

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



# ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ :: 2017**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ**

**(Суми, 17-21 квітня 2017 року)**

Суми,  
Сумський державний університет  
2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,  
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ :: 2017**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

(Суми, 17–21 квітня 2017 року)



Суми  
Сумський державний університет  
2017

## ***Шановні колеги!***

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

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

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

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

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

Web: <http://elitconf.sumdu.edu.ua/index.php/electronics/fee17>.

### **Секції конференції:**

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

Голова оргкомітету

проф. С. І. Проценко

**СЕКЦІЯ № 1**  
**«ТЕОРЕТИЧНА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ФІЗИКА»**

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

**Початок:** 20 квітня 2017 р., ауд. ЕТ 310, 15<sup>00</sup>

1. Langevin equations for suspended magnetic particles drifting under the Magnus force.

Authors: PhD Stud. **Pedchenko B.O.**,  
Stud. Yermolenko A.S.,  
Prof. Denisov S.I.

2. Вплив іонного травлення на фотокаталітичні властивості мікроструктур ZnO.

Автори: асп. **Топоровська Л.Р.**,  
асп. Грицак А.М.,  
доц. Турко Б.І.

3. Индуцированная взаимно-коррелированными шумами бистабильность: параметр порядка.

Автор – ст. преп. Витренко А.Н.,

4. Изохорная теплопроводность изопропилового спирта.

Автори: доц. **Саган В.В.**,  
проф. Константинов В.А.,  
доц. Карачевцева А.В.

5. Супергратки в гнучколанцюгових полімерах, наповнених нанодисперсним металом і/або напівметалом

Автор – проф. Колупасєв Б.Б.,

6. Йонна  $\text{Ag}^+$  електропровідність та термодинамічні властивості магнітного напівпровідника  $\text{AgFeTe}_2$ .

Автори: доц. **Мороз М.В.**,  
доц. Прохоренко М.В.,  
зав. лаб. Рудик Б.П.,  
доц. Нечипорук Б.Д.,  
ст. викл. Соляк Л.В.

7. Спектроскопія відбиття для контролю вмісту каротиноїдів у плодах шипшини.

Автор – пров. наук. співроб. Феденко В.С.

8. Моделювання хвильових процесів в електродинамічних системах міліметрового діапазону довжин хвиль у CST Microwave Studio.

Автори: студ. **Барсегян Н.М.**,  
асп. Буряк І.А.,  
доц. Журба В.О.

9. Анизотропное повреждение листов меди при одноосном растяжении после знакопеременного изгиба.

Авторы: асп. **Даскалица Г.В.**,  
проф. Усов В.В.

10. Текстурные особенности объемных наноструктурных материалов, полученных винтовой экструзией.

Авторы: асп. **Савчук Е.С.**,  
доц. Шкатуляк Н.М.

11. Магнітні властивості полімерних композиційних матеріалів системи пентапласт - AgI.

Автори: асп. **Рокицька Г.В.**,  
доц. Рокицький М.О.,  
пров. наук. співроб. Шевченко А.Д.,  
акад. Шут М.І.

12. Ab initio розрахунки електронної структури твердих розчинів заміщення  $\text{In}_x\text{Tl}_{1-x}\text{I}$ .

Автори: асп. **Кашуба А.І.**,  
доц. Бовгира О.В.,  
проф. Франів А.В.

13. Синергетика структурної організації полімерних ауксетиків.

Автор – доц. Шевчук Т.М.

14. Дослідження роботи сферичного електропружного п'єзокерамічного перетворювача з акустичним заповненням.

Автор – асист. Філіпова Н.Ю.

15. Магнітні властивості багатокомпонентних сплавів системи Cu-Fe-Ni із домішками Al та Si.

Автори: доц. **Кушнерьов О.І.**,  
проф. Башев В.Ф.

16. Учет аномально сильного конфигурационного взаимодействия при описании штарковской структуры мультиплетов иона  $\text{Pr}^{3+}$  в  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$ .

Авторы: доц. **Фомичева Л.А.**,  
доц. Дунина Е.Б.,  
проф. Корниенко А.А.

17. Вплив товщини плівок  $\text{SnS}_2$  на їх оптичні властивості.

Автори: студ. **Подопригора О.О.**,  
асп. Возний А.А.,  
студ. Фролов А.І.,  
проф. Опанасюк А.С.

18. Моделювання теплових процесів у катодному емітері, що має форму параболоїда обертання.

Автор – ст. викл. Тітов І.М.

19. Розрахунок хвильових функцій пр- розсіяння.

Автор – ст. викл. Жаба В.І.

20. Дослідження ефективних перерізів  $(\gamma, n)$ - реакції на ізотопах індію.

Автори: ст. викл. **Жаба В.І.**,  
студ. Глеба Б.М.

21. Исследование поляризации излучения при прохождении через жидкокристаллическую ячейку.

Автор – ассист. Гнатенко А.С.

22. Дослідження широких атмосферних злив на установці «Русалка».

Автори: асп. **Мартишчкін В.О.**,  
доц. Гайсак І.І.,  
доц. Єпішев В.П.,  
студ. Логойда А.І.,  
студ. Гайсак А.І.

## 23. Possible route of the merocyanine-spiropyran transition.

Authors: PhD stud. **Kovalenko O.A.**,  
stud. Belous D.A.,  
prof. Lopatkin Yu.M.,  
prof. Kondratenko P.O.

## 24. Електроємність прототипу молекулярного транзистора.

Автори: асп. Малащенко А.Г.  
студ. Шевченко Ю.О.,  
проф. Кондратенко П.О.,  
проф. Лопаткін Ю.М.

## 25. Теор. груповий аналіз і запис термодинамічного потенціалу при фазових переходах в сегнетоелектриках.

Автор – доц. Шамшин О.П.

## 26. Результат взаємодії молекули аміаку з ПМБ.

Автори: асп. Малащенко А.Г.,  
студ. Коваль С.В.,  
проф. Кондратенко П.О.,  
проф. Лопаткін Ю.М.

## 27. Моделювання множинних параметричних взаємодій гармонік ХПЗ у гвинтовому двопотоковому електронному пучку методом РІС.

Автори: проф. Лисенко О.В.,  
доц. Ромбовський М.Ю.,  
доц. Коваль В.В.,  
студ. Мироненко А.С.



28. Опис кореляцій нуклонів парно-парних ядер в адіабатичному наближенні.

Автори: доц. Плекан Р.М.,  
доц. Пойда В.Ю.,  
студ. Танчак А.М.,  
студ. **Чулей Б.Ю.**

29. Влияние неосевого влёта пучка на формирование мультигармонического спектра в пролетной секции ДСЛСЭ.

Авторы: проф. Лисенко А.В.,  
асп. **Вовк Ю.Ю.**,  
студ. Сережко А.С.,  
студ. Сметанин Н.А.

30. Особливості метаматеріальних систем діапазону НВЧ.

Автори: доц. Рубан А.І.,  
асп. Прокопчук О.В.

31. Magnetic and Mechanical Resonance of a Single Ferromagnetic Nanoparticle in a Viscous Fluid.

Authors: Associate Prof. Lyutyu T.V.,  
PhD stud. Hryshko O.M.

32. Особливості метаматеріальних систем діапазону НВЧ.

Автори: асп. **Рева В.В.**,  
доц. Лютий Т.В.

33. Дослідження впливу конструктивних параметрів п'єзоелектричних перетворювачів в режимі приймання ультразвукових хвиль.

Автор – асист. Романюк М.І.

34. Исследование зависимости коэффициента дифференциальной термоЭДС двухслойных примесных графеновых лент от напряженности внешнего электрического поля.

Автор – доц. Судоргин С.А.

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

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

**Початок:** 18 квітня 2017 р., ауд. ЕТ 216, 15<sup>00</sup>

1. Моделювання процесів плазмово-дугового синтезу вуглецевих нанотрубок.

Автори: студ. Домник А.С.,  
доц. Солдатенко Ю.О.

2. Визначення дисперсійних параметрів енергії плівок  $Zn_2SnO_4$ , отриманих методом спреї-піролізу.

Автори: студ. Салогуб А.О.,  
асп. Климов О.В.,  
асп. Возний А.А.,  
проф. Опанасюк А.С.

3. Дослідження методів реконструкції зображень та розрахунку оптимальної дози опромінення при РКТ.

Автор – студ. Кумеда М.О.  
Керівник – доц. Солдатенко Ю.О.

4. Электродинамические характеристики двухрядных периодических систем

Автори: доц. Рубан А.И.,  
доц. Петровский М.В.,  
асп. Прокопчук О.В.,  
асп. **Шубников В.С.**

5. Electrodynamic properties of defects in photonic crystals

Authors: Assoc. Prof. Petrovskiy M.V.,  
Postgrad. Student **Shubnikov V.S.**,  
Student Strilko A.L.

Supervisor – Assoc. Prof. Lytvynenko G.I.

6. Вплив природи поверхні нанодисперсного наповнювача на релаксаційні процеси в гнучколанцюгових полімерних композитах

Автор – проф. **Колупаєв Б.С.**

7. Вплив металонанодисперсного наповнювача на гістерезисні втрати та внутрішній тиск ПВХ-систем

Автори: наук. співроб. **Палій Т.С.**,  
студ. Павловець М.В.

Керівник – проф. Колупаєв Б.С.

8. Параметри кластерної структури нанокompозитів на основі ПВХ

Автори: доц. Сідлецький В.О.,  
студ. **Боровець Н.Ю.**

9. Залежність електрофізичних властивостей нанокompозитів на основі ПВХ

Автори: доц. Максимцев Ю.Р.,  
студ. **Кректун І.С.**

10. Критичні напруження в підкладці, що виникають при ви­ро­шу­ван­ні ім­пульс­ни­ми ме­то­да­ми рі­дин­но­фа­з­ної е­пі­так­сії

Автори: мол. наук. співроб. **Цибуленко В.В.**,  
ст. наук. співроб. Шутов С.В.

11. Моделирование влияния параметра порядка на световые пули в силицине

Автори: доц. Конобеева Н.Н.,  
студ. **Скворцов Д.С.**

12. Теплопроводність полімерних нанокompозитів системи поліхлортрифторетилен – діоксид олова

Автори: асп. **Тульженкова О.С.**,  
доц. Рокицький М.О.,  
доц. Шут А.М.

13. Optical properties of sandwich structure “ $(\text{Ag}_3\text{AsS}_3)_{0.6}(\text{As}_2\text{S}_3)_{0.4}$  thin films - gold nanoparticles” prepared by pulse laser deposition.

Authors: Stud. **Pal Yu.O.**,  
Prof. Studenyak I.P.

14. Electrical conductivity of “liquid crystal –  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}$  superionic nanoparticles” composites.

Authors: Stud. **Mashiko V.V.**,  
Prof. Studenyak I.P.

15. Вплив режиму охолодження розплаву на кінетику кристалізації чистих металів.

Автори: студ. **Козоріз В.С.**,  
доц. Косинська О.Л.

16. Дослідження процесу кристалізації нанодроту із високоентропійного сплаву AlCoCuFeNi методом класичної молекулярної динаміки

Автор – доц. **Кушнерьов О.І.**

17. Энергетические характеристики электронов в металлической пленке с неидеальной границей.

Автор – доц. **Коротун А.В.**

18. Осциляції енергії Фермі сферичної металевої нанооболонки.

Автори: доц. Коротун А.В.,  
інж. **Коваль А.О.**

19. Наближення Томаса – Фермі для плазмонів у металевому наносферіді.

