклів «нагрів  $\leftrightarrow$  охолодження». Термічний коефіцієнт опору (ТКО) був розрахований на основі третього термостабілізаційного циклу за співвідношенням:

$$\beta = \frac{1}{R_0} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T}$$

де  $R_0$  – початковий опір зразка;  $\Delta T$  – температурний інтервал.

Кристалічна структура і фазовий склад зразків досліджувався методами електронної мікроскопії та електроннографії (прилад ПЕМ-125К). Вольт-амперні характеристики двохшарової системи були вивчені на основі електричної схеми, наведеної на рис.1.

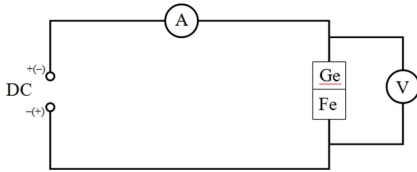


Рисунок 1 – Принципова електрична схема для зняття вольт-амперної характеристики омичного контакту

Дослідження структури і фазового складу двошарових плівок на основі Fe і Ge при загальній концентрації атомів феромагнітної компоненти від 65 до 70 ат. % (наприклад, у плівці Fe(30)/Ge(25)/П концентрація  $c_{\text{Fe}} \approx 70$  ат.%) вказують на те, що омичні контакти у вигляді плівок у відпаленому стані мають кристалічну структуру (ОЦК-Fe + ГЦК-FeGe та сліди  $\text{GeO}_2$ ).

Розрахунок опору омичного контакту Fe/Ge/П проводився на основі співвідношення:

$$R_c = \frac{(\rho + \beta T)W}{\pi r^2 p},$$

де  $\rho \sim 10^{-7}$  Ом·м – питомий опір металу при  $T \rightarrow 0$ ;  $\beta \cong 6 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ;  $W \cong 1$  нм – ширина шару об'ємного заряду;  $p \cong 2,1 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-2}$  [2] – густина дислокацій у плівці Ge, на яких можуть адсорбуватись атоми Fe. Отримано, що для системи Fe/Ge/П величина опору контакту складає  $R_c = 3,8 \cdot 10^{-1} \text{ Ом/м}^2$ , що дозволить такому матеріалу не впливати на величини параметрів електронних елементів і приладів.

Таким чином, у роботі запропоновано застосування методу пошарової конденсації із наступним відпалюванням в інтервалі температур 300 - 900K для формування омичних контактів на основі плівок Fe і Ge. Отримані наступні параметри контактної системи метал/напівпровідник: величина опору на квадрат площі  $3 \cdot 10^{-5} \text{ Ом/см}^2$ , термічний коефіцієнт опору  $6 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$  та симетричні лінійні вольт-амперні характеристики.

Робота виконана в рамках держбюджетної тематики №0112U001381 (2012 - 2014 рр.).

1. Т.В.Бланк, Ю.А. Гольдберт, *ФТП* **41** (11), 1281 (2007).
2. S.B.Samavedam, T.A. Langdo, C.W.Leitz., *Appl. Phys. Lett.* **72**(14), 1718 (1998).

## Вплив магнітного поля на термічний коефіцієнт опору гранульованого плівкового сплаву

Гричановська О.А., асп.; Шамардін А.В., студ.;

Шумакова Н.І., доц.

Сумський державний університет, м. Суми

Відкриття явища гігантського магнітоопору в мультишарах стимулювало пошук і спостереження цього явища в інших плівкових системах, зокрема у т.зв. гранульованих сплавах (гс). Це спричинило дослідження інших фізичних властивостей гс і, зокрема, електро-фізичних (див., наприклад, [1]). У цій роботі наведено співвідношення для термічного коефіцієнту опору (ТКО) гранульованого сплаву ( $\beta$ ) у загальному і граничних випадках, коли коефіцієнт гранулярності  $\alpha = \Delta l_{mp} / r_0 \gg 1, \cong 1$  і  $\ll 1$  ( $\Delta l_{mp}$  - довжина фрагменту твердого розчину (тр) і  $r_0$  - радіус гранули із феромагнітного металу, які з'єднані послідовно у трубці струму тр). Мета даної роботи полягає у розробці феноменологічної теорії, яка якісно описує залежність чутливості  $\beta$  до магнітного поля (тобто величину  $S_B = \partial\beta / \partial B$ ) і дозволяє кількісно розрахувати залежність  $\Delta\beta_B = (d \ln \beta_{ec} / dB - d \ln \beta_{mp} / dB) = \beta_{ecB} - \beta_{mpB}$  від величини  $\Delta l_{mp}$  (або коефіцієнту  $\alpha$ ), де  $\beta_{ec}$  і  $\beta_{mp}$  - ТКО гранульованого сплаву і тр відповідно. Проаналізовані три вказаних вище граничних випадки. Отримано, що залежність  $\Delta\beta_B$  від  $\Delta l_{mp}$  має різний характер у залежності від величини  $\Delta l_{mp}$ . Зокрема, при  $\alpha \gg 1$  величина  $\Delta\beta_B$  монотонно зменшується від 10 до 2% при збільшенні  $\Delta l_{mp}$  від 8 до 160 нм при величині  $r_0 = 2 - 10$  нм. У випадку  $\alpha \cong 1$  величина  $\Delta\beta_B$  від 2,5 до 10%. Отримані результати пояснюються з точки зору впливу спин-залежного розсіювання електронів на феромагнітних гранулах. Крім того принципово показана можливість впливати на величину ТКО зовнішнім магнітним полем.

Робота виконана в рамках держбюджетної тематики №0112U001381 (2012 -2014 рр.).

1. Д.М. Кондрахова, Ю.М. Шабельник, О.В. Синашенко, І.Ю. Проценко, *Успехифиз. мет.* **13**(3), 241 (2012).

## **Influence of alternating low voltage component on field photoemission current forma semiconductor tip**

A. Zaporozhchenko<sup>1,2</sup>, *stud.*; S.A. Nepijko<sup>2</sup>, *Prof.*; G. Schönhense<sup>2</sup>, *Prof.*

<sup>1</sup> Sumy State University

<sup>2</sup> Institut für Physik, Johannes Gutenberg Universität Mainz

Field photoemission from semiconductors is of great interest, because in this case the emission current value can be influenced by different factors (light, temperature, etc.). Investigation of the mechanism of influence on field photoemission from semiconductors is an actual problem.

In this work we considered the influence of low alternating voltage of up to 100 V on the field photoemission process from a semiconductor tip under high voltage of 0.7-5.0 kV and photon excitation of 1.3 eV energy. Considered cathodes were made of high-resistivity silicon with p-type conductivity. The measurements were done in the frequency range 20 Hz to 10 MHz in vacuum of  $10^{-9}$  mbar. It was found that at application of low alternating voltage the emission current obtains an addition. The size of this addition can be effectively influenced by varying of the frequency of the low-voltage component.

Besides that, the influence of light, temperature and condition of the emitter surface on the emission process was investigated. Light illumination and heating of the emitter lead to generation of a larger number of free charge carriers (electrons) in semiconductor and change of field emission current, which can be either positive or negative. Due to the influence of the alternating voltage component, the field emission current can increase by 50%. The experimental results are in good qualitative agreement with the known theoretical models [1].

The work is done at the Institute of Physics of the Johannes Gutenberg University (Mainz, Germany) as a part of research grants of Ministry of Science of Ukraine for internships at leading foreign universities (2013-2014).

1. L.M. Baskin, O.I. Lvov, G.N. Fursey, *phys. status solidi (b)* **47**, 49 (1971).

## Быстродействующие синтезаторы частоты для широкополосных систем связи

Дольник А.Д., студ.

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт», г. Киев

Для синтезаторов частоты (СЧ) важнейшими параметром является быстродействие – скорость перестройки частоты СЧ [1]. В синтезаторах на основе однопетлевой ФАПЧ повышение разрешения приводит к снижению быстродействия, поскольку приходится снижать рабочую частоту фазового детектора (ФД) в петле обратной связи. Поэтому предложено использование многопетлевых схем ФАПЧ: в основной петле ФД функционирует на высокой частоте, обеспечивая повышение производительности, а во вспомогательной петле ФД работает на низкой частоте, что улучшает разрешение устройства.

Для обеспечения высокого быстродействия также применяются схемы DDS, поскольку скорость СЧ определяется только быстродействием цифровых узлов. Для синтезаторов DDS характерно значительное энергопотребление и ограниченный рабочий диапазон выходных частот [2], что ограничивает их использование в ШПС. Поэтому синтезаторы DDS эффективно используют в качестве вспомогательного элемента в схемах ФАПЧ.

Для сохранения преимуществ традиционной схемы ФАПЧ также предложена идея фазо-цифрового синтезатора PDS (от англ. Phase-Digital Synthesizer). Сигнал управления для петли ФАПЧ формируется многочастотным фазовым компаратором с расщеплением фаз опорного сигнала и сигнала от ГУН в множество сравниваемых в парциальных детекторах сигналов. Предложенная схема не содержит делителя частоты в петле ФАПЧ, наличие которого снизила бы быстродействие СЧ, что является эффективным решением для широкополосных систем.

Руководитель: Макаренко В.В., доц.

1. V. Koslov, *Microwave Product Digest* **10**, 16 (2010).
2. В. Макаренко, *ЭКУС* **11**, 24 (2012).



## **Прибор измерения механической мощности двигателя внутреннего сгорания инерционным методом**

Фоминых А.М., асп.; Егоров А.В., доц.

Поволжский государственный технологический университет,  
г. Йошкар-Ола

Реализовать систему бесконтактного измерения механической мощности и характеристик энергоэффективности работы узлов трения двигателя внутреннего сгорания, обеспечивающую возможность исследования без демонтажа двигателя из транспортного средства.

Сконструирован опытный образец стенда для бестормозных и без демонтажных испытаний двигателя автомашины ВАЗ-2112.

В качестве внешнего редуктора была применена КПП ВАЗ-2112 в сборе с левым валом привода, подключенная в обратном режиме. Левый вал, в сборе с внутренним и наружным ШРУС - ом, присоединяется к ступице одного из демонтированных ведущих колес с помощью переходника. Диск с эталонным моментом инерции устанавливается на входной вал КПП к которому подключается вал аналогового энкодера.

Решение проблемы основано на введение в систему вращающихся масс, тела, обладающего эталонным моментом инерции, и обеспечение равенства подводимых энергий в ДВС с топливом при свободном разгоне собственно двигателя и свободном разгоне двигателя, на вал отбора мощности, которого надето тело, обладающее эталонным моментом инерции. Такой же подход применим и для без демонтажных бестормозных испытаний двигателя, установленного непосредственно на транспортном средстве.

1. Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Филинов В.Н. *Машиностроение*. Энциклопедия в 40-ка томах. Т. III-7. Измерения, контроль, испытания и диагностика, 2005-464с.;

## Формування чутливих елементів датчика магнітного поля на основі Со та Си

Грибинаха В. І., студ.; Нагорний С.С., студ.  
Сумський державний університет, м. Суми

Не зважаючи на широку номенклатуру сучасних датчиків магнітного поля, актуальним залишається питання підбору чутливого елемента даного датчика для забезпечення бажаних робочих параметрів та необхідного терміну його експлуатації. Найбільш перспективними датчиками, що впевнено завойовують кожну область застосування, реалізовані на основі спін-вентильних структур.

Дослідження магніторезистивних властивостей чутливих елементів датчиків магнітного поля є основною процедурою на шляху до створення готового пристрою, оскільки дозволяє визначити доцільність його використання та конкретну область застосування (детектування сильних чи слабких магнітних полів).

У результаті виконання роботи були розроблені та отримані експериментальні зразки на основі спін-вентелів Со/Cu/Со/Cr/П двох типів: I - багатшарова плівкова система з фіксованою товщиною немагнітного шару Си 6 нм і магнітного шару Со 20 нм (нижній) та II - з товщиною магнітних шарів Со 6 нм (верхній) та 20 нм (нижній). Для цих систем характерно те, що функціональні елементи I-типу мають відносно низькі значення МО (0,05 - 0,29 %) та високі значення магнотчутливості  $S_v$  (4-10), а для II-типу характерні порівняно вищі значення МО (0,12 - 0,44 %) та меншу магнітну чутливість  $S_v$  (3-8).

За результатами дослідження робочих характеристик отриманих функціональних елементів датчиків магнітного поля на основі спін-вентельних систем можна стверджувати, що плівкову систему I-го типу доцільно використовувати в електронних схемах для швидкого детектування магнітного поля та виконання відповідних процесів переключень чи замикання/розмикання, а на основі системи II-го типу можлива реалізація стабільного датчику магнітних полів більш широкого діапазону (від 200 до 600 мТл).

Керівник: І.В. Чешко, ст. викл.

**СЕКЦІЯ 6**

**«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»**

## Piezoelectric transformer with parallel oscillatory circuit

Sharapov V.M., *Dr. Tech. Sc., Professor*, Bazilo K.V., *Ph. D.*  
Cherkasy State Technological University, Cherkasy

Piezoelectric transducers are widely used in electroacoustics, hydroacoustics, in ultrasound, medical, measurement technique, in scanning probe nanomicroscopes, piezoengines and in other fields of science and technology [1].

To create transducers with necessary characteristics the technology of additional elements can be used.

When connecting the parallel inductance  $L_{ad}$  to the piezoelectric transformer (PT) output, this inductance and capacitance between the electrodes  $C_o$  form a parallel oscillatory circuit  $L_{ad}C_o$ .

The amplitude-frequency characteristics (AFC) of the piezoelectric transformer based on the bimorph element of transducer ZP-19 and transformer with parallel inductance are shown in Fig. 1.

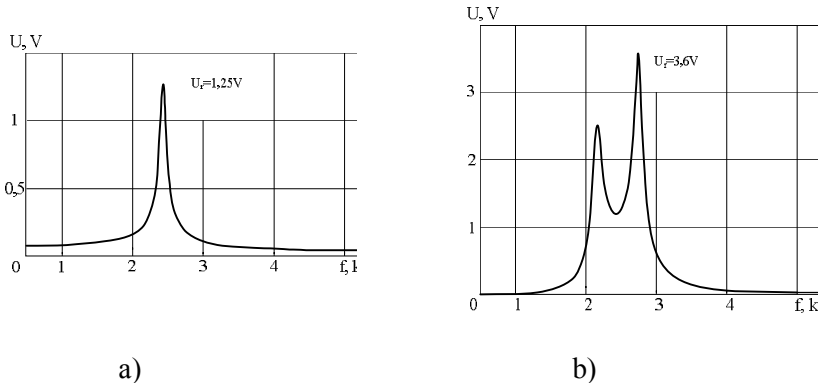


Fig. 1 – AFC of the piezoelectric transformer without (a) and with parallel inductance (b)

As can be seen from Fig. 1, the application of the parallel inductance allowed raising the output signal level and expanding a bandwidth.

So, a parallel oscillatory circuit can be used for more effectively energy transfer from the piezoelectric transformer to the load.

1. Sharapov V. *Piezoceramic sensors*. Springer Verlag, 2011, 498 p.

## **Підвищення ефективності роботи блоків живлення комп'ютерів за допомогою суперконденсаторів**

М. А. Устюгов, *студ.*; Б. М. Коперльос., *доц.*  
ДВНЗ «Ужгородський Національний Університет», м. Ужгород

Система електроживлення являє собою один із найменш надійних вузлів персонального комп'ютера, оскільки без нього не зможе працювати жоден комп'ютерний блок. Тому для забезпечення стабільної роботи комп'ютера необхідно проаналізувати причини відмов нормального функціонування блоків живлення та розробити і запропонувати для експлуатації такі електронні схеми, які забезпечать високу надійність роботи комп'ютерів. Одним з напрямків збереження інформації при раптовому вимкненні електроенергії в мережі є використання джерел безперебійного живлення (ДБЖ), які дозволяють персональному комп'ютеру нормально завершити роботу, зберегти буфери, закрити відкриті файли і виконати транзакції.

Мета даної роботи полягає у використанні таких сучасних накопичувачів електричної енергії як суперконденсатори для підвищення надійності роботи ДБЖ комп'ютерів.

У зв'язку з тим, що товщина подвійного електричного шару (тобто відстань між «обкладками» конденсатора) дуже мала, суперконденсатори дали змогу в десятки тисяч разів перевищити питомі значення ємності класичних конденсаторів, які широко використовуються у системах електроживлення.

Проведені нами експериментальні дослідження показали, що електролітичні суперконденсатори не тільки усувають імпульсні викиди напруги, але й значно покращують синусоїдальну форму змінної напруги на виході ДБЖ. Заміна в низьковольтних фільтрах ДБЖ конденсаторів на суперконденсатори призводить до зменшення шумів та провалів напруги. І нарешті, використання суперконденсаторів в ДБЖ майже вдвічі збільшує термін використання в них електричних акумуляторів, оскільки наявність дублюючих накопичувачів електричної енергії дозволяє позбавитися пікових величин струмів, згубних для нормальної роботи акумуляторів.

## Оптимізація теплопостачання в будинках з автономним енергоживленням

Куцик М. М., студ.; Коперльос Б. М., доц.

ДВНЗ «Ужгородський Національний університет», м. Ужгород

Автономне енергоживлення будинків дозволяє використовувати в якості джерел енергії так звану альтернативну енергетику, яка є загальнодоступною і екологічно чистою. Найбільш перспективним напрямком альтернативної енергетики можна назвати використання сонячних теплових установок, коефіцієнт корисної дії яких лежить в межах 70-90 відсотків.

Характерною особливістю систем низькотемпературного сонячного теплопостачання є наявність нескладної за конструкцією установки, основним вузлом якої є сонячний тепловий колектор, що перетворює сонячну енергію в теплову. Через те, що надходження сонячної радіації є нерівномірним (погодні умови, тривалість світлового дня), важливими елементами таких установок є теплові акумулятори, які використовуються для накопичення теплової енергії в періоди значного її надходження, і подальшого розподілу в періоди її відсутності.

Мета даної роботи полягала в моделюванні теплопостачання житлових приміщень за допомогою різних типів акумуляторів теплової енергії в залежності від зміни зовнішніх факторів.

Для створення теплової моделі будинку використовується графічне середовище Simulink, яке включене в пакет MatLab. В тепловій моделі будинку моделюється зовнішнє середовище, теплові характеристики будинку, і система опалення будинку. Ця модель враховує витрати на загальне опалення будинку. Коли модель відкрита, вона завантажує інформацію про будинок з файлу: `sldemo_househeat_data.m`. Файл виконує наступні дії: визначає геометрію будинку (розміри, кількість вікон); визначає теплові властивості матеріалів будинку; розраховує тепловий опір будинку та інше.

Розглянута модель дозволяє аналізувати тепловтрати в приміщенні, в залежності від добових варіацій температури навколишнього середовища та ступеня надходження теплової енергії від сонячних теплових установок, і, в залежності від цих факторів рекомендувати під'єднання того чи іншого типу накопичувачів теплової енергії.

## Вибір фільтрокомпенсуючих пристроїв для дугових печей

Жидченко Д.В., студ.; Лебедка С.М., асист.

Сумський державний університет, м. Суми

На потужних промислових підприємствах використовується велика кількість нетрадиційних електроприймачів (прокатні стани, дугові сталеплавильні печі, випрямні установки) з різкозмінним навантаженням або нерівномірністю їх розподілу за фазами і наявністю несинусоїдальних струмів і напруг. Ці електроприймачі можуть привести до порушень якості електроенергії.

Широке застосування на металургійних підприємствах великих дугових печей створює такі проблеми:

1) значно зростає вартість систем електропостачання через необхідність застосування більш високих напруг;

2) значно погіршується якість електроенергії як власне на підприємстві, так і в точках його підключення до мереж енергосистем;

3) виникають проблеми з компенсацією реактивної потужності, так як дугові печі мають порівняно низький  $\cos \varphi$  (0,7–0,78).

Для підвищення якості електроенергії та  $\cos \varphi$  в мережах з дуговими печами рекомендують застосовувати фільтрокомпенсуючі пристрої (ФКП). Для цього необхідно вирішити три завдання: який має бути ФКП (груповий або індивідуальний); який ФКП найбільш надійний і економічний (прямої або непрямої компенсації); розрахувати та вибрати параметри окремих елементів ФКП.

В роботі вибрано ФКП непрямої компенсації для великої дугової печі потужністю 140 МВА. Розрахунок показав, що для зниження рівнів вищих гармонік достатня установка трьох фільтрів. Фільтри на 3 і 4-ту гармоніки налаштовані на частоти 147,5 та 197,5 Гц відповідно. Фільтр на 2-у гармоніку є широкосмуговим фільтром типу С, він має малий опір широкому спектру гармонік, що дозволяє скоротити кількість фільтрів у ФКП і знизити в них втрати електроенергії.

Таким чином, для підвищення якості електричної енергії в мережі з великою дуговою піччю застосований індивідуальний ФКП непрямої компенсації. Застосування ФКП дозволяє також збільшити потужність, що вводиться в піч, знижує час плавки і підвищує продуктивність дугової печі.

## Щодо уточнення розрахунку технологічних витрат електричної енергії

Галюга А.В., асп.; Приступа А.Л., доц.

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів

Проблема витрат електроенергії при її транспорті є досить гострою для сучасної електроенергетики. Судячи зі статистичних даних Холдингу «МРСК» [1] більше половини структури технологічних витрат електроенергії (ТВЕ) припадає на витрати електричної енергії в провадах ЛЕП. Перевищення нормативних показників ТВЕ, через недовраховані при нормуванні величини ТВЕ параметри, приносить значні збитки енергопостачальним компаніям.

Величина ТВЕ залежить як від режимних, так і конструктивних параметрів елементів мережі.

В діючих методиках розрахунку ТВЕ враховано зміну питомого опору ЛЕП від температури, однак в Україні розрахунковою є середньомісячна температура навколишнього середовища, а в Росії - температура поверхні проводу. Саме використання в якості розрахункової температури поверхні проводу дозволяє підвищити точність розрахунків (до 14%) у випадку струмових навантажень порядку 2-4 А/мм<sup>2</sup>, що є характерним для головних фідерів ПЛ-35, 10 та 0,4кВ.

В процесі експлуатації ПЛ на проводи та лінійну арматуру діють механічні (статичні, вітрові, ожеледні) навантаження. При проектуванні ЛЕП та в різних методиках оцінки ТВЕ проводи приймаються «гнучкими нитками», тобто не враховується поперечна деформація. Однак для ПЛ, що тривалий час знаходяться в експлуатації (понад 30 років), спостерігається зменшення поперечного перерізу від 5 до 10%. Також під впливом навантаження провід зазнає непружної поздовжньої деформації, яка також недостатньо досліджена в вітчизняних методиках розрахунку механічних характеристик провідників.

Враховуючи недоліки існуючих методів потрібно створити математичну модель для дослідження впливу зовнішніх умов та режимів роботи на зміну механічних характеристик та геометрії провідників в процесі експлуатації та наступного її використання при уточненні існуючих методик нормування та аналізу ТВЕ, нормування терміну експлуатації проводів ПЛ в залежності від умов експлуатації.