Автори: доц. Коротун А.В.,  
інж. **Павлище Н.І.**,  
ст. викл. Тітов І.М.

20. Фотолюмінесценція хлориду натрію з нановключеннями срібла

Автори: наук. співроб. **Кузьма В.В.**,  
доц. Конопльов О.М.,  
доц. Митропольський І.Є.

21. Дослідження магнітних властивостей сполук  $Co_xSb_2Te_3$

Автори: доц. Боледзюк В.Б.,  
асп. **Поцілуйко Р.Л.**

22. Подолання дифракційної межі за допомогою суперлінзи

Автор – асп. **Тверденко А. В.**

23. Изменение гидрофильных свойств нанокристаллического порошка  $ZrO_2$  (Mg) под действием плазменного облучения

Автор – асп. **Алексеенко В.П.**

24. Фононна релаксація та внутрішнє тертя полімерних нанодисперсних систем

Автор – ст. викл. **Левчук В.В.**

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

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

Секретар секції – канд. фіз.-матем. наук, асист. Шабельник Ю.М.

**Початок:** 19 квітня 2017 р., ауд. Ц 321, 10<sup>00</sup>

1. Альтернативна методика формування високоентропійних сплавів та їх термо- і магніторезистивні властивості.

Автори: асп. Подуремне Д.В.,  
магістр. Мельничук О.В.,  
магістр. **Швидченко А.В.**,  
мол. наук. співроб. Воробйов С.І.

Керівник – проф. Проценко І.Ю.

2. Магніторезистивні властивості тришарових плівок Ni/Bi/Ni.

Автори: магістр. **Отич П.С.**,  
асп. Подуремне Д.В.,  
інж. Пилипенко О.В.,  
мол. наук. співроб. Воробйов С.І.

Керівник – проф. Проценко І.Ю.

3. Вплив структурно-фазового стану тришарових плівок Co/Bi/Co на їх магніторезистивні властивості.
- Автори: магістр. **Зеленський С.В.**,  
асп. Шабельник Т.М.,  
мол. наук. співроб. Воробйов С.І.
- Керівник – проф. Черноус А.М.
4. Структура і фазовий склад нанокристалічних плівок Ru.
- Автори: студ. Распутько Ю.В.,  
асп. **Логвинов А.М.**
- Керівник – доц. Чешко І.В.
5. Електрофізичні властивості тонких плівок на основі Ru.
- Автори: студ. **Крекшин Д.М.**,  
асп. Логвинов А.М.
- Керівник – доц. Чешко І.В.
6. Вплив матеріалу підкладки на властивості фулеритових плівок.
- Автори: магістр. **Приходько А.М.**,  
магістр. Скубко В.О.,  
пров. фах. Степаненко А.О.
- Керівник – доц. Шумакова Н.І.
7. Вплив товщини немагнітного прошарку на польові залежності наносистем Co/Cu/Fe<sub>x</sub>Ni<sub>100-x</sub>.
- Автор – асп. **Салтиков Д.І.**
- Керівник – доц. Шкурдода Ю.О.
8. Особливості польових залежностей магнітоопору в тришарових плівках Fe<sub>x</sub>Ni<sub>100-x</sub>/Cu/Fe<sub>x</sub>Ni<sub>100-x</sub>/П.
- Автори: доц. Шкурдода Ю.О.,  
магістр. **Шуляренко Д.О.**

9. Вплив товщини немагнітного прошарку із Ду на магніторезистивні властивості тришарових плівок Ni / Ду / Ni.

Автори: асп. Шабельник Т.М.,  
асист. **Шутильєва О.В.**,  
Керівник – проф. Чорноус А.М.

10. Поведінка InSe-фотоперетворювачів при впливі невеликих доз високоенергетичного гамма-випромінювання.

Автори: – наук. співроб. **Сидор О.М.**,  
наук. співроб. Сидор О.А.

11. Особливості розмірної залежності інтегрального коефіцієнта поздовжньої тензочутливості плівок сплаву Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>.

Автор – магістр. **Овруцький А.С.**  
Керівник – доц. Пазуха І.М.

12. Формирование внутренних дефектов в *p-n* структурах SiC для перспективных источников одиночных фотонов.

Автори: ст. научн. сотр. **Краснов В.А.**,  
научн. сотр. Ерохин С.Ю.,  
мл. научн. сотр. Деменский А.Н.,  
ст. научн. сотр. Шутов С.В.

13. Хімічне полірування Cd(Mn)Te травильними композиціями KIO<sub>3</sub> – KI – лактатна кислота.

Автори: доц. Іваніцька В.Г.,  
студ. Тунь Є.І.,  
проф. Мар'янчук П.Д.,  
проф. Фочук П.М.

14. Структурні властивості плівок твердого розчину Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>S.

Автори: асп. Єрьоменко Ю.С.,



студ. Рибальський Я.І.,  
доц. Опанасюк Н.М.

15. Електрофізичні властивості твердих розчинів  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ , легованих Ge.

Автори: проф. Фочук П.М.,  
доц. Никонюк Є.С.,  
асп. **Солодін С.В.**,  
ст. наук. співроб. Захарук З.І.,  
ст. наук. співроб. Дремлюженко С.Г.,  
зав. лаб. Рудик Б.П.

16. Взаємодія електронів середніх енергій з поверхнею NaCl.

Автори: наук. співроб. Маркович Л.М.,  
наук. співроб. Приходько М.В.,  
наук. співроб. Подгорецька Г.Ю.

17. Оптимізація режимів термічної обробки гетероструктури на арсеніді галію.

Автор – асист. Дмитрієв В.С.,

18. Люмінесценція чистих та активованих європієм тонких плівок  $\text{Y}_2\text{O}_3$ .

Автор – асп. Бордун І.О.

19. Структура та коливні спектри тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ .

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

20. Використання термопар Косарева – перспективи та недоліки.

Автор – **Дідоренко О.О.**

21. Гетеропереходи на основі шаруватих кристалів  $\text{FeIn}_2\text{Se}_4$  та  $\text{In}_4\text{Se}_3$ .

Автори: асп. Кушнір Б.В.,  
асп. Ткачук І.Г.

22. Механізми перенесення заряду в опромінених електронами кристалах  $n\text{-InSe}$ .

Автори: кер. від. Ковалюк З.Д.,  
зав. від. Маслюк В.Т.,  
пров. інж. Мегела І.Г.,  
ст. наук. співроб. Мінтянський І.В.,  
ст. наук. співроб. Савицький П.І.

#### СЕКЦІЯ № 4 «ЕЛЕКТРОННЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ»

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

Секретар секції – канд. фіз.-матем. наук., доц. Ткач О.П.

**Початок:** 19 квітня 2017 р., ауд. Ц 325 б, 10<sup>00</sup>

1. Властивості гранульованих плівкових сплавів на основі Fe і Au як матеріалів сенсорних елементів.

Автори: магістр. **Шумакова М.О.**,  
проф. Однодворець Л.В.,  
Керівник – проф. Проценко І.Ю.

2. Термічна стабільність магнітних характеристик спінівентильних систем  $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}/\text{Ag}/\text{Co}$ .

Автори: магістр. **Колоскова О.А.**,  
магістр. Бездідько О.В.,  
доц. Пазуха І.М.,  
проф. Однодворець Л.В.,  
Керівник – проф. Проценко С.І.

3. Изготовление полупроводниковых диодов с применением слоев пористого анодного окисла кремния.  
Авторы: к-т. техн. наук Фролов А.Н.  
вед. инж. Самойлов Н.А.  
мл. научн. сотр. Марончук А.И.
4. Minimal operation current estimation for the temperature sensors based on p<sup>+</sup>-n GaP diode structures.  
Authors: Researcher, S. Yu. Yerochin,  
Junior Researcher, A. N. Demenskiy,  
Senior Researcher, V. A. Krasnov,  
Senior Researcher, S. V. Shutov,  
Lead. Researcher Yu. M. Shwarts.
5. Определение температуры рабочего перегрева серийных быстродействующих выпрямительных диодов FES10G.  
Авторы: мл. научн. сотр. **Деменский А. Н.**,  
научн. сотр. Ерохин С. Ю.,  
ст. научн. сотр. Краснов В. А.
6. Електричні властивості матеріалів плівкових омічних контактів на основі Fe, Cu, Cr і Ge.  
Автори: асист. **Власенко О.В.**,  
ст. викл. Захарченко Н.М.,  
проф. Одноворець Л.В.
7. Магнітооптичні властивості плівкових матеріалів на основі Fe і Ge як чутливих сенсорних елементів.  
Автори: асист. **Власенко О.В.**,  
проф. Одноворець Л.В.
8. Дослідження робочих характеристик польових транзисторів.  
Автори: студ. Наумов Д.О.,  
студ. Мартиненко І.М.,

Керівник – студ. **Разумейко А.О.**,  
проф. Одноворець Л.В.

9. Конструктивні та функціональні особливості спінових транзисторів.

Автори: студ. **Сафіулін В.О.**,  
Керівник – асист. Шабельник Ю.М.

10. Дослідження робочих характеристик джерел оптичного випромінювання.

Автори: студ. **Арєхов М.І.**,  
студ. Левченко Є.О.,  
студ. Литвинов Д.Г.,  
Керівник – проф. Одноворець Л.В.

11. Лабораторний стенд для вимірювання характеристик світлодіодів.

Автори: магістр. **Сущенко Б.І.**,  
асист. Тищенко К.В.,  
доц. Ткач О.П.

12. Вплив температури і магнітного поля на вольт-амперні характеристики магніторезисторів.

Автори: студ. **Одноворець К.С.**,  
доц. Ткач О.П.

13. Изменение гидрофильных свойств нанокристаллического порошка  $ZrO_2(Mg)$  под действием плазменного облучения.

Автори: асп. Алексеенко В.П.

14. Дослідження методів реконструкції зображень та розрахунку оптимальної дози опромінення при РКТ.

Автори: студ. **Кумеда М.О.**,  
доц. Солдатенко Ю.О.

15. The research of piezoelectric transducers for ultrasonic medical systems.

Автори: Student Tychkov D.V.,  
Assoc. Prof. Bazilo C.V.

16. Оптимальний синтез концентричних вихроstromових перетворювачів.

Автор – проф. Гальченко В.Я.

17. Нормування сигналу металоаналізатора для застосування методу лінійного передбачення.

Автор – асп. Абрамович А.О.

18. Розробка віртуальної лабораторної роботи «Дослідження магніторезистивних властивостей плівкових матеріалів».

Автори: асп. Волков С.О.,  
магістр. Остапенко О.С.,  
мол. наук. співроб. Лободюк О.С.

Керівник – проф. Олгодворець Л.В.

19. Генератор НЧ-шума с незалежимою регулюванням показателя форми спектра в двох поддиапазонах.

Автори: асп. Резчиков С.Е.,  
доц. Сергеев В.А.

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

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

Секретар секції – інж. Скордіна О.М.

**Початок:** 19 квітня 2017 р., ауд. ЕТ 211, 13<sup>00</sup>

1. Оптичні властивості і фазовий склад плівок CZTS, отриманих методом спреї-піролізу колоїдального розчину.

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

2. Оцінка методів ентропійного кодування зв'язності сіткової моделі.

Автор – асп. Самусь Н.С.  
Керівник – доц. Ошаровська О.В.

3. Використання технології тривимірного друку для формування струмознімальних контактів в тонкоплівкових сонячних перетворювачах.