## Вплив несинусоїдальності на роботу системи електропостачання

Іванов О. О., асп.; Романовський В. І., докторант  
Сумський державний університет, м. Суми

Останнім часом все більше уваги приділяється питанню якості електричної енергії, якою живляться заводи, торгові установи та житловий сектор. В першу чергу це пов'язано зі збільшенням числа пристроїв і систем, генеруючих при роботі гармоніки кратні основній частоті мережі. Приводи електродвигунів з керованою швидкістю обертання, імпульсні джерела живлення, електродугові печі, пускорегулювальні апарати для живлення люмінесцентних ламп та безліч інших пристроїв призводять до появи в струмі, який повинні постачати електричні мережі, гармонічних складових.

Значна частина обладнання, яке використовується в даний час сприятлива до поганої якості електроенергії. При цьому можливе не лише порушення працездатності обладнання, але і його пошкодження.

В ході виконання роботи було створено, за допомогою інтерактивного інструменту Simulink, математичну модель електричної мережі, за допомогою якої можна проводити аналіз впливу неякісної електричної енергії на роботу складових електричної мережі.

За допомогою розробленої моделі було проаналізовано вплив на електрообладнання несинусоїдності напруги. В разі наявності гармонічних складових основної частоти в системі електропостачання виникають додаткові втрати енергії в електричних машинах, трансформаторах, погіршується регулювання реактивної потужності за допомогою конденсаторних батарей.

1. И.В. Жежеленко, *Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий* (Энергоатом издат: 2004).
2. А. Куско, М. Томпсон, *Качество энергии в электрических сетях* (Додэка – XXI, 2008).

## Оцінка несинусоїдальності напруги в розподільних електричних мережах

Лебединський І.Л., доц.; Романовський В.І., докторант;

Качан М.В. асп.

Сумський державний університет, м. Суми

Несинусоїдальність напруги є одним з видів кондуктивних перешкод для електромагнітної сумісності (ЕМС). Показники ЕМС повинні мати фізичний зміст, бути застосованими для перешкод будь-якого виду, забезпечувати єдність їх нормування, вимірювання та розрахунку. Концептуальним є принцип оцінки ЕМС шляхом моделювання впливів перешкоди на електрообладнання.

Моделі ЕМС повинні бути простими, але разом з тим відображати основні властивості об'єктів. Негативні наслідки від впливу завади залежать від потужності реакції й інерційності об'єкту. Тому самий простий енергетичний блок повинен мати квадратор і інерційну ланку першого порядку. Без моделювання об'єкта оцінка ЕМС буде некоректною.

Кращий результат оцінки несинусоїдальності напруги виходить, якщо виділяти синусоїду не на всьому інтервалі, а по циклічно. У такому випадку графік перешкоди відмінний від нуля в межах тих циклів, де є спотворення. Параметри синусоїд в кожному циклі можуть бути різними. Ще одним з розрахункових прийомів, використовуваних в практиці, є подання неперіодичних процесів у вигляді ряду Фур'є на кінцевому інтервалі. Формули для коефіцієнтів ряду Фур'є припускають періодичність процесу, зокрема, рівність ординат на початку і наприкінці циклу. У випадку неперіодичної перешкоди ці ординати можуть не збігатися, що призводить до похибки у визначенні фази синусоїди.

1. Жежеленко И.В. *Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий.* – М.: Энергоатом издат. 2004.
2. Железко Ю.С. *Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. Руководство для практических расчетов.* – М.: ЭНАС, 2009.
3. Куско А., Томпсон М. *Качество энергии в электрических сетях /Пер. с англ.* – М.: Додэка – ХХ1, 2008.

## Вимірювання параметрів несиметричних швидкозмінних трифазних навантажень

Лебединський І.Л., доц.; Романовський В.І., докторант;  
Качан М.В., асп.

Сумський державний університет, м. Суми

Несиметрія напруг і струмів – це явище, при якому амплітуди фазних напруг (струмів) або кути між ними не рівні між собою. Відомо ряд методів вимірювання параметрів несиметрії напруг і струмів. Однак їх швидкодія перевищує період напруги живлення, що в багатьох випадках є недостатнім. Зокрема, для керування статичними тиристорними компенсаторами час вимірювання не повинен перевищувати половини періоду напруги живлення. Є розроблені швидкодіючі вимірювальні канали для отримання інформації про активну та реактивну потужності, при побудові яких використано підхід, що оснований на використанні ортогональних миттєвих потужностей.

Дана робота полягає у розробці способу вимірювання, а також вимірювального каналу підвищеної швидкодії складових умовної потужності зворотної послідовності несиметричного навантаження.

В результаті роботи було розроблено вимірювальний канал який має достатню стійкість і характеризується відсутністю методичних похибок вимірювань за наявності несиметрії трифазної напруги і вищих гармонік струму навантаження.

1. Милях А.Н. Схемы симметрирования однофазных нагрузок в трехфазных цепях / А.Н. Милях, А.К. Шидловский, А.Г. Кузнецов. – К.: Наукова думка, 1973. – 219 с.
2. Вимірювальні канали для установок динамічної компенсації реактивної потужності / М.Й.Бурбело, О.М. Кравець, М.В.Никитенко, А.В.Гайдай // Енергетика та електрифікація. – 2008. - №11. – С.42-45.
3. Бурбело М.Й. Квазірівноважені вимірювальні канали для симетричних установок: Монографія / М.Й.Бурбело, О.В.Бабенко – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2009. – 96 с.

## Моделювання характеристик резонансного датчика для реєстрації утворення ожеледі на об'єктах електроенергетики

Петровський М.В., доц.; Волохін В.В., доц.;  
Скотаренко М.А., студ.; Дяговченко І.М., студ.  
 Сумський державний університет, м. Суми

Основними небезпечними кліматичними факторами, котрі діють на об'єкти електричних мереж на території України, є тиск вітру та ожеледно-паморозеві утворення (ОПУ).

Метою даної роботи є дослідження характеристик високочастотного датчика на основі біконічного резонатора (рис. 1) для контролю процесу утворення ожеледі, який має високу чутливість, безінерційний, споживає мало енергії та використовується для отримання інформації про початок ОПУ.

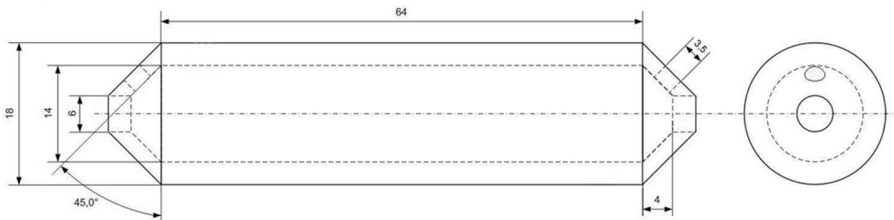


Рис. 1 Загальний вигляд відкритого біконічного резонатора

Моделювання та аналіз роботи відкритого біконічного резонатора здійснюємо в програмному середовищі CST Microwave Studio. Резонансні характеристики досліджені за нормальних атмосферних умов (атмосферний тиск – 750,06 мм рт. ст., температура навколишнього середовища – 20°C.) та за умов, котрі відповідають початковій точці утворення ожеледі (температура повітря +0,5 ÷ -6°C, відносна вологість повітря  $\varphi > 85\%$ .).

Встановлено, що датчик реагує на основні метеопараметри, котрі сприяють утворенню ожеледі. Реакція полягає у різкому перепаді потужності, накопиченої у резонаторі, що відповідає моменту утворення ожеледі (сублімації водяної пари). Також досліджено, що потужність коливань резонатора залежить від пружності водяної пари та відносної вологості повітря, що підтверджує можливість його використання у системах контролю процесу утворення ОПУ.

## Метод интегрирования дифференциальных уравнений динамики электрических машин с вращающимся ротором

Токмаков И.В., *асп.*; Тиховод С.М., *доц.*

Запорожский национальный технический ун-т, г. Запорожье

Переходные электромагнитные процессы в электротехнических системах представляют опасность для оборудования, поэтому исследование этих процессов актуально.

Для исследования переходных процессов в электротехнических системах, содержащих статические электромагнитные устройства, включенные в сложные электрические схемы, разработан программный комплекс Solo [1], функционирующий на основе магнитоэлектрических схем замещения в матричной форме. Главная матрица комплекса Solo содержит коэффициенты при искомым токах или магнитных потоках. Моделирование динамических процессов в электрических машинах с вращающимся ротором связано с интегрированием дифференциальных уравнений, в которые входят произведения искомым величин [2], поэтому непосредственно эти уравнения не могут решаться в программном комплексе Solo.

Предложен метод, позволяющий интегрировать системы дифференциально-алгебраических уравнений, описывающих динамические процессы в электрических машинах с вращающимся ротором в форме, допустимой для программного комплекса Solo. Это позволит выполнять моделирование динамических процессов в электротехнических системах, содержащих как статические электромагнитные устройства, так и электрические машины с вращающимся ротором, включенные в сложные электрические схемы.

На основании предложенного метода разработаны компьютерные программы, подтверждающие адекватность метода.

1. Тиховод С.М. Система компьютерного моделирования динамических процессов в нелинейных магнитоэлектрических цепях. / С.М. Тиховод // Технічна електродинаміка. – 2008. – №3, с. 16-23.
2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин / И. П. Копылов. – М. : ВШ. – 2001. – 327 с.

## Моделювання диференційного струмового захисту в програмному комплексі PSCAD/EMTDC

Автори: Іванов О.О., *асп.*; Ігнатова О.І., *студ.*;

Іванов С.О., *студ.*

Сумський державний університет, м. Суми

Стійка робота електричних станцій у великій мірі забезпечується за рахунок надійної роботи релейного захисту їх електрообладнання. У нинішніх умовах, що характеризуються збільшенням числа аварійних ситуацій, а також зростанням кількості випадків виникнення супутніх ушкоджень, роль релейного захисту постійно зростає. У багатьох випадках через відносну недосконалість релейного захисту не можна запобігти розвитку аварій, які все частіше протікають по найбільш важкому шляху і супроводжуються значними економічними втратами [1].

В ході виконання наукової роботи був розроблений алгоритм роботи диференційного струмового захисту трансформатора, який було відтворено в програмному комплексі PSCAD/EMTDC. Дане середовище дозволяє в режимі реального часу проводити різноманітні маніпуляції над розробленою схемою та одразу спостерігати результат роботи, а саме процеси, які відбуваються при спрацюванні та до моменту спрацювання захисту. Це значно полегшує процес прийняття рішень, і має величезне значення не тільки для наукового, а й для освітнього процесу.

Запобігання фальшивому спрацюванню при включенні силового трансформатора під напругу, або при відключенні зовнішніх коротких замикань відбувається за рахунок контролю рівня вищих гармонік, а саме другої та п'ятої. Як наслідок спрацювання захисту відбувається лише в тих випадках, коли пошкодження знаходиться в зоні захисту. В струмах присутність вищих гармонічних складових складає майже 80%, в перші 10 мс після включення трансформатора.

1. А.М. Александров, *Дифференциальные защиты трансформаторов* (Санкт-Петербург: 2005).
2. С.Е. Бобров, *Разработка и исследование алгоритма работы органа сравнения фаз дифференциально-фазной защиты линий напряжением 110–220 кВ* (Вестник ИГЭУ. Вып. 2: 2009).

## Вдосконалення конструкції генератора постійного струму з паралельним збудженням

Муріков Д.В., *доц.*; Василега П.О., *доц.*;  
Устименко О.В., *студ.*; Однолєток М.Д., *студ.*  
Сумський державний університет, м. Суми

Для запуску генератора постійного струму з паралельним збудженням повинна бути забезпечена умова самозбудження – наявність залишкового магнітного потоку в магнітній системі на момент включення генератора. Залишковий магнітний потік зумовлений залишковою намагніченістю магнітної системи генератора: станини, осердя головних полюсів та осердя якоря. У початковий момент роботи генератора, завдяки наявності залишкового магнітного потоку в обмотці якоря, створюється невелика ЕРС, під дією якої в обмотці збудження протікає відповідний електричний струм і створюється додатковий магнітний потік.

Конструктивним недоліком генератора постійного струму з паралельним збудженням є те, що в ньому відсутні елементи, які б весь час забезпечували наявність в магнітній системі залишкового магнітного потоку. А тому, у разі відсутності залишкового магнітного потоку, самозапуск генератора є неможливим. Іншими словами, генератор втрачає працездатність і для її поновлення необхідно намагнітити магнітну систему генератора, що є доволі складно, особливо в умовах виробництва.

Удосконалена конструкція генератора постійного струму з паралельним збудженням має станину та розміщені на ній головні полюси, до складу яких входить обмотка, що приєднана паралельно до обмотки якоря, а також осердя, що виготовлене із окремих пластин електротехнічної сталі. Ці пластини є електрично ізольованими одна від одної, а поміж них встановлені постійні магніти. Магніти виготовлені із магнітотвердого матеріалу і мають форму пластин, з яких складається осердя головних полюсів. Характеристики та кількість постійних магнітів розраховуються таким чином, щоб забезпечити наявність в магнітній системі генератора необхідне значення залишкового магнітного потоку, яке, як правило, становить 2-3% від його номінального значення.

## Моделювання нелінійних режимів роботи електричних мереж з метою розробки методів вимірювання їх параметрів

Макуха Д.М., *асп.*; Романовський В.И., *докторант*;

Березка О.І., *студ.*

Сумський державний університет, м. Суми

Зростання потужності нелінійних, а також несиметричних і різкозмінних навантажень промислових підприємств призвело до істотного збільшення рівня електромагнітних впливів як в системах електропостачання підприємств, так і енергетичній системі. Ці впливи, в залежності від їх характеру, інтенсивності та тривалості, несприятливо впливають на силові електроустановки, системи автоматики та релейного захисту, телекомунікації, а також на електрообладнання малих груп споживачів. Зараз існує декілька принципів вимірювання якості електричної енергії, але єдина методика перевірки якості поки що не сформована. Також немає приладів для вимірювання нелінійних змін в електричній системі.

Пропонується провести моделювання режимів роботи трьохфазної електричної мережі, проаналізувати методи та пристрої вимірювання електричних сигналів з метою розробки вимірювальних приладів. Для пристроїв визначити основні технічні вимоги до нормуючих метрологічних характеристик та вибрати методи контролю. Промоделювати електричну мережу з різними типами навантаження та вплив несинусоїди на якість роботи мережі.

Проведений аналіз методів та типових структур сучасних засобів вимірювань, вимоги до приладів, нормовані метрологічні характеристики та методи їх контролю. Графіки, що були отримані в ході експерименту, дають можливість зробити висновок про негативний вплив перешкод на роботу всієї системи електропостачання. Вимірювання та виявлення змін в системі електропостачання дозволить суттєво підвищити аналіз та контроль якості електричної енергії та вивести єдину методологію для покращення всієї енергосистеми.

1. Куско А, Томпсон М. *Качество энергии в электрических сетях* (2008).
2. Barry W. Kennedy, *Power Quality Primer*. McGraw-Hill Comp.(2000).



## **СЕКЦІЯ 7**

**«ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ,  
ПРИЛАДИ І ЗАСОБИ  
КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ»**

## Сеточное представление 2D и 3D изображений

Самусь Н.С., студ.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, г. Одесса

Как уже давно известно, MPEG-4 – это международный стандарт, который представляет собой набор алгоритмов для хранения, сжатия, передачи и манипуляции аудио и видео данных. Именно MPEG-4 прогнозирует движение анимированных объектов, формирует статическую или динамическую сетку, предусматривает эффективное кодирование многогранных трехмерных сеток для представления 3-D объектов, а, следовательно, и привлекает к себе большое внимание.

Стоит рассмотреть, что же из себя представляют сеточные модели. Двухмерная треугольная сетка относится к составлению мозаики двухмерного визуального объекта из треугольных участков. Их вершины называют «точками узла». Прямолинейные сегменты, которые присоединяются к ним, называют «гранями». Динамическая двухмерная сетка определяется геометрией начальной двухмерной сетки и векторами движения в точках узла для последующих сеток, где каждый вектор движения указывает от точки узла предыдущей сетки в последовательности к точке узла текущей сетки.

Для представления трехмерных моделей сетки используются данные о связности, геометрии и свойствах. Данные о связности описывают отношения смежности между вершинами; данные о геометрии определяют местоположение вершины; данные о свойствах определяют несколько признаков, таких как вектор нормали, материальный коэффициент отражения, координаты текстуры.

В настоящее время существует множество программ 3D-моделирования, каждая из которых предлагает свои функциональные возможности: MeshLab, 3DSOM Pro, Blender, 3D Studio MAX и др. К примеру, MeshLab является портативной и расширяемой системой, которая позволяет обрабатывать и редактировать неструктурные треугольные сетки 3D.

Руководитель: Ошаровская Е.В., доц.

1. J. Peng, C.-S. Kim, C.-C. Jay Kuo, *J. Vis. Commun. Image R.* **16**, 688 (2005).

## Отримання плівок MgO методом спреї-піролізу

Манжола Б.В., студ.; Д'яченко О.В., асп.;  
Опанасюк А.С., проф.  
Сумський державний університет, м. Суми

Оксид магнію є перспективним матеріалом для створення цілого ряду приладів мікро- та наноелектроніки. Ця сполука є прямозонним напівпровідником *n*-типу із дуже великим значенням ширини забороненої зони в порівнянні з іншими матеріалами (7,8 еВ при кімнатній температурі). Вона має високу теплопровідність, низьку діелектричну проникність та діелектричні втрати, високий коефіцієнт пропускання та низький коефіцієнт заломлення світла. Ці властивості обумовили застосування сполуки MgO для створення надпровідникових приладів, захисних екранів в рідкокристалічних дисплеях, ізоляційних, антивідбивних та буферних шарів сонячних елементів на основі різних поглинаючих матеріалів, тощо.

Існує багато методів отримання плівок MgO, але останнім часом велика увага приділяється саме хімічним методам, одним з яких є метод спреї-піролізу. Цей метод є одним з найбільш перспективних для осадження плівок напівпровідників завдяки своїй простоті та дешевизні, великій швидкості нанесення шарів і можливості нанесення конденсатів на підкладки великої площі з різних матеріалів, оскільки ця технологія є безвакуумною.

Плівки MgO були отримані методом спреї-піролізу на скляних підкладках очищених в ванні з етанолом. Використовувався прекурсор, що був виготовлений на основі розчину хлориду магнію ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) в дистильованій воді з концентрацією 0,2 М. Нанесення плівок проводилось в діапазоні температур підкладки від  $T_s=300$  °С до 500 °С. Швидкість розпилення дорівнювала 5 мл/хв. Відстань до підкладки складала 12 см.

Методом рентгеноструктурного аналізу були проведені структурні дослідження плівок. Встановлено, що шари отримані при  $T_s = 400 - 450$  °С дійсно складаються з MgO кубічної модифікації з переважною текстурою [111]. Параметри кристалічної ґратки сполуки складала  $a=0,42166$  нм. Додаткові піки на кутах близьких до  $12,3^0$  та  $24,7^0$  можуть бути віднесені до гідроксильних сполук Mg. Їх наявність вказує на необхідність подальшого відпалювання плівок.

## Структурні та субструктурні характеристики хімічно осаджених плівок оксиду цинку

Євдокименко В.С., студ.; Бересток Т.О. асп.;  
Опанасюк А.С., проф.  
Сумський державний університет, м. Суми

Зростаючі потреби в альтернативних джерелах енергії та детекторах різного виду випромінювання стимулювали в останні роки інтенсивне дослідження оксиду цинку. Цей матеріал завдяки високій хімічній та термічній стійкості, високому коефіцієнту пропускання є основним для створення віконних та антивідбивних шарів сонячних елементів. Крім того, завдяки широкій забороненій зоні ( $E_g=3,37$  eV), ZnO можна використовувати для реєстрації УФ випромінювання.

Серед різних методів нанесення плівок ZnO хімічне осадження, завдяки простоті та економічності, є одним з перспективних безвакуумних методів одержання шарів з керованими властивостями.

Нанотекстуровані плівки оксиду цинку були хімічно осаджені на попередньо очищені скляні підкладки з водного розчину гексагідрату нітрату цинку та аміаку при температурі вихідного розчину  $90^\circ\text{C}$ . Час нанесення плівок варіювався від 30 до 120 хвилин. Морфологія поверхні отриманих зразків досліджувалася з використанням методу розривної мікроскопії. Структурні дослідження зразків були виконані на автоматизованому рентгенодифрактометрі Bruker D8 Advance у Ni-фільтрованому  $K_\alpha$  випромінюванні мідного анода.

Дослідження дозволили визначити залежність основних структурних параметрів плівок ZnO (текстура, період кристалічної ґратки та розмір областей когерентного розсіювання (ОКР)) від фізико-хімічних умов нанесення зразків. Отримані плівки відповідали сполуці ZnO з гексагональною структурою та сталими ґратки  $a=0,3248\text{-}0,3254$  нм та  $c=0,5201\text{-}0,5211$  нм, які залежали від тривалості осадження. Плівки були текстурованими та мали текстуру росту [100]. Розмір ОКР визначався режимами нанесення плівок та складав  $L_{(002)}=(26,1\text{-}41,7)$  нм, значення величини мікрдеформацій змінювалось у діапазоні  $\varepsilon=(0,60\text{-}3,09)\cdot 10^3$ , густина дислокацій складала  $(5,97\text{-}7,06)\cdot 10^{14}$  лін/м<sup>2</sup>. В результаті досліджень були встановлені параметри осадження плівок ZnO з керованими характеристиками.

## Система управління електроприводом шахти «Скіпова» об'єднання «Казцинк»

Кулик І.А., доц.; Зимовець В.І., студ.  
Сумський державний університет, м. Суми

Метою роботи є розробка системи управління електроприводом скіпа піднімальної установки шахти «Скіпова». Для досягнення цієї мети виконаний аналіз роботи систем управління скіпом для різних електроприводів. В процесі аналізу показано, що для скіпа шахти «Скіпова» об'єднання «Казцинк» найбільше підходить управління електроприводом змінного струму з динамічним гальмуванням. Згідно вихідних розрахункових даних шахти «Скіпова» виконані розрахунки вихідних параметрів роботи скіпа, розрахована тахограма руху скіпової установки, приведені пускові механічні характеристики електродвигуна шахти як в режимі пуску, так і в режимі динамічного гальмування.

До числа найпоширеніших різновидів механізмів вертикального транспортування корисних копалин варто віднести шахтні піднімальні машини. Основні завдання, які виникають при проектуванні й виконанні систем управління піднімальних машин, зводяться до того, що ці системи повинні бути простими в монтажі й експлуатації, дешевими, надійними в роботі; вони повинні чітко відпрацьовувати всі сигнали й накази. Крім того, для нормальної роботи механізму дуже важливі питання техніки безпеки. У першу чергу це визначається тим, що скіп є машиною, що рухається з відносно складним електроустаткуванням і тому розробка системи управління електроприводом скіпа, для доставки корисних копалин є дуже актуальною.