Автори: мол. наук. співроб. Знаменщиков Я.В.,  
студ. **Кононов О.К.**,  
асп. Доброжан О.А.,  
проф. Опанасюк А.С.

4. Преобразование фибоначчи-восьмеричных чисел в двоичные.

Авторы: проф. Борисенко А.А.,  
асп. **Мальченков С.М.**,  
студ. Ковган Р.С.,  
студ. Рудь А.А.,  
студ. Геращенко Д.Н.

5. Чорнила на основі металевих та напівпровідникових наночастинок для тривимірного друку.

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

## 6. Виправлення помилок в лічильниках Фібоначчі.

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

## 7. Способы адаптации передачи данных к уровню помех в канале связи.

Авторы: студ. **Ологунлолува Кехинде**,  
студ. Онориукпе Аджири,  
доц. Кулик И.А.

## 8. Постановка задача оценки сжатия на основе двоичных биномиальных чисел.

Авторы: студ. **Хилько Е.В.**,  
студ. Титаренко О.А.,  
доц. Кулик И.А.

## 9. Система керування малої ГЕС

Автори: доц. Гриненко В.В.,  
студ. **Цуканова К.В.**

## 10. The use of gsm-channel in security systems

Authors: Stud. **Zinchenko I.S.**,  
Sen. Lect. Protasova T.O.

## 11. Разработка аппаратного модуля классификации текстовых документов на базе ПЛИС.

Авторы: студ. **Ломотин К.Е.**,  
ст. препод. Романова И.И.

## 12. Оптичні та структурні характеристики шарів MgO, нанесених методом пульсуючого спреї-піролізу.

Автори: студ. **Голиченко О.О.**,

мол. наук. співроб. Д'яченко О.В.,  
доц. Опанасюк Н.М.

13. Структурні характеристики плівок твердого розчину (Zn, Mg) O, осаджених методом пульсуючого спреї-піролізу.

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

14. Создание кода Хэмминга  $V(9,3)$  с помощью порождающей матрицы.

Автори: студ. **Роговой П.А.**,  
студ. Бондаренко Н.С.,  
студ. Кондратьев А.Д.  
Руководитель – проф. Корниенко А.А.

15. Разработка автономного модуля классификации текстов по УДК на базе одноплатного компьютера.

Автор – студ. Козлова Е.С.  
Руководитель – доц. Романов А.Ю.

16. Опромінення за допомогою ND: YAG лазеру тонкої спреї-піролізної плівки CZTS для заліковування структурних дефектів.

Автори: асп. Шамардін А.В.,  
студ. Істратов М.Є.,  
студ. **Рекунов Є.М.**,  
ст. наук. співроб. Курбатов Д.І.  
проф. Опанасюк А.С.

17. Устройство генерирования квазиравновесных кодов.

Автори: студ. **Васильев Е.О.**,  
ассист. Скордина Е.М



18. Пристрій маршрутизації передачі даних в мережі Ethernet.

Автори: студ. **Коваленко Б.О.**,  
доц. Лопатченко Б.К.

19. Аналіз методів забезпечення надійності та високої швидкості передачі даних по енергомережах.

Автори: студ. **Шандиба М.С.**,  
доц. Лопатченко Б.К.

20. Об особенностях построения биномиальных измерительных каналов с повышенной точностью измерения

Авторы: доц. Бережная О.В.,  
студ. **Безгинский В.В.**,  
студ. Ковалева Т.С.,  
студ. Хоруженко Н.В.,  
студ. Клок А.В.

21. Пристрій шифрування даних на основі подвійної перестановки.

Автори: доц. Бережная О.В.,  
студ. **Качан Ю.Ю.**,  
студ. Гермес М.О.,  
студ. Неклець Г.Г.,  
студ. Гребенюк Б.Ю.

22. Система заряду електромобіля.

Автори: студ. **Матвієнко В.О.**,  
доц. Новгородцев А.І.

23. Оценка фазового состояния динамических систем.

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

**СЕКЦІЯ № 6 «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»**

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

Секретар секції – асист. Дяговченко І.М.

**Початок:** 19 квітня 2017 р., ауд. М 304, 11<sup>25</sup>

1. Причини порушення обліку електроенергії та їх виявлення.

Автори: студ. **Захарченко В.В.**,  
асп. Дяговченко І.М.

2. Предпосылки создания электродвигателей 6 кВ циркуляционных насосов с контролем изоляции.

Автори: студ. Пузанков А.Н.

3. Експериментальний пошук точки максимальної потужності сонячної батареї для ефективної роботи трифазного інвертора напруги.

Автори: студ. **Єрмоленко А.С.**,  
студ. Гришко С.П.,  
доц. Петровський М.В.

4. Методи оцінки втрат електричної енергії в електричних мережах.

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

5. Порівняльний аналіз нормативно-правової бази з питань регулювання енергозбереження та освітлення в Україні та країнах ЄС.

Автори: студ. **Гречишкіна П.Б.**,  
студ. Кіях І.А.,  
доц. Лебединський І.Л.

6. Smart Grid як крок до модернізації енергосистеми.  
Автори: студ. Нечипуренко А.В.,  
студ. Коваленко О.С.,  
доц. Волохін В.В.
7. Моделювання роботи активного фільтра гармонічних складових.  
Автори: студ. Ключко О.О.,  
доц. Волохін В.В.
8. Портативний індукційний нагрівач.  
Автори: студ. **Гаврилюк В.С.**,  
студ. Гришко С.П.,  
доц. Волохін В.В.
9. Система прогнозування витрат енергоресурсів для бюджетних установ на основі нейромережових технологій.  
Автори: доц. В'юненко О.Б.,  
доц. Толбатов А.В.
10. Інформаційне забезпечення нижнього рівня управління газотурбінної електростанції.  
Автори: доц. Толбатов А.В.,  
доц. Толбатов В.А.
11. Комплексне випробування двигунів змінного струму після ремонту.  
Автори: студ. Гайворонський М.С.,  
студ. Гвоздак С.С.,  
студ. Зябка А.С.,  
доц. Василега П.О.
12. Гармонічний аналіз періодичних несинусоїдних струмів і напруг у програмному середовищі LabVIEW.

Автори: студ. Петренко Н.С.,  
ст. викл. Шовкопляс О.А.,  
доц. Лебединський І.Л.

13. Вибір режиму роботи нейтралі в мережах напругою 20 кВ.

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

14. Розвиток малої енергетики на базі автономних газотурбінних електростанцій

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

15. Впровадження інформаційних технологій управління газотурбінною електростанцією в різних режимах функціонування.

Автори: доц. Толбатов А.В.,  
доц. Смоляров Г.А.,  
Толбатов С.В.

# **СЕКЦІЯ 1**

**«Теоретична та  
експериментальна фізика»**

## Langevin equations for suspended magnetic particles drifting under the Magnus force

Pedchenko B.O., *PhD Student*; Yermolenko A.S., *Student*;  
Denisov S.I., *Professor*  
Sumy State University, Sumy, Ukraine

The Magnus effect, i.e., dependence of the trajectory of a body on its rotation, is widely used in sport, science and technical applications. Recently we have shown [1, 2] that due to the Magnus force the single-domain ferromagnetic particles, which are suspended in a viscous fluid and subjected to a harmonic driving force and a non-uniformly rotating magnetic field, can perform drift in a preferred direction. This result has been obtained within the deterministic approach when thermal fluctuations, leading to translational and rotational Brownian motion of particles, are ignored. Our estimations show [2] that it is possible for relatively large particles ( $> 10^2$  nm). Therefore, to study the drift phenomenon for smaller particles, it is necessary to account for these fluctuations in basic equations.

To this end, we added the random force and torque into the force and torque balance equations, respectively. Assuming that these equations contain the driving, friction and Magnus forces and the magnetic field and friction torques, we derived the following system of Langevin equations:

$$\mathbf{u} = [\mathbf{e}_x - \gamma \mathbf{e}_x \times (\mathbf{m} \times \mathbf{h})] \sin(2\pi\tau) + \mathbf{f}_r, \quad (1)$$

$$\dot{\mathbf{m}} = -\alpha \mathbf{m} \times (\mathbf{m} \times \mathbf{h}) - \alpha \mathbf{m} \times \mathbf{t}_r, \quad (2)$$

which describes the stochastic dynamics of suspended magnetic particles in dimensionless variables. Here,  $\mathbf{u}$  and  $\mathbf{m}$  are the particle velocity and magnetization,  $\mathbf{h}$  is the time-dependent magnetic field, the overdot denotes the derivative with respect to time  $\tau$ , the sign  $\times$  denotes the vector product,  $\mathbf{e}_x$  is the unit vector along the driving force,  $\alpha$  and  $\gamma$  are the dimensionless parameters [2], and the components of the random force  $\mathbf{f}_r$  and torque  $\mathbf{t}_r$  are independent Gaussian white noises. We used Eqs. (1) and (2) for describing the stochastic dynamics of particles within the Fokker-Planck approach and for finding the temperature dependence of their drift velocity.

1. S.I. Denisov, et al., *J. Nano- Electron Phys* **8**, 04087 (2016).
2. S.I. Denisov, B.O. Pedchenko, *J. Appl. Phys.* **121**, 043912 (2017).

## Вплив іонного травлення на фотокаталітичні властивості мікроструктур ZnO

Топоровська Л.Р., аспірант; Грицак А.М., аспірант;

Турко Б.І., доцент

Львівський національний університет імені Івана Франка,  
м. Львів

За аналогією до роботи [1], у котрій досліджували фотокаталітичні властивості порошку ZnO, для підвищення фотокаталітичної активності мікроструктур ZnO з різною морфологією поверхні (гранулоподібні, мікроголки та мікрооктаподи), синтезованих на кремнієвих підкладках, використано метод короточасного (1,5 хв) іонного травлення. Тестування фотокаталітичних властивостей вихідних та оброблених іонним травленням матеріалів виконано з використанням модельної реакції фотокаталітичної деградації водного розчину барвника - метилоранжу. Значення константи фотокаталітичних реакцій  $k$  знаходили з графіка залежності логарифму нормованої концентрації метилоранжу  $C(t)/C_0$  від часу опромінення водного розчину з мікроструктурами ZnO на кремнієвій підкладці ультрафіолетовою лампою ДРТ-125:

$$\ln[C(t)/C_0] = \ln[A_t^{464}/A_0^{464}] = -kt, \quad (1)$$

де  $C(t)$  – концентрація барвника після його опромінення ультрафіолетом протягом часу  $t$ ,  $C_0$  – початкова концентрація барвника,  $A_0^{464}$  і  $A_t^{464}$  – початкова та після опромінення протягом часу  $t$  оптичні густини розчину барвника на довжині хвилі, що відповідає положенню максимуму у спектрі поглинання  $\lambda = 464$  нм, відповідно.

Отримано наступні значення коефіцієнта  $k$  до і після іонного травлення зразків: гранулоподібні структури –  $7,2 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$  і  $8,1 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ ; мікроголки –  $5,3 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$  і  $5,7 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ ; мікрооктаподи –  $1,9 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$  та  $4,3 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ .

1. N. Savastenko, I. Filatova, et al., *J. Appl. Spectrosc.* **83**, 757 (2016).

## Индукцированная взаимно-коррелированными шумами бистабильность: параметр порядка

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

Рассматривается пространственно однородная стохастическая система с линейной восстанавливающей силой, подверженная воздействию двух взаимно-коррелированных гауссовских белых шумов. При этом один шум – аддитивный, другой – мультипликативный. При определенных условиях система является двухустойчивой, хотя в детерминированной динамике она имеет лишь одно устойчивое состояние. Переход системы из моностабильной в бистабильную аналогичен фазовому (но таковым не является) и может быть охарактеризован параметром порядка. Его вычисление и есть цель данной работы.