Використовуючи розрахунки тахограми, характеристики управління електродвигуном і силовою частиною скіпа шахти розроблений алгоритм роботи скіпової установки, на основі якого побудовано її абстрактну та структурну математичні моделі. За допомогою таблиці переходів і виходів, отримані канонічні рівняння управління електроприводом скіпа шахти. По даним канонічним рівнянням роботи системи вибраний контролер M90-TA2-can, що реалізує розроблений алгоритм. Отримані канонічні рівняння запрограмовані на мові програмування Ladder.

## Поглинаючі шари сенсibiliзованих сонячних елементів на основі перовскітів

Бересток Т.О.<sup>1</sup>, *асп.*; Опанасюк А.С.<sup>1</sup>, *проф.*;  
Щавель О.<sup>2</sup>, *дослідник*

<sup>1</sup> Сумський державний університет, м. Суми

<sup>2</sup> Каталонський інститут енергетичних досліджень, Барселона, Іспанія

В наш час у геліоенергетиці почалася розробка так званого третього покоління сонячних елементів (СЕ), в яких використовуються нові фізичні принципи та нові дешеві і екологічно безпечні матеріали.

Перовскітні сполуки ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ ,  $\text{X} = \text{I}, \text{Br}$  або  $\text{Cl}$ ) привертають підвищену увагу дослідників внаслідок можливості їх використання як поглинаючих шарів фотоелектричних перетворювачів завдяки високому коефіцієнту поглинання світла, високій рухливості носіїв заряду та можливості природного видобутку. Крім того для синтезу перовскітів можуть бути використані низькотемпературні безвакуумні методи, що суттєво знижує собівартість СЕ та дозволяє створювати високоефективні прилади на гнучких підкладках.

Мета дослідження полягала у виборі методу отримання перовскітних сполук, оптимізації фізико-хімічних умов нанесення та вивченні їх структурних характеристик.

Для осадження шарів перовскітів використовувались такі низькотемпературні методи як: спін-коатинг, спрей-метод, послідовне осадження, нанесення з парової фази, осадження з розчину. Найкращі зразки перовскітів були отримані за допомогою спін-коатингу концентрованого розчину на основі прекурсорів  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  та  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_2\text{Cl}$ . Осадження проводилося на скляні підкладки з підшаром пористого діоксиду титану  $\text{TiO}_2$ . Швидкість обертання підкладки при розпиленні становила 2000 об/хв. Тривалість осадження складала 60 с. Після осадження підкладки нагрівалися до температури  $100^\circ\text{C}$ , що приводило до зміни кольору зразків від жовтого до темно-коричневого. Це свідчило про утворення необхідної фази перовскіту.

В результаті досліджень був обраний метод осадження перовскітів та оптимізовані параметри їх нанесення.

## Алгоритм завадостійкого перетворення двійкового коду в код Фібоначчі

Борисенко О.А., проф.; Маценко С.М., асп.; Мальченков С.І., студ.;  
Ямник О.І., студ.

Сумський державний університет, м. Суми

Широке застосування перетворювачів кодів в автоматичній обчислювальній техніці для кодування і декодування двійкової інформації формує перед дослідниками завдання побудови пристроїв, що мають підвищену надійність та стійкість до відмов. Однією з причин збоїв цифрових систем є наявність випадкових та регулярних завад, усунення яких відбувається шляхом застосування загальних методів боротьби з ними, що дозволяють зберегти надійність зв'язку. Одним з таких методів є застосування кодів з виявленням та виправленням помилок, до яких належить код Фібоначчі, завадостійкість якого досягає 99,9%. Для побудови даного перетворювача використаємо лічильники Фібоначчі [1].

Перетворювач двійкового коду в код Фібоначчі містить наступні функціональні блоки: генератор тактових імпульсів (ГТІ), блок дешифрування нуля, дешифратор кодів, індикаторний пристрій, двійковий віднімаючий та підсумовуючий фібоначчівий лічильники.

Алгоритм його роботи полягає в наступному: у момент часу  $t_1$  в двійковий лічильник записується число для перетворення, а лічильник Фібоначчі знаходиться в нульовому стані. Лічильники перебирають кодові комбінації до появи нульової в двійковому лічильнику з початком надходження тактових імпульсів з ГТІ, після цього схема дешифрування нуля блокує останні, а на виході лічильника Фібоначчі встановлюється перетворена кодова комбінація, яка надходить на дешифратор кодів, після чого відображається на індикаторі.

Недоліками даного перетворювача є істотні апаратні витрати і невисока швидкість перетворення даних. До переваг даного перетворювача можна віднести простоту реалізації пристрою, можливість перетворення даних в прямому і в зворотному напрямках.

1. А.А. Борисенко, С.М. Маценко, *Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки»*. **3**, 88 (2013).

## Рекомбінаційні втрати в сонячних елементах на основі гетеропереходу $n\text{-ZnS}/p\text{-CdTe}$

Доброжан О.А.<sup>1</sup>, асп.; Льїн С.С.<sup>2</sup>, школяр;  
Опанасюк А.С.<sup>1</sup>, проф.

<sup>1</sup> Сумський державний університет, Суми

<sup>2</sup> Сумська спеціалізована школа I-III ст. №10, Суми

Тонкоплівкові сонячні елементи (СЕ) на основі гетеропереходу (ГП)  $n\text{-CdS}/p\text{-CdTe}$  є одними з найпоширеніших серед фотовольтаїчних структур, що використовуються для масового виробництва сонячних модулів та мають високу ефективність перетворення сонячної енергії (18,3 %). Однак, широке впровадження у виробництво приладів такої конструкції обмежується токсичністю кадмію та низькою поширеністю телуру у земній корі. Коефіцієнт корисної дії сонячних перетворювачів з поглинаючим шаром CdTe можна збільшити шляхом заміни традиційного буферного матеріалу CdS ( $E_g = 2,4$  еВ) на більш широкозонний матеріал. В цьому контексті, використання сполуки ZnS ( $E_g = 3,6$  еВ) дозволяє розширити діапазон fotocутливості СЕ та збільшити їх струми короткого замикання. Але вплив зміни матеріалу віконного шару на характеристики СЕ з поглинальним шаром CdTe на даний момент досліджений не в повній мірі. Нами, в попередніх роботах, був визначений вплив оптичних втрат на ефективність фотоперетворювачів зі структурою скло/ZnO/ZnS(CdS)/CdTe/тильний контакт.

Метою даної роботи стало визначення рекомбінаційних втрат носіїв генерованих світлом в СЕ на основі ГП  $n\text{-ZnS}/p\text{-CdTe}$ .

В роботі розраховувалась ширина області просторового заряду в поглинаючому шарі CdTe при різних значеннях концентрації некомпенсованих акцепторів ( $N_a - N_d$ ), що в свою чергу дало можливість встановити умови досягнення високих значень фотоелектричного квантового виходу (ФЕКВ) СЕ. Встановлено, що найбільші значення ФЕКВ приймає при концентрації некомпенсованих акцепторів ( $10^{15} - 10^{17}$ ) см<sup>-3</sup> та при ширині області просторового заряду (0,11-1,08) мкм. Таким чином, поверхнева рекомбінація має більший вплив на значення квантового виходу при меншій концентрації некомпенсованих акцепторів (ширшій області просторового заряду).



**Моделювання впливу віконного шару на основні параметри сонячних елементів з гетеропереходами  $n\text{-ZnS}(n\text{-CdS})/p\text{-CdTe}$** 

Конопленко О.П. студ.; Доброжан О.А., асп.;  
Опанасюк А.С., проф.  
Сумський державний університет, м. Суми

На сьогоднішній день максимальне значення ефективності плівкових сонячних елементів (СЕ) на основі гетеропереходів (ГП)  $n\text{-CdS}/p\text{-CdTe}$  становить 18,7 %, але темпи його зростання значно уповільнилися. Разом з тим ці СЕ мають ряд суттєвих недоліків, які ускладнюють їх широкомасштабне використання. Так при виготовленні фотоперетворювачів використовується віконний матеріал CdS, який містить важкий метал - кадмій та має низький коефіцієнт пропускання в ультрафіолетовій області спектру. Збільшення ефективності СЕ з шаром CdTe можливо досягти, наприклад, шляхом заміни матеріалу буферного шару. Плівки CdS ( $E_g = 2,42$  eV) у цьому випадку можуть бути замінені на тонкі шари ZnS ( $E_g = 3,68$  eV). Цей матеріал має суттєво більшу, ніж CdS ширину забороненої зони (ЗЗ), що дозволяє розширити діапазон fotocутливості відповідних СЕ та збільшити їх струми короткого замикання.

Метою роботи стало визначення впливу заміни віконного шару в СЕ з конструкцією  $n\text{-ZnS}(n\text{-CdS})/p\text{-CdTe}$  на основні характеристики елементів (ефективність ( $\eta$ ), фактор заповнення ( $\Phi_3$ ), густину струму короткого замикання ( $J_{кз}$ ) та напругу холостого ходу ( $U_{xx}$ )) за допомогою програмного середовища SCAPS-3200.

Порівнюючи результати моделювання основних характеристик фотоперетворювачів двох конструкцій, слід відмітити, що СЕ на основі ГП  $n\text{-ZnS}/p\text{-CdTe}$  мають більші значення  $J_{кз} = 28,91$  mA/cm<sup>2</sup>,  $U_{xx} = 1,04$  В,  $\Phi_3 = 87,61$  % та  $\eta = 26,46$  % (для ГП  $n\text{-CdS}/p\text{-CdTe}$  ці значення склали  $J_{кз} = 28,06$  mA/cm<sup>2</sup>,  $U_{xx} = 1,03$  В,  $\Phi_3 = 86,30$  %,  $\eta = 25,05$  %). Таким чином, заміна традиційного матеріалу віконного шару фотоперетворювачів CdS на більш широкозонний матеріал ZnS приводить до зростання їх ККД майже на 1,5%. Слід зазначити, що введення вікна ZnS призвело до додаткового збільшення ефективності СЕ внаслідок дуже низького коефіцієнта відбиття ( $R = 1,25$  %) світла від поверхні цього матеріалу в діапазоні довжин хвиль  $\lambda = 300\text{-}900$  нм.

## Дискриминационные устройства систем автоматизации производственных процессов

Коваль В.С., студ.; Новгородцев А.И., доц.;

Гапич В.Н., ассист.

Сумский государственный университет, г. Сумы

При решении проблем автоматизации производственных процессов возникают разнообразные задачи измерений в реальном масштабе времени параметров информационных сигналов и их функционального преобразования.

Такие задачи используются в машиностроении, химической промышленности для определения технологических параметров импульсными акустическими методами. Эти задачи могут решаться системами автоматизации, в состав которых входят дискриминационные устройства.

В процессе исследований различных технологических процессов на информационные сигналы, снимаемых с датчиков, накладываются различного рода шумы и помехи, обуславливающие их стохастическую структуру. Ввиду того, что значения информационных сигналов случайны, их числовые характеристики не могут быть определены с максимальной точностью, а оцениваются статистическими методами.

Для минимизации влияния шумов и помех измерений предлагается синтезировать электронную структуру дискриминационного устройства на основе функционально-корреляционного преобразования, являющегося техническим развитием корреляционного метода измерений.

Уравнение связи выходного сигнала с корреляционной функцией сигнала на входе синтезируемого устройства получено на основе применения корреляционного метода обработки сигналов.

Полученные, таким образом, дискретные уравнения определяют алгоритм функционирования и электронную структуру синтезируемого устройства, которое обеспечивает статистическую обработку входного сигнала, причем статистическая погрешность преобразования легко обеспечивается параметрами электронных элементов схемы за счет использования момента дискриминации по первому переходу исследуемого сигнала через нулевой уровень.