Для изучаемого класса систем параметром порядка перехода служат точки максимума плотности вероятности состояния системы. Задача сводится к нахождению корней кубического уравнения. Оно уже исследовалось ранее на предмет количества действительных корней с целью определения критического значения параметра взаимной корреляции, но непосредственно не решалось. Для решения упомянутого уравнения в данной работе используется тригонометрический и гиперболический методы. Получено точное выражение параметра порядка через элементарные функции. Найдены его асимптотики для больших амплитуд шумов.

Установлено: 1) при неограниченном увеличении от порогового значения амплитуды аддитивного шума (параметр взаимной корреляции и амплитуда мультипликативного шума фиксированы) параметр порядка монотонно возрастает от нуля до бесконечности; 2) при неограниченном увеличении от порогового значения амплитуды мультипликативного шума (теперь параметр взаимной корреляции и амплитуда аддитивного шума фиксированы) параметр порядка вначале возрастает от нуля до некоторого конечного максимума, затем начинает спадать и обращается в нуль для бесконечной амплитуды.

1. A.N. Vitrenko, [arXiv:1612.03442](https://arxiv.org/abs/1612.03442) [cond-mat.stat-mech].



**Изохорная теплопроводность изопропилового спирта**

Саган В.В., доцент; Константинов В.А., профессор;  
Карачевцева А.В., доцент

Физико-технический институт низких температур  
имени Б. И. Веркина НАН Украины, г. Харьков

Проведено исследование изохорной теплопроводности изопропилового спирта ( $C_3H_8OH$ ) для образцов различной плотности в широкой области температур от 100 К и до начала плавления.

Данная работа является продолжением изучения переноса тепла в простых одноатомных спиртах [1]. Этот класс веществ в последние годы привлекает внимание многих исследователей, поскольку в них можно относительно просто с помощью специально подобранной тепловой предыстории образца получать различные твердотельные состояния, как со структурным, так и с ориентационным беспорядком.

Для описания экспериментальных результатов в ориентационно упорядоченной фазе изопропилового спирта используется три модели, которые позволяют описать температурную зависимость теплопроводности при температурах порядка и выше дебаевской, все они предполагают, что теплопроводность определяется суммой вкладов фононных и «диффузных» мод:  $\kappa = \kappa_{ph} + \kappa_{dif}$ .

$$\kappa(T) = A_1/T^2 + B_1 \quad (1)$$

где соответствующие вклады фононов и «диффузных» мод определяются как:  $\kappa_{ph} = 2A_1/T^2$ ,  $\kappa_{dif} = B_1 - A_1/T^2$ ;

$$\kappa(T) = A_2/T^{3/2} + B_2 \quad (2)$$

где вклады фононов и «диффузных» мод равны:  $\kappa_{ph} = 3A_2/2T^{3/2}$ ,  $\kappa_{dif} = B_2 - A_2/2T^{3/2}$ ;

$$\kappa(T) = A_3/T + B_3 \quad (3)$$

где член  $A_3/T$  описывает трехфононные процессы переброса, а  $B_3$  – вклад короткоживущих («диффузных») мод.

Проводится сравнение экспериментальных результатов с теорией для 1 и 2 – пропанола, при выборе той или иной модели описания поведения изохорной теплопроводности.

1. V.A. Konstantinov, V.V. Sagan, A.V. Karachevtseva, *FNT* **43**, 479 (2017).

## Супергратки в гнучколанцюгових полімерах, наповнених нанодисперсним металом і/або напівметалом

Колупаєв Б.Б., *професор*.

Міжнародний економіко-гуманітарний університет  
ім. акад. С. Дем'янчука, м. Рівне

Виходячи з того, що в супергратках внутрішнє поле матеріалізоване полімерною матрицею у вигляді межового шару (МШ), досліджено композити, в яких нанодисперсні частинки металів ( $\varphi$ ) (Cu, NiCr, W) і напівметалів (вуглець, різної модифікації) утворюють вузли суперкристалів розмірами  $r$ .

Припустивши, що крім інтер- та інтрамолекулярної взаємодії на мікроблок діють поверхневі сили з боку ультразвукового (уЗ) поля і активних центрів поверхні наповнювача, з використанням гамільтонової моделі, визначено умови закріплення ними елементів структури полімеру. Розрахунок власної частоти коливань ( $\omega_0$ ) наночастинок, відстані між ними ( $d$ ), знання довжини ( $\lambda$ ) УЗ-хвилі дозволили визначити середньологарифмічну частоту коливань супергратки. З умови, що  $r/\lambda \ll 1$ , розрахована функція розподілу поперечного перерізу розсіювання процесу з хвильовим вектором  $q = 2\pi\lambda^{-1}$  і показано, що трансформація довго- та короткохвильових коливань елементів структури визначає величину коефіцієнта теплопровідності системи в залежності від періоду  $L$  макрогратки.

Дослідження величини детермінанта ( $D$ ) стійкості показали, що макрогратка володіє значною термодинамічною стабільністю при  $T_p > T \geq T_c$  (де  $T_p$ ,  $T_c$  – температура склування та розтопу). Вид силової матриці вказує, що модуль поздовжньої деформації не вносить суттєвого вкладу у в'язкопружні характеристики макрогратки, а між вузлами домінує пружний зв'язок. Дослідження вільної енергії композиту встановили, що при  $0 \text{ K} < T \leq T_c$  в макрогратці не буде власного коливного руху вузлів достатньої амплітуди. Відповідно, коректною моделлю суперкристала є низькомолекулярні кристали при  $T \sim 0 \text{ K}$ . Це дозволяє використати супергратку як демпферну систему або трансформатор механічної енергії з регульованою межею ультра- і гіперзвукового діапазону частот вже на стадії синтезу композиту.

**Іонна  $\text{Ag}^+$  електропровідність та термодинамічні властивості  
магнітного напівпровідника  $\text{AgFeTe}_2$** 

Мороз М.В.<sup>1</sup>, доцент; Прохоренко М.В.<sup>2</sup>, доцент;  
Рудик Б.П.<sup>1</sup>, завідувач навчальними лабораторіями;  
Нечипорук Б.Д.<sup>3</sup>, доцент; Соляк Л.В.<sup>1</sup>, старший викладач

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

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

<sup>3</sup> Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне

Система  $\text{Ag-Fe-Te}$  характеризується потрійною фазою  $\text{AgFeTe}_2$ , що належить класу срібловмісних халькогенідних магнітних напівпровідників [1]. Температура конгруентного плавлення  $\text{AgFeTe}_2$  становить 953 К. Сполука кристалізується в структурному типі халькопіриту:  $a = 7.14 \text{ \AA}$ ,  $c = 9.90 \text{ \AA}$  та зазнає поліморфного перетворення при 423 К. Перехід низькотемпературної (НТ) модифікації у високотемпературну (ВТ) супроводжується зростанням енергії активації електронної провідності більше ніж в 2 рази: 0.28 еВ та 0.58 еВ відповідно [2]. Для високотемпературної модифікації характерним є тригональне впорядкування кристалічної ґратки вище 720 К [3].

В роботі наводяться результати досліджень іонної  $\text{Ag}^+$  електропровідності на постійному струмі, а також термодинамічні властивостей НТ та ВТ модифікацій сплаву  $\text{AgFeTe}_2$  з використанням методу ЕРС. Залежності  $\sigma(T)_{\text{Ag}^+}$  отримано двозондовим методом в комірках типу:  $\text{C|Ag|скло Ag}_2\text{GeS}_3|\text{сплав AgFeTe}_2|\text{скло Ag}_2\text{GeS}_3|\text{Ag|C}$  із зондами сплав  $\text{AgFeTe}_2|\text{скло Ag}_2\text{GeS}_3|\text{Ag|C}$  вмонтованих у фторопластовій основі діаметром 2 мм при струмі 1 мкА. Скло  $\text{Ag}_2\text{GeS}_3$  – селективна ( $\text{Ag}^+$ ) провідна мембрана. Вимірювання  $\sigma(T)_{\text{Ag}^+}$  проведено в температурних інтервалах 360–400 К та 435–465 К. Термодинамічні властивості  $\text{AgFeTe}_2$  розраховані на основі температурних залежностей ЕРС електрохімічних комірок типу:  $\text{C|Ag|скло Ag}_2\text{GeS}_3|\text{сплав FeTe}_2, \text{AgFeTe}_2|\text{C}$  в інтервалах 330–390 К та 435–490 К [4].

Із розрахунків отримано: а) питому електропровідність  $\sigma_{360 \text{ К}} = 5.43 \cdot 10^{-2} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ ,  $\sigma_{440 \text{ К}} = 16.0 \cdot 10^{-2} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ ; б) енергію

активації носіїв заряду ( $\text{Ag}^+$ )  $\Delta E_{\text{HT}} = 0.12$  еВ,  $\Delta E_{\text{BT}} = 0.54$  еВ; в) рівняння температурних залежностей енергій Гіббса утворення із елементів НТ та ВТ модифікацій тетрарної фази,  $\Delta_r G$  в кДж/моль:  $\Delta_r G_{\text{HT}} = (-89.41 \pm 0.03) - (-14.70 \pm 0.08) \cdot 10^{-3} T$ ,  $\Delta_r G_{\text{BT}} = (-85.20 \pm 0.13) - (-4.48 \pm 0.27) \cdot 10^{-3} T$ . Розраховані в наближенні  $\Delta C_p = \text{const}$  значення стандартних термодинамічних функцій н.м. та в.м. тетрарної фази становлять:  $\Delta G_{298} = (-85.03 \pm 0.04)$  кДж/моль,  $\Delta G_{298} = (-83.91 \pm 0.21)$  кДж/моль;  $\Delta H_{298} = (-89.41 \pm 0.03)$  кДж/моль,  $\Delta H_{298} = (-85.20 \pm 0.13)$  кДж/моль;  $\Delta_r S_{298} = (-14.70 \pm 0.08)$  Дж/(моль·К),  $\Delta_r S_{298} = (-4.48 \pm 0.27)$  Дж/(моль·К) відповідно.

Висновки:

1) значення термодинамічних функцій обох структурних модифікацій  $\text{AgFeTe}_2$  мало відрізняються;

2) незвичне з огляду на 1) перевищення  $\Delta E_{\text{BT}}$  значення  $\Delta E_{\text{HT}}$  в  $\sim 4.6$  рази пояснюється пониженням температури перебудови тетрагональної ґратки вище 423 К у тригональну ґратку в умовах потенціалформуєчого процесу, і як наслідок – зменшення ефективного перерізу транспортних каналів. Додаткова потенціальна енергія для перебудови отримана: зміщенням катіонів срібла з лівого електроду гальванічного елемента в правий по причині відмінностей в значеннях хімічного потенціалу; перебігом неконтрольованої хімічної реакції в електрохімічній комірці; у вигляді метастабільного стану ґратки  $\text{AgFeTe}_2$  вище 423 К [3];

3) за параметрами питомої провідності та енергії активації носіїв заряду сполука  $\text{AgFeTe}_2$  належить до класу суперіонних матеріалів.