## Пристрій для передачі аудіо-відео зв'язку системи "Розумний дім"

Гриненко В.В. *ст. викл.*; Коблянський А.О., *студ.*  
Сумський державний університет, м. Суми

В системах керування "Розумний дім" використовуються пристрої передачі відео та аудіо записів по локальній мережі, для віддаленого перегляду та можливого керування.

Даний пристрій може працювати в двох режимах:

1. Простий нагляд для віддаленого спостереження за ситуацією у домі.
2. Нагляд з можливістю керування для віддаленого керування пристроями (наприклад вимкнути світло у кімнаті).

Для отримання можливості віддаленого нагляду та керування, необхідно щоб система була постійно увімкнена та мала постійний доступ до локальної мережі або мережі Інтернет.

Складність даного пристрою полягає в безперешкодній передачі інформації по локальній мережі. Для забезпечення високої надійності, необхідно щоби пристрій був якомога простіший, завадостійкий, дешевий, а для забезпечення безпеки – недоступний стороннім. Також необхідно пам'ятати, що чим складніше пристрій, тим він дорожче та збільшується вірогідність його виходу із ладу.

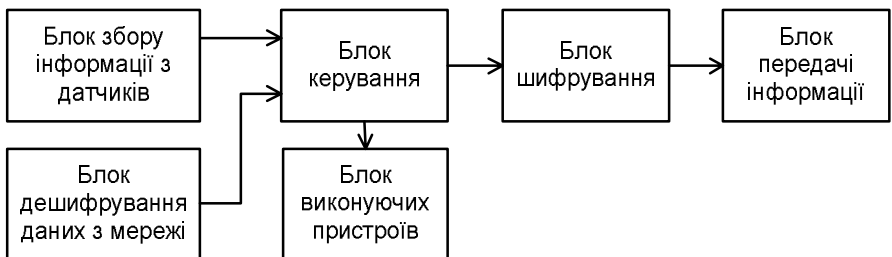


Рисунок 1 – Структурна схема пристрою для віддаленого керування

Пристрій знаходиться в режимі очікування, до моменту подачі сигналу перегляду стану дома. З блоку дешифрування даних сигнал подається в блок керування де він аналізується, та в залежності від результату аналізу виконується трансляція зображення та звуку у мережу через блоки шифрування та передачі інформації, або посилюються сигнали керування на блок виконуючих пристроїв.

## Імітансний електронний ключ – ідентифікатор

Лазарев О.О., доц.; Ковалюк О.М., студ.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Імітансний електронний ключ-ідентифікатор – це електронний ключ призначений для ідентифікації права доступу, пристрої зчитування якого можуть вбудовуватися в будь-які технічні системи, що потребують ідентифікації користувачів. Відмінністю ключа від існуючих є використання інформаційного базису нечіткого імітансу для задання логічних рівнів [1]. Характеризується такими диференціальними параметрами:  $R^{(+)}$ ,  $R^{(-)}$ ,  $C^{(+)}$ ,  $C^{(-)}$ ,  $L^{(+)}$ ,  $L^{(-)}$ . І відповідний їм логічний рівень 0,1,2,3,4,5 що відповідає шестизначній системі.

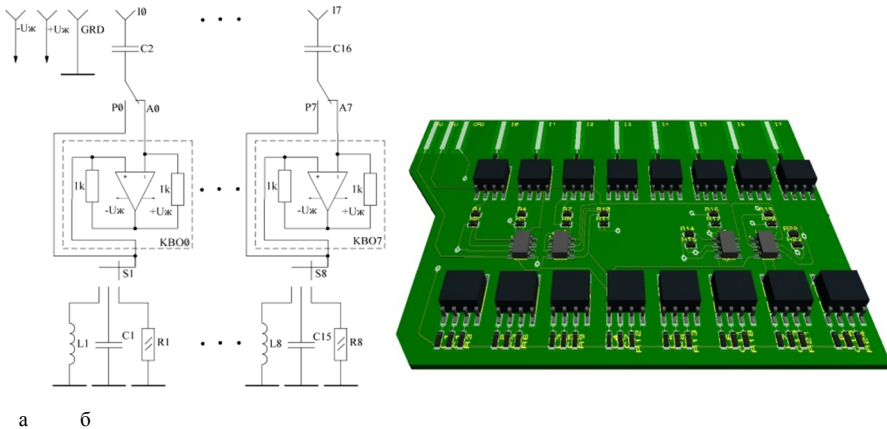


Рисунок 1 – Імітансний електронний ключ – ідентифікатор: схема електрична принципова (а) та друкована плата (б).

Варто зазначити велику кількість кодових комбінацій за рахунок шестизначної системи, схемотехнічну простоту, високу надійність, малу вартість, високу заводо захищеність за рахунок використання інформаційного базису нечіткого імітансу.

1. Л.Б. Ліщинська, М.А. Філінюк, *Інформ. технол. та комп'ютерна інженерія* **2**, 25 (2010).

## Иммитансные многозначные логические элементы на R-,L-,C-негатронах на ОПИ

Филинюк Н.А., *проф.*; Лазарев А.А., *доц.*; Войцеховская Е.В., *доц.*;  
Горчица Т.П., *студ.*

Винницкий национальный технический университет, г. Винница

В иммитансных логических схемах в качестве логической переменной используется характер иммитанса электрической цепи на переменном токе – положительные и отрицательные дифференциальные сопротивления ( $R^{(+)}$ ,  $R^{(-)}$ ), емкости ( $C^{(+)}$ ,  $C^{(-)}$ ), индуктивности ( $L^{(+)}$ ,  $L^{(-)}$ ) [1]. Поскольку при этом не важно количественное значение этих иммитансов, такие логические элементы (ЛЭ) обладают высокой помехозащищенностью и могут работать во всем диапазоне СВЧ. Основой построения таких логических элементов являются обобщенные преобразователи иммитанса (ОПИ). Перспективными являются многозначные ЛЭ. Рассматривая иммитансы как логические уровни, получим шестизначную логику. Количество возможных функций одной переменной  $6^6 = 46656$ . Рассмотрим четыре логические функции, которые может выполнять ОПИ (рис. 1 а).

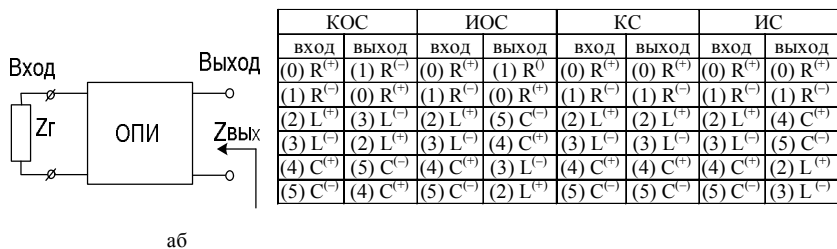


Рисунок 1 – Структурная схема логического элемента на ОПИ (а) и таблицы истинности (б).

Таблицы истинности для ЛЭ, когда ОПИ выполняет функции конвертора, инвертора отрицательного сопротивления (КОС, ИОС) и конвертора, инвертора сопротивления (КС, ИС) даны на рис. 1 б.

1. Л.Б. Ліщинська, М.А. Філінюк, *Информ. Технол. та комп. інженерія* **2**, 25 (2010).

## Аналіз елементного складу плівок $Pb_{1-x}Sn_xS$ методами PIXE та $\mu$ -PIXE

Домнич О.В.<sup>1</sup>, студ.; Коваль П.В.<sup>1</sup>, асп.; Опанасюк А.С.<sup>1</sup>, проф.;  
Ташликов І.С.<sup>2</sup> проф.; Пономарев А.Г.<sup>3</sup>, наук. співроб.

<sup>1</sup> Сумський державний університет, м. Суми, Україна

<sup>2</sup> Білоруський державний педагогічний університет, Мінськ, Білорусія

<sup>3</sup> Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми, Україна

Халькогеніди свинцю і олова  $PbS$ ,  $Pb_{1-x}Sn_xS$  відносяться до сполук  $A_4B_6$ , які в нормальних умовах кристалізуються в кубічній структурі типу  $NaCl$ . Ці вузькозонні напівпровідники використовуються для створення приймачів інфрачервоного випромінювання, твердотільних лазерів, а також є перспективними для побудови фотоприймачів терагерцового діапазону. В останній час плівки  $Pb_{1-x}Sn_xS$  також привертають до себе увагу як поглинаючі шари дешевих тонкоплівкових сонячних елементів альтернативні таким матеріалам як  $CuInSe_2$ ,  $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ ,  $Cu_2ZnSnS_4$  та  $CdTe$ .

У даній роботі вивчалися плівки  $Pb_{1-x}Sn_xS$ , отримані термічним випаровуванням у вакуумі методом гарячої стінки на скляних підкладках. Для визначення елементного складу конденсатів використовувалося рентгенівське характеристичне випромінювання індуковане протонним пучком (методи PIXE,  $\mu$ -PIXE). Відповідні дослідження проводилися на мікроаналітичному прискорювальному комплексі «Сокіл» (ІПФ, Суми, Україна) з енергією пучка протонів 1,5 МеВ. Подальший аналіз спектрів PIXE здійснювався з використанням програми GUPIXWIN.

З використанням результатів, отриманих методом  $\mu$ -PIXE, були побудовані загальні спектри виходу характеристичного рентгенівського випромінювання та карти розподілу елементів, що входять до складу сполуки за площею поверхні зразків, а також визначено їх склад в залежності від режимів отримання плівок.

В результаті досліджень отримані плівки з однорідним розподілом елементів по площі та виявлено, що в їх складі відсутні неконтрольовані домішки. Показана можливість нанесення шарів твердого розчину з контрольованим елементним складом шляхом зміни температур випаровування компонентів.

## Повышение помехоустойчивости беспроводных сетей путем применения кодов Фибоначчи

Маценко С.М., асп.

Сумский государственный университет, г. Сумы

Среди множества разнообразных видов беспроводных сетей, особое место занимают беспроводные сети производственного сектора, эксплуатация которых дает значительный экономический эффект. В данных сетях возникает задача повышения помехоустойчивости передачи данных, так как на их работу могут влиять не только помехи от устройств, но и помехи, возникающие между различного рода беспроводными сетями, использующие один диапазон передаваемых частот. Одной из главных задач при проектировании беспроводных сетей производственного сектора является обеспечение надежности, помехоустойчивости и отказоустойчивости передачи данных [1]. На помехоустойчивость передаваемой информации влияют различного рода помехи, которые могут возникать при работе двигательных станков, сварочных аппаратов, рентгеновских установок, помехи которые создаются городским электротранспортом, радио или атмосферные помехи.

В данной работе предлагается для повышения помехоустойчивости данных сетей использовать кодирование Фибоначчи, которое определяется следующим соотношением:

$$N = a_n F_n + a_{n-1} F_{n-1} + \dots + a_i F_i + \dots + a_1 F_1, \quad (1)$$

где  $a_i \in \{0, 1\}$  – двоичная цифра  $i$ -го разряда позиционного представления,  $F_i$  – вес  $i$ -го разряда равный  $i$ -му числу Фибоначчи [2].

Основными достоинствами данного кода являются высокая помехоустойчивость, так как удельный вес приходящийся на  $2^n$  всех кодовых комбинаций очень мал, а также свойство самосинхронизации при их последовательной передаче по каналу связи.