1. M. Quintero, A. Barreto, P. Grima, *Mater. Res. Bul.* **34**, 2263 (1999).
2. Я.А. Угай, *Введение в химию полупроводников* (М.: Высшая школа: 1965).
3. Физико-химические свойства полупроводниковых веществ. Справочник, под ред. А.В. Новоселова. (М.: Наука: 1978).
4. M.V. Moroz, M.V. Prokhorenko, P.Yu. Demchenko, O.V. Reshetnyak, *J. Chem. Thermodyn.* **106**, 228 (2017).

## Спектроскопія відбиття для контролю вмісту каротиноїдів у плодах шипшини

Феденко В.С., *провідний науковий співробітник*  
Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара,  
м. Дніпро

Одним із перспективних напрямів практичного використання спектроскопії відбиття є розробка неруйнівних методів контролю якості лікарської рослинної сировини. При стандартизації плодів шипшини визначають вміст каротиноїдних пігментів як важливий показник біологічної цінності сировини.

Мета роботи – дослідити характеристики спектрів відбиття у видимому діапазоні плодів шипшини для експрес-діагностики вмісту каротиноїдів.

Об'єкти дослідження – плоди різних видів шипшини (*Rosa canina* L., *Rosa micrantha* Smith., *Rosa iberica* Stev. ex Bieb., *Rosa rubiginosa* L.), які зібрані у стадії повної стиглості. Рослинні зразки висушували, подрібнювали, гомогенізували з оксидом магнію. Спектри відбиття препаратів у діапазоні 350-700 нм отримували на спектрофотометрі Спекорд М40 з інтегрувальною фотометричною сферою і касетою для математичної обробки даних. Паралельно визначали вміст каротиноїдів фотометричним методом.

У спектрах відбиття препаратів плодів різних видів шипшини спостерігались дві смуги: флавоноїдів при 368-370 нм та каротиноїдних пігментів, яка представлена мінорним максимумом при 402-406 нм і основним максимумом при 465-474 нм. Довгохвильовий максимум обрано за аналітичний для діагностики накопичення каротиноїдів. Встановлено суттєвий корелятивний зв'язок між вмістом каротиноїдів та інтенсивністю максимуму ( $r = 0,99$ ,  $p = 0,01$  %), що свідчить про наближення до функціональної залежності між цими показниками. Значення інтенсивності аналітичного максимуму стандартного зразка із мінімально допустимим вмістом каротиноїдів може бути використано для експрес-діагностики сировини.

Отримані результати підтверджують перспективність використання спектроскопії відбиття для стандартизації плодів шипшини за вмістом каротиноїдів.

## Моделювання хвильових процесів в електродинамічних системах міліметрового діапазону довжин хвиль у CST Microwave Studio

Барсегян Н.М., студент; Буряк І.А., аспірант;  
Журба В.О., доцент;  
Сумський державний університет, м. Суми

Розробка нових конструкцій пристроїв та приладів НВЧ діапазону неможлива без комп'ютерного моделювання хвильових процесів, які протікають в таких пристроях. Серед програмних середовищ для тривимірного моделювання важливе місце займає CST Microwave Studio, за допомогою якої можна моделювати перехідні процеси у складних електродинамічних системах: хвилеводах, фільтрах, смугових лініях, антенах тощо, а також отримувати S-параметри таких систем. Перевагами CST Microwave Studio є велика кількість інструментів для побудови широкого кола НВЧ конструкцій – від простих резонаторів до складних метаматеріальних структур, – а також наочність візуального представлення результатів моделювання.

Із S-параметрів діелектричного хвилеводу з перерізом  $7,2 \times 3,4$  мм, отриманих у CST Microwave Studio, визначено, що коефіцієнт загасання ( $S_{11}$ ) хвилі основного типу приймає найбільше значення на частоті 15,45 ГГц. Також зроблено висновок, що використовувати такий діелектричний хвилевід доцільно на частотах більше 30 ГГц, оскільки коефіцієнт проходження ( $S_{21}$ ) приймає значення 0,7 і більше. Разом з тим, використання хвилеводу на частотах менше 20 ГГц недоцільно, оскільки більше 50% НВЧ-енергії буде відбито.

Таким чином, середовище CST Microwave Studio є ефективним інструментом для розв'язання широкого кола задач електродинаміки та моделювання характеристик НВЧ систем для подальшого аналізу отриманих результатів та вироблення методик та рекомендацій щодо створення та покращення характеристик електродинамічних систем міліметрового діапазону довжин хвиль.

Робота виконана за підтримки держбюджетної теми №0115U000690.

1. <https://www.cst.com/>
2. David M. Pozar, *Microwave Engineering* 4th edition (New York: Wiley: 2011).

### Анизотропное повреждение листов меди при одноосном растяжении после знакопеременного изгиба

Даскалица Г.В., аспирант; Усов В.В., профессор

Южно-украинский национальный педагогический университет имени  
К. Д. Ушинского, г. Одесса

Для уменьшения внутренних напряжений перед использованием рулонного металла применяется правка (выпрямление) с помощью роликовой правильной машины. В процессе правки происходит деформация металла путем знакопеременного изгиба (ЗИ). Влияние ЗИ на накопление повреждений в листах меди марки М0 в ходе последующих испытаний на одноосное растяжение в различных направлениях листов изучается в данной работе. Машинную правку листов моделировали на специально изготовленном станке. Одноосное растяжение проводили на образцах, вырезанных в направлении прокатки (НП), под углом  $45^\circ$  к НП и поперечном направлении (ПН) из исходного листа и из листов после изгиба на 0,5, 1, 3 и 5 циклов. Определяли пределы текучести  $\sigma_{0,2}$ , прочности  $\sigma_\%$  и относительное удлинение  $\delta$ . При анализе анизотропии поврежденности листов меди был использован симметричный тензор повреждения второго порядка  $D$ . При одноосном растяжении не равен нулю единственный компонент этого тензора

$$D = 1 - \sqrt{E/E_0}, \quad (1)$$

где  $E_0$  и  $E$  модуль упругости неповрежденного материала и текущий модуль, определяемый из испытаний на одноосное растяжение, соответственно). Оценивали поврежденность  $D$ , вызванную напряжениями  $\sigma_{0,2}$  и  $\sigma_\%$ . Поврежденность  $D$  возрастает от 0,39 до 0,44 с увеличением числа циклов ЗИ до 3, а затем уменьшается до 0,42 после 5 циклов ЗИ. Анизотропия механических свойств и поврежденности обусловлена, в основном, кристаллографической текстурой. Обнаружены значимые нелинейные (квадратичные) корреляции  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_\%$ ,  $\delta$  и  $D$  с характеристиками текстуры квадратичные уравнения регрессии. Коэффициенты корреляции составили не менее 0,8.

## Текстурные особенности объемных наноструктурных материалов, полученных винтовой экструзией

Савчук Е.С., аспирант; Шкатуляк Н.М., доцент

Южно-украинский национальный педагогический университет имени  
К. Д. Ушинского, г. Одесса

Целью данной работы является изучение текстуры и ее неоднородности в ферритной стали 10Г2 и сплава алюминия АД31 после винтовой экструзии (ВЭ), которая позволяет получить объемный ультра мелкодисперсный материал (УМЗ) с элементами структуры размером 10-1000 нм. Матрица с винтовым каналом имела параметры  $\beta_{max} = 60^\circ$ ,  $h = 50$  мм (рис. 1). Поперечное сечение матрицы постоянно вдоль и перпендикулярно к оси прессования (ось ВЭ). Угол  $\beta = 0$  на начальных и конечных участках матрицы. Параметры обработки: температура обработки АД31  $20^\circ\text{C}$ , стали  $400^\circ\text{C}$ ; скорость деформирования 3 мм/с;

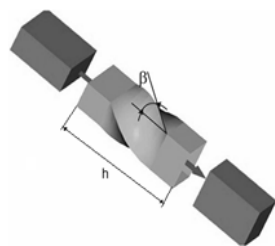


Рисунок 1 – Схема  
обработки ВЭ

скорость деформации  $0,2 \text{ с}^{-1}$ ; противодавление при ВЭ 200 МПа; размер заготовки: сечение  $18 \times 28$  мм, длина 100 мм. Было проведено 2 и 4 прохода для стали и сплава АД31, соответственно. Текстуру изучали методом «на просвет» через каждый миллиметр сечения от внешнего края заготовки к его центру с использованием синхротронного излучения на установке PETRA III неметкого синхротрона DESY в лаборатории HASYLAB (Гамбург, Германия). Показано, что в стали ось ВЭ

вращается вокруг  $\langle 111 \rangle$  от  $\langle 113 \rangle$  в верхней части до  $\langle 110 \rangle$  в нижней части заготовки. Наблюдаются различные компоненты текстуры кручения типа  $\{110\} \langle UVW \rangle$  в различных слоях заготовки. В сплаве АД31 после ВЭ обнаружено усиление текстуры кручения типа  $\{111\} \langle UVW \rangle$  от центра к периферии заготовки. В вышеуказанных текстурах кручения имеется в виду, что плоскости  $\{110\}$  и  $\{111\}$  являются плоскостями сдвига. Вышеописанные текстурные градиенты вызваны неравномерным распределением степени деформации в радиальном направлении заготовки, что характерно для винтовой экструзии.



**Магнітні властивості полімерних композиційних матеріалів  
системи пентапласт - AgI**

Рокицька Г.В.<sup>1</sup>, *аспірант*; Рокицький М.О.<sup>1</sup>, *доцент*;  
Шевченко А.Д.<sup>2</sup>, *провідний науковий співробітник*; Шут М.І.<sup>2</sup>, *академік*  
<sup>1</sup> НПУ імені М.П. Драгоманова, м. Київ  
<sup>2</sup> Інститут металофізики імені Г.В. Курдюмова НАН України, м. Київ

Розвиток науки і техніки потребує неперервного вдосконалення та мініатюризації обладнання. В зв'язку з цим виникає потреба у вивченні та використанні нових конструкційних матеріалів із новими наперед заданими властивостями. Яскравими представниками таких матеріалів є полімерні композиційні матеріали (ПКМ) наповнені дисперсними частинками твердих електролітів. Серед них на особливу увагу заслуговують ПКМ системи пентапласт – AgI.

Дана робота присвячена дослідженню магнітних властивостей ПКМ системи пентапласт – AgI. Зразки для досліджень готували у наступному термо-баро-часовому (Т-р-т) режимі: нагрівання зі швидкістю 3,5 К/хв, витримка при 483 К протягом 15 хв під тиском 20 МПа, охолодження з розплаву з швидкістю 0,5 К/хв, що відповідає найкращим технологічним умовам переробки композиту з урахуванням властивостей як наповнювача, так і полімерної матриці.

Магнітні характеристики ПКМ системи пентапласт – AgI досліджувались при  $T = 293$  К методом магнітометрії на вібраційному магнітометрі “Vibrating Magnetometer 7404 VSM” у магнітних полях з напруженістю 3000 Е. Чутливість магнітометра складала  $10^{-7}$  емо, що дозволяє проводити дослідження магнітного моменту на зразках масою в одиниці міліграмів. Масу досліджуваних зразків визначали за допомогою електронних мікроваг “Mettler Toledo AB135-S/FACT” з автокомпенсацією та чутливістю  $10^{-5}$  г.

Проведені дослідження показали, що пентапласт є типовим діамагнетиком ( $m \approx -0,016$  емо/г). Чистий AgI також характеризується діамагнітними властивостями зі значенням магнітного моменту  $m \approx -0,001$  емо/г. Таким чином, закономірним є те, що зі збільшенням вмісту дисперсного AgI магнітний момент поступово зменшується до значень порядку  $m \approx -0,002$  емо/г для композитів з об'ємною концентрацією  $\varphi = 69$  %.