1. В.Ф. Шаньгин, *Информационная безопасность компьютерных систем и сетей* (Москва: ИД «Форум» – ИНФРА-М: 2008).
2. А.А. Борисенко, С.М. Маценко, *Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки», № 3, 165 (2012).*

## Мажоритарное кодирование

Протасова Т.А., *ст. преп.*; Лукашок Д.Ю., *студ.*  
Сумский государственный университет, г. Сумы

В качестве помехоустойчивого кода, применяемого в разработанной системе передачи данных без обратной связи используется мажоритарный код. Под мажоритарными кодами принято понимать такие циклические коды, которые при передаче информационный части пакета дополнительно формируют и передают проверочную часть, состоящую, как правило из двукратного или, что реже, четырехкратного повторения исходного пакета. При декодировании полученного пакета используется принцип решения по большинству (или, так называемый, мажоритарный принцип). При этом осуществляется сравнение значений разрядов с одинаковыми адресами в информационной части пакета и в удвоенной или учетверенной проверочной части. При совпадении значений разрядов правильно принятому значению бита присваивается это же значение, если же произошла ошибка, то правильным считается то значение, которому соответствует наибольшее количество совпадений. Этот принцип часто позволяет достаточно просто решить задачу исправления многократных ошибок.

Аппаратная реализация декодера на мажоритарном принципе требует затрат оборудования, так как необходимо одновременно производить оценку всех символов переданной комбинации. В этом случае сложность реализации декодера увеличивается в следствии большого количества сумматоров по модулю-2 и переключателей по большинству. В случае циклических кодов можно получать исправленные значения символов поочередно, через циклический сдвиг кодовой последовательности. В этом случае при каждом сдвиге осуществляется оценка только одного текущего символа, тогда как мажоритарный декодер чаще всего будет проще циклического.

1. Н.Т. Березюк, *Двоичные коды: справочник* (Харьков: Вища шк.: 1978).



**Адаптивна система передачі даних на основі композицій**Прогасова Т.О., *ст. викл.*;Горба І.М., *студ.*; Прогасова К.О., *асп.*

Сумський державний університет, м. Суми

Забезпечення високої надійності передачі інформації є в теперішній час нагальною проблемою. Це вирішується застосуванням перешкодостійких кодів, що мають природну надлишковість. До таких кодів і належать комбінаторні коди, наприклад, композиції.

За визначенням композицією є послідовність з  $m$  цілих позитивних чисел ( $m$  – цифр), сума яких дорівнює  $P$ . Максимальна цифра в композиції  $q = P - m + 1$ , де  $m$  – число елементів у послідовності.

Перевірка на належність заданої (прийнятої) послідовності до класу композицій із заданими  $P$  і  $m$  повинна проводитись за наступними правилами:

1. Кожне число у прийнятій послідовності не повинно перевищувати значення  $q$ , тобто ( $1 \leq \alpha_i \leq q$ ).

2. Число елементів у послідовності дорівнює  $m$ .

3. Сума елементів послідовності  $\sum_{i=1}^m \alpha_i = P$ .

Алгоритм ідентифікації послідовності як композиції при заданих  $m$  і  $P$  має наступний вигляд:

1. Взяти перший елемент послідовності.

2. Перевірити, чи виконується умова  $1 \leq \alpha_i \leq q$ . Якщо умова не виконується, то елемент, що аналізується, не належить до класу композицій із заданими  $P$  і  $m$ .

3. Взяти наступний елемент. Якщо номер елемента  $i \leq m$ , то перехід до п.2. Якщо  $i > m$ , то число елементів більше заданого. Помилка.

4. Обчислити суму елементів послідовності  $S = \sum_{i=1}^m \alpha_i$ .

5. Якщо  $S = P$ , то послідовність є композицією. В противному разі послідовність містить помилку.

Порушення цих правил говорить про похибку в прийнятих кодових словах. Виправлення помилок здійснюється завдяки організації перепиту переданих слів [2].

Перешкодостійкий код, що є композицією, можна побудувати на основі багатозначних біноміальних чисел [1] за наступним алгоритмом:

1. Додати до кожної цифри багатозначного біноміального числа одиницю. Цим формуються всі розряди композиції, крім останнього.
2. Обчислити суму  $S$  всіх отриманих в пункті 1 розрядів композиції.
3. Обчислити параметр  $P = q+m=q+k+1$
4. Обчислити  $Z = P - S$ , де  $Z$  дорівнює значенню шуканої цифри останнього  $k+1$ -го розряду композиції.

Декодування (зворотне перетворення) можна здійснити, виконавши наступні кроки:

1. Обчислити цифру багатозначного біноміального числа за формулою:  $a_i = \beta_i - 1$ .
2. Пункт 1 повторювати до тих пір, поки не буде отримана  $k$ -а молодша цифра біноміального числа.

Подальшим кроком в підвищенні ефективності системи зв'язку на основі композицій буде застосування в системі, що розробляється трьохрівневої адаптації до рівня завад [2, 3]. Пристрій контролю каналу зв'язку формує сигнал про необхідність зміни довжини кодової комбінації, що передається або параметра  $P$  в залежності від рівня завад. Таким чином адаптивна система передачі інформації дозволяє забезпечити необхідний рівень достовірності інформації, підвищуючи тим самим ефективність системи.

1. А.А. Борисенко, *Биномиальный счет. Теория и практика* (Сумы: Универ. книга: 2004).
2. В.И. Васильев, *Системы связи* (Москва: Высш. шк.: 1987).
3. Ю.П. Жураковский, В.П. Полтораки, *Теория информации и кодирования* (Київ: Вища шк.: 2001).

## Цифровий дім

Протасова Т.О., *ст. викл.*, Блинний Е.В., *студ.*;

Олійник П.Д., *студ.*

Сумський державний університет, м. Суми

Цифровими стали всі аспекти нашого життя: на роботі, в транспорті, а тепер і вдома. Інформаційні технології дозволяють керувати оселею людини на новому рівні.

Сучасний цифровий будинок, або, як ще кажуть, «розумний дім» – це будинок або квартира, де контроль за всіма або більшістю інженерних систем покладено «на плечі» сучасних технологій. Опалення, освітлення, водо- та енергопостачання, вентиляція, кондиціонування, робота різних електроприладів, сигналізація, відеоспостереження, електроприводи – всім цим керує автоматика. Таким чином, під «розумним» будинком будемо розуміти систему, яка забезпечує комфорт (у тому числі безпеку), та збереження ресурсів. Така система повинна розпізнавати конкретні ситуації, що відбуваються в будинку, і відповідним чином реагувати: одна з систем може управляти поведінкою інших підсистем за заздалегідь ви-робленим алгоритмом.

Подібні технології дозволяють суттєво зекономити основні ресурси, необхідні для функціонування сучасної оселі – економити електрику і воду. Така автоматизація дозволяє економити до 60 % ресурсів.

На сьогодні вже розроблено величезну кількість таких систем, однак вони, як правило, через свою універсальність жахливо дорогі. Запропоновано до розгляду «малі цифрові будинки», що вирішують не весь комплекс завдань, а тільки частину, наприклад, керування опаленням, водопостачанням або керування системами відеоспостереження та охоронної сигналізації, «розважальний цифровий будинок», що забезпечує безмежні можливості для відпочинку та розваг (таких як подорожі в інтернеті / покупки в інтернет-магазинах / редагування цифрових мультимедійних матеріалів / обмін інформацією / запис DVD-дисків / завантаження музики і відео з мережі і т. д.) мешканців та ін.

## Обзорное сравнение МВОК и СССК методов модуляции в широкополосных системах передачи кодированных данных

Дольник А. В., студ.

Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев

В широкополосных системах передачи данных применяются различные виды модуляции, поэтому они отличаются по скорости, способу и дальности передачи данных и т.п.

За счет использования дополнительной модуляции к таким как фазовая (BPSK) и квадратурно-фазовая (QPSK) достигается скорость передачи данных до 11 Мбит/с. Такими модуляциями являются разные виды М-ичной ортогональной модуляции (МОК), квадратурная импульсная модуляция (QAM), фазо-импульсная модуляция (PPM).

Одним из широкоиспользуемых разновидностей МОК является М-ичная двуортогональная модуляция (МВОК). В ней одновременно применяются несколько ортогональных PN-кодов и таким образом информационная скорость увеличивается.

У МВОК достаточно высокий уровень устойчивости к интерференции и высокое соотношение скорости передачи к энергии сигнала. СССК модуляция не так эффективна, как МОК, поскольку в ее алгоритме символы не истинно ортогональны, но СССК обеспечивает более низкий уровень паразитной АМ. «Ахиллесова пята» РМ и СССМ – это чувствительность к многолучевости в точке приема, после отражения от различных препятствий при распространении [2].

На данный момент выбор наиболее эффективного способа модуляции в разработке ШСПД остается постоянно открытым вопросом.

Руководитель: Макаренко В. В., доц.

1. К.В. Боровков, *Перспективные способы передачи данных в широкополосных системах передачи* (Минск: Сетевые решения: 2007)
2. Л.Е. Варакин, *Системы связи с шумоподобными сигналами* (Москва: Радио и связь: 1985).

## Биномиальное сжатие бернуллиевского источника информации

Костель С.В., *ассист.*; Кобзар А.М., *студ.*  
Сумский государственный университет, г. Сумы

Бернуллиевский источник (БИ) информации порождает символы из некоторого алфавита  $A$  с независимыми вероятностями их появления. Невысокая сложность такой модели обуславливает широкое ее использование в задачах сжатия данных. Метод биномиального нумерационного сжатия (БНС) информации был описан в работе [1]. Недостатком его является ориентированность на сжатие двоичной информации. Поэтому актуальной является задача разработки метода БНС для сжатия недвоичной информации, порожденной БИ.

Для решения данной задачи можно воспользоваться моделью векторного представления сообщений [2]. Даная модель для каждого символа в сжимаемом сообщении ставит в соответствие двоичный вектор. Вектор содержит единицы в тех позициях, которые соответствуют позициям символа в сообщении. Полученное множество двоичных векторов сжимается по методу БНС. В результате сжатия двоичный вектор представляется в виде информации о числе единиц в векторе (количестве символов в сообщении) и номера биномиального числа. Сжатое сообщение, порожденное БИ, будет представлять собой множество уникальных символов, содержащихся в сообщении, и соответствующее им множество сжатых двоичных сообщений.

К достоинствам биномиального сжатия данных, порожденных БИ, можно отнести низкую сложность реализации и достаточно высокую эффективность сжатия сообщений при незначительной длине самих сообщений. Сжатые данные являются независимыми друг от друга, что позволяет выполнять операции поиска в сжатом виде и частичного восстановления сжатой информации. Предложенный метод сжатия можно использовать для сжатия информации и базах и хранилищах данных.

1. И.А. Кулик, С.В. Костель, *АСУ и приборы авт.*, No149, 66 (2009).
2. И.А. Кулик, В.В. Гриненко, С.В. Костель, Е.М. Скордина, *Вестник СумГУ*, No3, 60 (2013).

## Биномиальное сжатие информации

Борисенко А.А., *проф.*; Иванчук А.В., *асп.*; Бондарь Е.А., *студ.*;  
Сонин Б.С., *студ.*

Сумский государственный университет, г. Сумы

Предлагаемый метод биномиального сжатия основан на идее одновременного синхронного использования операций двоичного и биномиального счета, начиная с нуля [1,2]. На каждом шаге работы алгоритма преобразования происходит сравнение двоичного числа, предназначенного для перевода в биномиальное число, с двоичными числами, получаемыми в процессе их счета. В случае равенства исходного и одного из перебираемых двоичных чисел одновременно прекращается двоичный и биномиальный счет, а полученное в это время биномиальное число будет представлять собой результат преобразования.