## Ab initio розрахунки електронної структури твердих розчинів заміщення $\text{In}_x\text{Tl}_{1-x}\text{I}$

Кашуба А.І., аспірант; Бовгира О.В., доцент; Франів А.В., професор;  
Львівський національний університет імені Івана Франка,  
м. Львів

В даній роботі представляються теоретичні дослідження властивостей електронного спектру твердих розчинів заміщення (ТРЗ)  $\text{In}_x\text{Tl}_{1-x}\text{I}$ , які кристалізуються у шаруватій орторомбічній структурі з просторовою групою симетрії  $D_{2h}^{17}$  (Стст).

Для визначення зонної структури ТРЗ  $\text{In}_x\text{Tl}_{1-x}\text{I}$  з перших принципів використано метод нелокального псевдопотенціалу, що зберігає норму. Розрахунки повної енергії кристалів проводились нами самоузгоджено в межах теорії функціонала густини (DFT), а електронні енергії та густини визначено з рівнянь Кона–Шема [1]. Для опису обмінно-кореляційного потенціалу було використано метод узагальненої градієнтної апроксимації (GGA). Представлення цього потенціалу наведені у вигляді Пердью–Бурке–Ернзергофа (PBE) [2].

Для розрахунків використовувались надгратки  $2 \times 1 \times 1$ , побудовані на основі елементарної комірки  $\text{InI}$ . Розглядається ряд кристалів з концентраційним внеском таллієвої компоненти: 0,125; 0,25; 0,375; 0,5; 0,625. Розрахунки проводились на основі експериментально одержаних параметрах елементарної комірки [3].

Отримано зонно-енергетичні діаграми та розподіл густини електронних станів ТРЗ  $\text{In}_x\text{Tl}_{1-x}\text{I}$ . Теоретично одержані значення ширина забороненої зони  $E_g(x)$  добре узгоджуються із експериментальними даними. Аналіз парціальних внесків окремих орбіталей у функцію повної щільності станів та парціальних внесків окремих зон в електронну густину дозволив визначити генезис валентних зон ТРЗ  $\text{In}_x\text{Tl}_{1-x}\text{I}$ .

1. P. Hohenberg, *Phys. Rev.* **136**, 864 (1964).
2. P. Perdew, K. Burke, M. Ernzerhof, *Phys. Rev. Lett.* **77**, 3865 (1996).
3. А.І. Кашуба, С.В. Апунович, *Ж. нано-електрон. фіз.* **8**, 01010(5) (2016).

**Синергетика структурної організації полімерних ауксетиків**

Шевчук Т.М., доцент

Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне

Досліджувався наповнений термопластичний поліуретан (ТПУ) з критичним вмістом наповнювача (для систем ТПУ + Fe складав 52 %, ТПУ + W – 48%, ТПУ+Мо – 43%). За результатами акустичних досліджень для ТПУ-систем визначався коефіцієнт Пуассона, який є від'ємним.

ТПУ-системи, на основі синергетичного підходу, можна розглядати як проміжні структуроутворення між повністю впорядкованими та хаотичними. Такий підхід до структури ТПУ-систем дає можливість розглядати їх як фрактальні і використовувати фрактальні підходи до аналізу наноутворень та надмолекулярної організації в них, а також властивостей. Значення фрактальних розмірностей ТПУ-систем вказують на те, що структуроутворення в них мають лінійний характер, в яких виявляються площинні ефекти. На макрорівні такі системи можна моделювати як лінійні регулярні структури – квазіодномірні ґратки. Вузли таких ґраток складають частинки наповнювача, які з'єднані ланцюгами полімерів, що перебувають у витягнутій або складчастій конформації. Оскільки,  $d_f > 1$ , то в такому одномірному надкристалі присутня міжмолекулярна взаємодія між ґратками за рахунок структурних елементів макромолекул ТПУ. Результати розрахунків  $d_f$  свідчать, що для системи ТПУ+Fe в більшій мірі виявляються площинні ефекти. У рамках моделі наповненого полімеру та фрактального підходу (межовий шар у наповнених полімерах розглядається як наслідок взаємодії двох фракталів – полімерної матриці та поверхні наповнювача) визначали геометричні розміри межового шару ( $l_{m,ш.}$ ). Це дало можливість у рамках перколяційного підходу визначити механічні характеристики ауксетичних полімерних композицій.

Проведені дослідження показали, що ТПУ-системи з від'ємним коефіцієнтом Пуассона можна моделювати як квазіодномірний кристал між частинками якого знаходиться межовий шар. У такій моделі зв'язок між частинками наповнювача здійснюється за рахунок структуроутворень полімеру у вигляді наноутворень з почерговим розміщення областей порядку і безпорядку.

## Дослідження роботи сферичного електропружного п'єзокерамічного перетворювача з акустичним заповненням

Філіпова Н.Ю., асистент, канд. техн. наук  
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Сучасні підводні електроакустичні перетворювачі набули досить складних конструкцій в зв'язку з технологічними прийомами закріплення, забезпечення електроізоляції, герметизації і необхідної міцності перетворювачів. Гідростатичний тиск являється одним з основних факторів, що впливає на ефективність, розміри, вартість перетворювача та можливості його використання. Отже, створення конструкції перетворювача, що протидіє зовнішньому гідростатичному тиску з врахуванням особливостей взаємодії механічних, акустичних та електричних полів, а також способів електродування і використання електричного навантаження електродів є сучасною актуальною задачею [1-2]. Метою роботи, що пропонується, є вияв впливу різних внутрішніх заповнювачів прийомного перетворювача (газ, рідина) на АЧХ вихідного сигналу, за результатами розв'язання «наскрізної» постановки задачі про прийом звуку електропружним сферичним перетворювачем [3].

Для розглянутої смуги частот, обчислених АЧХ напруг на навантаженні електродів перетворювача, та випадку заповнення внутрішньої області перетворювача газом чи рідиною встановлено, що коливальна система характеризується наявністю основного резонансу нульової моди та додаткового, що залежить від електричного навантаження та використаного заповнювача. Зменшення пружності призводить до суттєвого зменшення амплітуди додаткового резонансу, переміщення його по частотній області аж до повного виключення цього резонансу.

1. N.Y. Filipova, A.G. Vlasyuk, O.V. Korzhik, Y.Yamnenko, *IEEE 36th International Conference Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 391, (2016).
2. Н.Ю. Филиппова *Вестник Забайкальского государственного университета*, 01 (104), 74 (2014).
3. О.В. Коржик, *Electronics and communications* **6** (19), 94 (2014).

## Магнітні властивості багатокомпонентних сплавів системи Cu-Fe-Ni із домішками Al та Si

Кушнерьов О.І., доцент; Башев В.Ф., професор

Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, м. Дніпро

У 2004 р були опубліковані перші роботи, присвячені створенню і дослідженню нового класу матеріалів, так званих високоентропійних сплавів (ВЕС), що можуть включати в себе до 13 основних елементів, в концентраціях від 5 до 35%. У даній роботі за допомогою вібраційного магнітометра досліджені магнітні властивості ВЕС  $Al_{0.5}CuFeNi$  та  $CuFeNiSi_{0.5}$  у литому стані (рис. 1). При цьому встановлено, що обидва сплави є феромагнетиками із питомою намагніченістю  $M_S$  відповідно  $28 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$  та  $37 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$ . Підвищене значення  $M_S$  для сплаву  $CuFeNiSi_{0.5}$  вочевидь пояснюється наявністю у ньому ОЦК фази, сформованої на основі феромагнітного  $\alpha$ -заліза [1]. Значення коерцитивної сили для  $Al_{0.5}CuFeNi$  становить  $13.4 \text{ kA/m}$ , а для  $CuFeNiSi_{0.5}$  –  $2 \text{ kA/m}$ , що дозволяє віднести їх до магнітотвердих матеріалів.

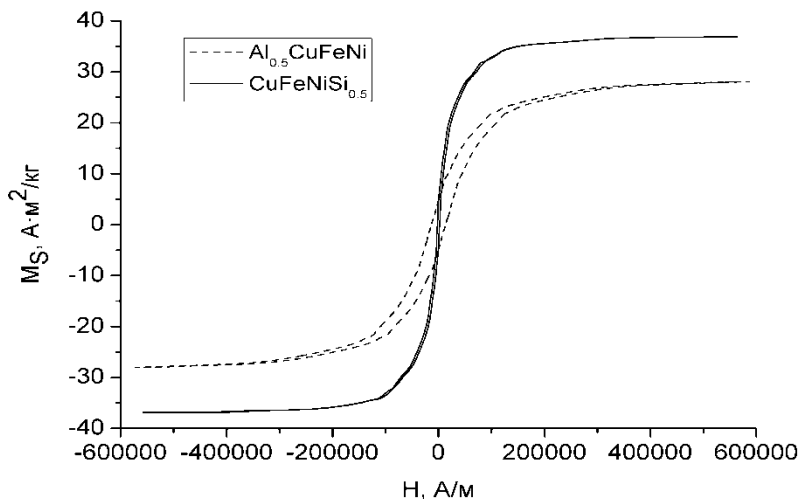


Рисунок 1 – Петлі феромагнітного гістерезису для литих зразків сплавів  $Al_{0.5}CuFeNi$  та  $CuFeNiSi_{0.5}$ .

1. V.F. Bashev, O.I. Kushnerov, *Phys. Met. Metallogr.* **118**, 39 (2017).

**Учет аномально сильного конфигурационного взаимодействия  
при описании штарковской структуры мультиплетов  
иона  $\text{Pr}^{3+}$  в  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$**

Фомичева Л.А.<sup>1</sup>, доцент; Дунина Е.Б.<sup>2</sup>, доцент;

Корниенко А.А.<sup>2</sup>, профессор

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет информатики и  
радиоэлектроники, г. Минск

<sup>2</sup> Витебский государственный технологический университет, г. Витебск

Выполнено описание штарковской структуры мультиплетов иона  $\text{Pr}^{3+}$  в  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$  с помощью модифицированного гамильтониана кристаллического поля, полученного в приближении аномально сильного конфигурационного взаимодействия:

$$H_{cf} = \sum_{k,q} \left\{ B_q^k + \left( \frac{\Delta_d^2}{\Delta_d - E_J} + \frac{\Delta_d^2}{\Delta_d - E_{J'}} \right) \tilde{G}_q^k(d) + \right. \\ \left. + \sum_i \left( \frac{\Delta_{ci}^2}{\Delta_{ci} - E_J} + \frac{\Delta_{ci}^2}{\Delta_{ci} - E_{J'}} \right) \tilde{G}_q^k(c) \right\} C_q^k$$

Здесь  $E_J$ ,  $E_{J'}$  – энергия мультиплетов;  $G_q^k$  – параметры, обусловленные межконфигурационным взаимодействием,  $\Delta$  – энергия возбуждённой конфигурации.

При нормальных условиях кристалл  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$  имеет пространственную группу симметрии  $C2/c$  ( $a = 10.652\text{\AA}$ ,  $b = 10.374\text{\AA}$ ,  $c = 7.582\text{\AA}$ ). В  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$  ион  $\text{Pr}^{3+}$  занимает позиции с локальной симметрией  $C2$ . Среди параметров кристаллического поля при точечной симметрии  $C2$  имеются мнимые, что усложняет теоретические расчеты. Штарковскую структуру иона  $\text{Pr}^{3+}$  в этом случае можно успешно описать, используя симметрию  $C2v$  или  $D3h$ . В данной работе вычисления проводились в рамках симметрии  $C2v$ .

Результаты расчетов показали, что с помощью модифицированного гамильтониана удастся улучшить описание штарковской структуры по сравнению с приближением слабого конфигурационного взаимодействия. Кроме того, на основе экспериментальных данных по штарковской структуре были получены параметры кристаллического поля нечетной симметрии и параметры ковалентности.

**Вплив товщини плівок SnS<sub>2</sub> на їх оптичні властивості**

Подопригора О.О., студент; Возний А.А., аспірант;  
Фролов А.І., студент; Опанасюк А.С., професор  
Сумський державний університет, м. Суми

Бінарна система Sn<sub>x</sub>S<sub>y</sub> має значний потенціал використання в оптоелектроніці та геліоенергетиці. Зокрема, сполука SnS<sub>2</sub> *n*-типу провідності є перспективним матеріалом для створення віконних шарів сонячних елементів через високу рухливість носіїв заряду і широку заборонену зону ( $E_g = 2,24$  еВ). Іншими важливими перевагами сполуки SnS<sub>2</sub> є низька вартість компонентів, широка розповсюдженість їх у земній корі та нетоксичність.

Відомо, що товщина віконного шару є важливим параметром, який впливає на ефективність сонячних елементів. Це пов'язано з залежністю коефіцієнту оптичного пропускання та поглинання матеріалу від товщини. Тому, метою даної роботи є дослідження впливу товщини плівок SnS<sub>2</sub> на їх оптичні властивості.

Плівки дисульфиду олова були отримані методом термічного вакуумного випаровування стехіометричної шихти SnS<sub>2</sub> у квазізамкненому об'ємі (КЗО) на попередньо очищені в ультразвуковій ванні скляні підкладки. Час осадження плівок становив  $t = 4$  хв. Товщина шарів змінювалась в діапазоні 200-1700 нм. Дослідження структурного складу отриманих зразків проводилось методом раманівської спектроскопії (Renishaw InVia90V727 micro-Raman spectrometer). Спектри оптичного пропускання та відбивання знімалися на спектрофотометрі Solid Spec-3700 UV-VIS-NIR в інтервалі довжин хвиль  $\lambda = (300-1500)$  нм. Товщина отриманих плівок вимірювалась фрактографічно за допомогою скануючого електронного мікроскопа FEI Nova NanoSEM 650 Schottky FESEM.

На всіх раманівських спектрах від плівок фіксується інтенсивний пік на частоті  $314 \text{ см}^{-1}$ , а також слабкий при частоті  $205 \text{ см}^{-1}$ . Згідно літературним даним ці моди фононних коливань відповідають 2H політипу сполуки SnS<sub>2</sub>. Відсутність додаткових ліній від фаз SnS або Sn<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, які, як правило, проявляються на раманівських спектрах двофазних шарів свідчить, що зразки є однофазними. На рис. 1 наведені спектри пропускання від плівок SnS<sub>2</sub> різної товщини.

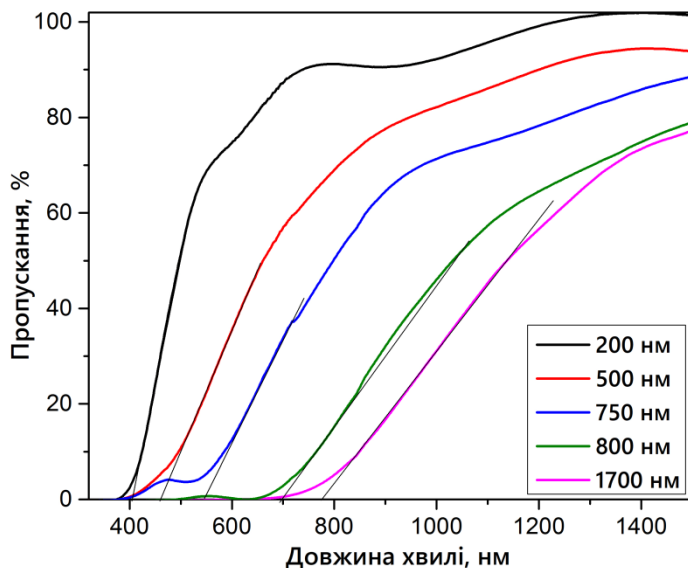


Рис. 1 – Спектри оптичного пропускання від плівок SnS<sub>2</sub>

Зі рисунку добре видно, що для всіх досліджених шарів спектри мають ділянки сильного ( $h\nu < E_g$ ) та слабого ( $h\nu > E_g$ ) пропускання. Встановлено, що збільшення товщини плівок з 200 до 1700 нм приводить до значної зміни положення краю поглинання матеріалу у бік більших довжин хвиль. Це обумовлено тим, що оптична ширина забороненої зони матеріалу зменшує своє значення зі збільшенням товщини плівок SnS<sub>2</sub>. Такий характер зміни спектрів може бути пояснений ефектом зміни ступеня кристалічності плівок та переважною орієнтацією кристалітів в матеріалі, що обумовлює сильну анізотропію його оптичних властивостей.



**Модельовання теплових процесів у катодному емітері, що має форму параболоїда обертанья**Тітов І.М., *старший викладач*Таврійський державний агротехнологічний університет,  
м. Мелітополь

Відомо, що процеси на катодному емітері суттєво впливають на склад плазмового струменя, визначають енергію іонів, що в сукупності визначає властивості покриттів, отриманих вакуумно-дуговим методом. В свою чергу, процеси на емітері значною мірою визначаються його геометрією. До теперішнього часу запропоновані лише математичні моделі, в яких катодний емітер має циліндричну форму. Проте, зрозуміло, що реальною ситуацією є випадок, коли емітер має форму параболоїда обертанья.

В роботі пропонується лінійна двовимірна математична модель розігріву емітера в процесі катодного вакуумно-дугового осадження матеріалів, яка враховує геометрію емітера. Для цього рівняння теплопровідності і граничні умови, записані в системі координат параболоїда обертанья.

Запропонована модель дозволяє визначити умови випаровування емітера в залежності від густини струму емісії для різних матеріалів, а також значення густини емісійного струму, за яких можливий вибух емітера й осадження матеріалу на підкладку. Вона також дає можливість розрахувати температури термоелектронної емісії матеріалів катодів, попередньо оцінити технологічні і фізичні параметри осадження такі, як густина струму емісії і час розігріву емітера до температури випаровування та вплив на вказані параметри геометрії катода.

## Розрахунок хвильових функцій $np$ - розсіяння

Жаба В.І., старший викладач

Ужгородський національний університет, м. Ужгород

Для обрахунку фаз одноканального нуклон-нуклонного розсіяння розглянуто відомий метод фазових функцій [1]. Отримані фазові зсуви аналізуються у роботі [2]. Хвильова функція визначається згідно співвідношення [1]

$$u_l(r) = A_l(r) [\cos \delta_l(r) \cdot j_l(kr) - \sin \delta_l(r) \cdot n_l(kr)], \quad (1)$$

де  $A$ ,  $\delta$  – амплітудна і фазова функції;  $k$  – хвильовий вектор;  $j$ ,  $n$  – функції Ріккати-Бесселя. У роботі [3] в рамках  $J$ - матриці зворотної теорії розсіяння отримано хвильові функції спектроскопічних станів для моделей ISTP. Результати чисельних розрахунків хвильових функцій (1) наприклад для  $^1S_0$ - і  $^1P_1$ - станів  $np$ - розсіяння для нуклон-нуклонного потенціалу Argonne v18 наведено на рисунку 1. Для порівняння значення хвильових функцій приведено у відн. од. Енергії взаємодії нуклонної системи становили  $E_{lab}=10; 50; 150$  і  $350$  МеВ.

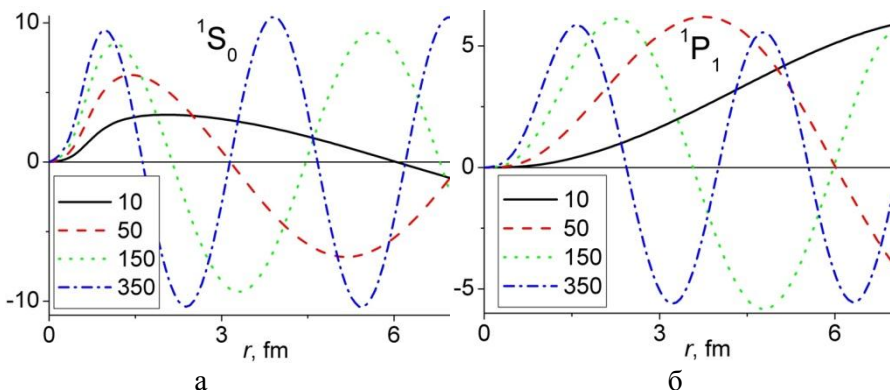


Рисунок 1 – Хвильові функції: (а) для  $^1S_0$ - стану; (б) для  $^1P_1$ - стану

1. В.В. Баби́ков, *Метод фазових функцій в квантовій механіці* (Москва: Наука: 1988).
2. V.I. Zhaba, *Int. J. Mod. Phys. E* **25**, 1650088 (2016).
3. A.M. Shirokov et al., *Phys. Rev. C* **70**, 044005 (2004).

Дослідження ефективних перерізів ( $\gamma, n$ )- реакції на ізотопах індію

Жаба В.І., старший викладач; Глеба Б.М., студент  
Ужгородський національний університет, м. Ужгород

По ізомерним відношенням виходів [1] можна розрахувати переріз збудження ізомерних станів в реакції  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112\text{m}}\text{In}$ . Для цього необхідно знати відомі значення повного перерізу ( $\gamma, n$ )- реакції. При цьому використовуються співвідношення між виходами  $Y$  та інтегральними перерізами  $\sigma_{\text{int}}$ . На Рисунку 1а приведено ефективний переріз реакції  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112\text{m}}\text{In}$ , отриманий методом Пенфольда-Лейсса (позначення як PL) по відомим ізомерним відношенням виходів [1].

Для моделі густини рівнів нукліда (модель Фермі-газу) в інтервалі енергій 10-25 MeV розрахований в TALYS-1.6 [2] переріз реакції  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112\text{m}}\text{In}$  у максимумі лежить дещо нижче експериментальних значень. Якщо ж у теоретичних розрахунках врахувати переріз ( $\gamma, 2n$ )-реакції, то експериментальні і теоретичні дані перерізу співпадають в більш широкому інтервалі. Аналогічні розрахунки проведено для ефективного перерізу реакції  $^{115}\text{In}(\gamma, n)^{114\text{m}}\text{In}$  (див. Рисунок 1б).