Метод преобразования биномиального числа в двоичное число использует ту же идею последовательного перебора биномиальных и двоичных чисел, начиная с нулевых значений, до тех пор, пока биномиальное число не станет равным исходному переводимому числу. Результат двоичного счета будет представлять итог преобразования.

Методы преобразования двоичных чисел в биномиальные и обратно достаточно просты и гибки, чтобы с их помощью строить как программные, так и аппаратные устройства сжатия информации. С помощью данных устройств сжатия информации можно получить достаточный коэффициент сжатия с хорошим быстродействием устройства.

1. А.А. Борисенко, Биномиальный счет и счетчики (Сумы: СумГУ: 2008).
2. А.А. Борисенко, Биномиальные автоматы (Сумы: СумГУ: 2005).

## Способ однозначного датирования цифрового контента

Полетаев Д.А., доц.

Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского,  
г. Симферополь

Цифровые мультимедийные технологии сегодня распространены чрезвычайно широко. Это и видеоконференции в реальном времени, и фотографии высокого разрешения, и высококачественное аудио. Однако, сама по себе цифровая информация довольно легко искажается и подделывается. Например, с помощью стандартных средств невозможно однозначно установить дату и время создания того или иного медиаматериала. Существует проблема четкой привязки даты и времени к конкретному файлу.

Целью работы является разработка способа для однозначной привязки содержимого конкретного файла (видео, изображение, аудиофайл) к дате и времени его создания.

Задача решается таким образом, что способ включает: операцию генерацию закрытых электронных ключей [1] сервером, которые различаются, в зависимости от текущей даты и времени; генерацию открытых электронных ключей; запрос клиентом сервера на возможность обслуживания; получение цифровой информации клиентом (видео, изображение, звук); передачу блоков информации (размер и количество которых зависит от степени криптографической защиты), требующих шифрования, порядкового номера блока и наименование цифрового контента на сервер; шифрование закрытым ключом, который зависит от текущей даты и времени; передача шифрованной информации от сервера клиенту; запрос клиентом с сервера открытого ключа [1], с помощью которого расшифровывается информация, а именно: части зашифрованной информации, даты и времени создания, номер части информации и наименование цифрового контента.

На разработанное устройство подана патентная заявка и получено положительное решение о выдаче.

1. О.Н. Василенко, *Теоретико-числовые алгоритмы в криптографии* (Москва: МЦНМО: 2003).

## **Теоретико-множественный подход к математическому моделированию технологических процессов**

Бугаенко Д.В., студ.; Новгородцев А.И., доц.;

Сумцов Е.В., студ.

Сумский государственный университет, г. Сумы

При синтезе систем автоматизации производственных процессов широко применяется математическое моделирование технологических процессов производства. Тем не менее, влияние возмущающих факторов различного рода и неполнота априорной информации для определения физических закономерностей, которые лежат в основе формирования технологических процессов производства, приводит к необходимости решать задачи математического моделирования процессов и оценки их состояния в параметрическом и фазовом пространстве. Данный процесс является одним из основных атрибутов для нахождения структур систем автоматизации производственных процессов в классе нестационарных систем.

Предлагается теоретико-множественный подход к математическому моделированию технологических процессов как одного из пунктов синтеза автоматизации на. Рассматриваемый метод математического моделирования позволяет представить изучаемый технологический процесс в виде «набора» отдельных элементов множеств, которые взаимосвязаны между собой отображениями и характеризующих, как количественные, так и качественные показатели систем автоматизации производственных процессов.

В связи с таким подходом нестационарный технологический процесс может быть представлен в теоретико-множественной форме: множеством операций; множеством пропорциональных и интегральных отображений элементов множеств. Таким образом, пользуясь множествами, линейными и интегральными отображениями, можно построить топологическую фигуру в виде направленного динамического графа, от которого можно осуществить переход к математической модели в пространстве состояний и дифференциальной форме. Полученная система дифференциальных уравнений моделировалась на компьютере и тем самым доказана адекватность поведения синтезируемой системы автоматизации производственных процессов.



## **Электронная система нормализации изображений на базе телевизионных устройств**

Лопатченко Б.К., *доц.*; Мандрыка А.А., *студ.*  
Сумский государственный университет, г. Сумы

В автоматизированных системах управления важное место занимает человек-оператор, который контролирует сложную систему в случаях, когда автоматические программы не в состоянии оценить ситуацию и принять решение. По каналу связи от системы к человеку чаще всего поступает зрительная информация, которую нужно распознать. В случае дефицита времени желательнее изображение очистить от несущественной информации, повысив тем самым эффективность работы оператора, а следовательно, и эффективность работы всей системы в целом.

В докладе рассматриваются некоторые психофизические аспекты восприятия зрительных картин, такие как дифференциальные, пространственные и временные пороги, которые будут зависеть от воздействия факторов внутреннего и внешнего происхождения, к примеру, от адаптации, воздействия нескольких раздражителей одновременно, взаимодействия между собой органов чувств человека и т. д.

В докладе также рассматриваются алгоритмы нормализации полутоновых изображений, которые отстраивают распознаваемый объект от яркостных и аффинных преобразований. В отличие от других методов предобработки изображений, которые чаще всего применяются на практике, для последующего распознавания (сегментации, различных фильтров, корреляций и др.) алгоритмы нормализации, в определенных задачах, дают намного большую эффективность.

Анализируются способы реализации таких преобразований в электронных системах аналоговыми и цифровыми методами. Особое внимание уделено выделению параметров нормализации из стандартного телевизионного сигнала, что позволяет применять в автоматизированных системах обычные телевизионные устройства отображения информации.

## О мощности кодового множества квазиравновесных комбинаций

Лопатченко Б.К., доц.; Скордина Е.М., ассист.;  
Павленко Р.В., студ.  
Сумский государственный университет, г. Сумы

В работах [1, 2] рассматривались вопросы построения помехоустойчивых систем передачи данных с использованием равновесных кодов (constant weight code, m-of-n-code). Особенностью данного класса кодов является возможность обнаруживать все однонаправленные ошибки, что обусловило их применение в системах оптической связи, в цифровых системах с обратной связью, таких как Automatic Repeat Query (ARQ). Актуальной является задача нахождения равновесных кодов с заданной ошибкообнаруживающей способностью и максимальным кодовым множеством при минимальной длине кодовой комбинации. Проведенные ранние исследования позволили найти класс квазиравновесных кодов, который близок по ошибкообнаруживающим способностям к равновесному коду, но обладает большей мощностью кодового множества при той же длине кодовой комбинации.

Следовательно, в работе проводится анализ ошибкообнаруживающей способности квазиравновесного кода и нахождение мощности кодового множества при заданных требованиях к ошибкообнаруживающей способности и длине кодовой комбинации, что позволит сформулировать более эффективные области применения этих кодов в телекоммуникационных системах.

1. Впервые рассмотрена возможность применения квазиравновесных кодов в оптических системах связи с обнаружением ошибок, поскольку такой код обладает большей мощностью при той же длине кодового слова.

2. Впервые получены аналитические зависимости отношений мощностей множеств равновесного кода и квазиравновесного кода, построены графики зависимостей.

1. Tenkasi V. Ramabadran, *IEEE T. Commun.* **38**, 1156 (1990).
2. Fang-Wei Fu, Torleiv Klove, Shu-Tao Xia, *IEEE T. Inform. Theory* **46**, 1597 (2000).

## Генерирование равновесных кодовых комбинаций

Борисенко А.А., *проф.*; Гутенко Д.В., *ассист.*;  
Диденко А.Ю., *студ.*

Сумский государственный университет, г. Сумы

Генерация равновесных кодовых комбинаций в случайном или заданном порядке является достаточно распространенной задачей, так как с ее помощью решаются более сложные задачи, среди которых, например, имеется задача по перебору комбинаторных решений. Использование для этой цели программируемых цифровых устройств снижает быстродействие и надежность построенных на их основе генераторов равновесных кодов.

Более надёжные и быстродействующие генераторы можно реализовывать на ПЛМ (программированных логических матрицах). Однако уже при количестве различных генерируемых комбинаций более 1000 оптимальный синтез логических функций для ПЛМ генератора равновесных кодов может оказаться весьма сложным, а его структура теряет однородность, что технологически усложняет его изготовления. Использование же схем в виде дешифратора – шифратора (ПЗУ) повышает однородность структуры генераторов равновесных кодов, однако при этом снижается их быстродействие и надежность, а также увеличиваются аппаратные затраты по сравнению с затратами на ПЛМ, при их оптимальном логическом синтезе.

Поэтому наиболее перспективным направлением на сегодняшний день для построения генераторов равновесных кодовых комбинаций является использование ПЛИС (программируемых логических интегральных схем). Они сочетают в себе достоинства программируемых цифровых устройств и ПЛМ, так как позволяют перепрограммировать цифровые схемы с сохранением их высокого быстродействия и надёжности. При этом в их основу могут быть положены двоичные биномиальные числа, с помощью которых осуществляется простой переход от двоичных комбинаций к равновесным комбинациям.

## Передача даних по енергомережах. PLC технологія

Кулик І.А., доц.; Луценко С.В., студ.  
Сумський державний університет, м. Суми

PLC (Power Line Communication) – технологія, яка використовує електромережі для високошвидкісного обміну даними ("Інтернет з розетки"). В даній технології, яка заснована на частотному поділі сигналу, де потік даних розбивається на кілька підпотоків, які передаються на окремій частоті і потім об'єднуються в один єдиний сигнал. PLC-мережа здатна передавати звук і дані – це реалізується при накладанні аналогового сигналу поверх звичайного змінного струму з частотами 50 Гц або 60 Гц. Реально в PLC технології використовують 84 частоти в діапазонах від 4 до 21 МГц.

PLC включає в себе широкосмугову передачу через ЛЕП (лінії електропередачі), яка гарантує передачу даних зі швидкостями від 1 Мбіт в секунду, і вузькосмугову передачу через ЛЕП з більш меншою швидкістю передачі даних, порівняно з попередньою.

PLC застосовується у двох основних напрямках:

- Широкосмуговий доступ – використовують, в основному, для високошвидкісного доступу в Інтернет, передачі відео та організації локальної мережі.

- Вузькосмуговий доступ – використовують, в основному, для вирішення завдань автоматизації і управління, в тому числі в галузі комерційного обліку енергоресурсів.

Технологія PLC дозволяє, при використанні вже існуючої електричної проводки будівлі, створити комп'ютерну мережу з прямим доступом в Інтернет, встановлювати систему відеоспостереження, проводити автоматизацію підприємства або повний контроль за будинком. Мережні пристрої стандарту HomePlug використовують для передачі даних по лінії електропередачі. Обладнання працює на базі OFDM-модуляції і розраховано на мережі з напругою від 0,4 кВ до 36 кВ.

PLC допомагає розширити можливості при реалізації концепції "Розумного будинку", в якому вся побутова електроніка буде б об'єднана в єдиний інформаційний вузол з можливістю централізованого управління за допомогою PLC-адаптера.

Наукове видання

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ :: 2014**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

(Суми, 21-26 квітня 2014 року)

Відповідальний за випуск  
декан ф-ту ЕЛІТ проф. **С.І. Проценко**

Комп'ютерне верстання доц. **Т.В. Лютого**  
Дизайн обкладинки доц. **Т.В. Лютого**

Відповідальний редактор доц. **Т.В. Лютий**

Стиль та орфографія авторів збережені.

Формат 60 × 84/16. Ум. друк. арк. Обл.-вид. арк. Тираж 100 пр.  
Зам. №

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Р.-Корсакова, 2, м. Суми, 40007,  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №3062 від 17.12.2007.