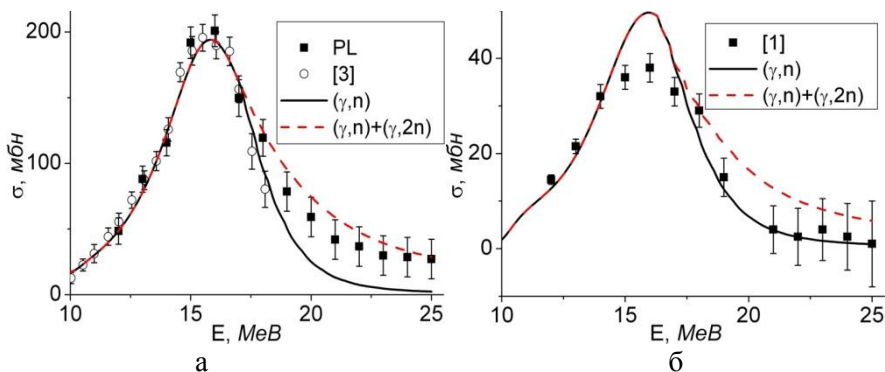


Рисунок 1 – Перерізи реакцій: (а)  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112\text{m}}\text{In}$ ; (б)  $^{115}\text{In}(\gamma, n)^{114\text{m}}\text{In}$

1. В.С. Бохінюк, О.М. Парлаг, В.А. Пилипченко, *Наук. вісник Ужг. унів. Сер. Фізика*, **30**, 154 (2011).
2. TALYS. Home: // [www.talys.eu](http://www.talys.eu)
3. V.M. Mazur, Z.M. Bigan, D.M. Symochko, *Phys. Particl. and Nucl. Lett.* **5**, 374 (2008).

## Исследование поляризации излучения при прохождении через жидкокристаллическую ячейку

Гнатенко А.С., ассистент

Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
г. Харьков

Развитие лазерной техники, а именно, волоконных фемтосекундных лазеров требует постоянного совершенствования методов обеспечения их стабильной синхронизацией мод. Поэтому данная работа предусматривает исследование новых устройств для обеспечения пассивной синхронизации мод, а именно поляризаторов, основанных на жидких кристаллах (ЖК), в волоконных лазерах с кольцевыми резонаторами.

Основной задачей работы является теоретическое исследование прохождения излучения через ЖК ячейку и возможности таких ячеек управлять поляризацией света для дальнейшего обеспечения пассивной синхронизации мод в кольцевых волоконных лазерах. В общем случае решение этой задачи сводилось к решению подзадач:

- расчету распространения электромагнитной волны в ЖК среде;
- расчету деформации директора ЖК под действием внешнего электрического поля, что в свою очередь дает представление об изменении угла наклона поляризации прошедшего излучения, решение этой задачи сводилось к решению уравнения Франка-Озеена:

$$F_{\phi O} = \frac{1}{2} K_{11} (\nabla \cdot n)^2 + \frac{1}{2} K_{22} (n \cdot \nabla \times n)^2 + \frac{1}{2} K_{33} |n \times \nabla \times n|^2 - \frac{1}{2} \epsilon_0 E, \quad (1)$$

где  $K_{11}$ ,  $K_{22}$ ,  $K_{33}$  – постоянные упругости ЖК,  $E$  – внешнее электрическое поле.

Эти задачи были решены с применением численных методов, методов сведения дифференциального уравнения к системе линейных уравнений и метода матриц Джонса.

В результате были получены зависимости угла наклона директора ЖК, угла кручения (твист-эффект), пропускания и интенсивности выходного излучения от приложенного к ЖК ячейке внешнего электрического поля.

**Дослідження широких атмосферних злив на установці «Русалка»**

Мартишичкін В.О., аспірант; Гайсак І.І., доцент;  
Спішев В.П., доцент; Логойда А.І., студент; Гайсак А.І., студент  
Ужгородський національний університет, м. Ужгород

При зіткненнях з ядрами газів в складі повітря космічні частинки створюють ряд ядерних реакцій, які в свою чергу викликають каскад вторинних частинок. Влітаючий в атмосферу протон з енергією в десятки або сотні ТeВ, дає початок другим високоенергетичним частинкам, які взаємодіють з ядрами навколишнього середовища і утворюють наступні покоління частинок.

Проект «Зливи знань» [1] по вивченню широких атмосферних злив вторинних частинок задуманий та реалізований співробітниками Лабораторії ядерних проблем ім. В.П. Дзелепова Об'єднаного інституту ядерних досліджень (м. Дубна). Шість робочих станції експериментальної установки «Русалка» розосереджені на ділянці радіусом біля 300 метрів. Установка працює неперервно і події з кожної робочої станції зберігаються на сервері проекту.

Нами отримано експериментальні дані залежності частоти подвійних збігів між робочими станціями. Відстані між парами робочих станцій лежать в межах 60-255 м. Характерна відстань в експоненціальній залежності збігів від відстані між станціями склала  $46 \pm 10$  м. В одній із піонерських робіт Оже [2], в якій досліджувалися розміри злив, для тих же відстаней між детекторами, отримано характерний розмір злив  $129 \pm 11$  м. Розбіжність величин можна віднести до різних розмірів детекторів (у Оже два детектори по  $200 \text{ см}^2$  та детектори установки РУСАЛКА  $60 \times 80 \text{ см}^2$ ). Крім того, стаціонарна робоча станція установки РУСАЛКА утворена двома детекторами підключеними до схеми збігів. Тобто установка РУСАЛКА чутлива як до розмірів  $50 < R < 300$  м, так і до локальної структури злив ( $R < 1$  м).

1. Ливни знаний. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:  
<http://livni.jinr.ru>
2. P. Auger, et al., *Rev. Mod. Phys.* **11**, 288 (1939).

## Possible route of the merocyanine-spiropyran transition

Kovalenko O.A., *PhD student*; Belous D.A., *student*;  
Lopatkin Yu.M., *professor*; Kondratenko P.O., *professor*  
Rovira i Virgili University, Tarragona, Spain  
Sumy State University, Sumy, Ukraine  
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Modern nanotechnological revolution is based on the use of bistable molecules and molecular ensembles as basic elements of high-tech devices.

In this work quantum-mechanical investigations of the potential surface merocyanine-spiropyran transformation were carried out. Under dark conditions, such transition will be possible when potential barrier with height  $\sim 0.7$  eV is overcome. Rotating the phenyl moiety relative to the plane of the molecule by  $90^\circ$  without simultaneously changing all other parameters of the molecule (optimization of the molecular structure) increases the molecule's energy by 1.376 eV.

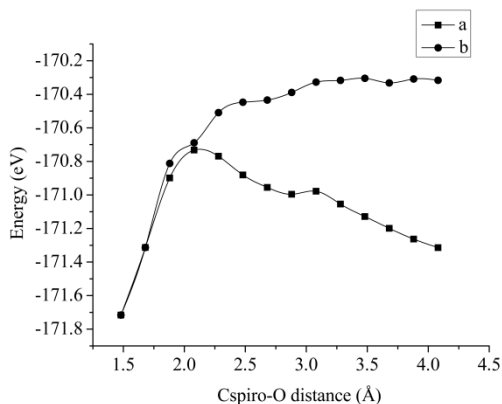


Figure 1 – The dependence of the electron system's energy of the molecule from the Cspiro-O distance in a case of an ordinary MC  $\rightarrow$  SP transition (a) and MC  $\rightarrow$  SP transition with fixed  $90^\circ$  angle between indoline and phenyl (b).

The excitation of the merocyanine molecule to the S1-state makes the rotation of the phenyl moiety by  $90^\circ$  energetically beneficial. At the same time, the energy distance  $\Delta E$  (S0  $\rightarrow$  S1) decreases to 0.58 eV. This ensures a rapid nonradiative relaxation of the excitation of the molecule.

The reversible transformation from spiropyran to merocyanine molecule under the light influence can serve as a conductivity switch of a cell. Such cell will be based on a single spiropyran molecule.

## Електроємність прототипу молекулярного транзистора

Малашенко А.Г.<sup>1</sup>, *аспірант*; Шевченко Ю.О.<sup>1</sup>, *студент*;  
Кондратенко П.О.<sup>2</sup>, *професор*; Лопаткін Ю.М.<sup>1</sup>, *професор*

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

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

Для подальшого моделювання транспорту електрона через транзистор на основі однієї молекули необхідно визначити основні параметри цієї молекули, до числа яких можна віднести ємнісні характеристики.

У даній роботі проводилися дослідження молекули дифеніл з різними замісниками (рис. 1).

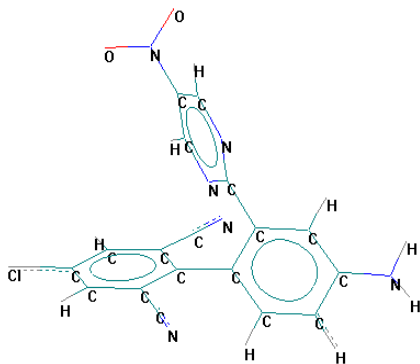


Рисунок 1 – Модель молекулярного транзистора

Для визначення ємності молекул необхідно використовувати інший підхід, ніж для класичних об'єктів, а саме, розглядаючи структуру молекули і просторовий розподіл потенціалу.

У даній роботі взятий до розгляду зв'язок енергетичних параметрів молекули (її енергії спорідненості та іонізації, повної енергії) від її заряду.

В ході квантово-механічного розрахунку отримано значення цих параметрів молекули, за якими була обчислена її власна ємність, яка виявилася рівною  $C = 5,19 \cdot 10^{-20}$  Ф.

## Теор. груповий аналіз і запис термодинамічного потенціалу при фазових переходах в сегнетоелектриках

Шамшин О.П., доцент

Національна академія Національної гвардії України,  
м. Харків

При аналізі фазових переходів (ФП) для запису термодинамічного потенціалу (ТДП), що адекватно описує рід переходу, аномалії фізичних властивостей під час переходу, параметр порядку (п.п.), що викликає ФП, необхідно спочатку провести симетрійний аналіз з метою з'ясування релевантного непривідного уявлення, відповідального за ФП. При симетрійному аналізі також встановлюються співвідношення між компонентами п.п. і перераховуються всі допустимі симетрією спотворення високосиметричної фази, що відбуваються при ФП. Проведення симетрійного аналізу дозволяє записати ТДП, що враховує вплив зовнішніх сил і описує переходи в конкретні орієнтаційні стани. На наступному кроці феноменологічного дослідження ФП за допомогою ТДП будується фазова діаграма для досліджуваного кристала.

Хоча методика рішення як геометричної, так і термодинамічної задачі добре відома, але вона є досить трудомісткою і рутинної. Як правило, розглядаються моделі 4-ї або 6-ї степені за п.п. в ТДП. Облік більш високих степенів п.п. часто не має фізичного сенсу і призводить до чисто математичних труднощів, наприклад, знаходження результату 10-го порядку. Раніше ми пропонували для феноменологічного аналізу ФП використовувати базис Гребнера і будувати ФД за допомогою теорії катастроф [1] і теорії біфуркацій [2].

В роботі розглядаються задача проведення теор. групового аналізу, запис ТДП і побудова ФД вирішуються за допомогою системи комп'ютерної математики Mathematica 10.

1. А.П. Шамшин, Т.М. Изотова, Э.В. Матюшкин, А.В. Десятниченко, *Известия РАН. Серия физическая* **68** №7, 945 (2004).
2. Т.М. Изотова, А.П. Шамшин, Э.В. Матюшкин, Режим доступа: [http://www.ivtn.ru/2004/physmath/enter/r\\_pdf/dp04\\_30.pdf](http://www.ivtn.ru/2004/physmath/enter/r_pdf/dp04_30.pdf).



**Результат взаємодії молекули аміаку з ПМБ**

Малашенко А.Г.<sup>1</sup>, *аспірант*; Коваль С.В.<sup>1</sup>, *студент*;  
Кондратенко П.О.<sup>2</sup>, *професор*; Лопаткін Ю.М.<sup>1</sup>, *професор*

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

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

Для створення датчиків присутності шкідливих газів необхідно задовольнити певним початковим умовам. Перш за все, датчик повинен досить швидко реагувати на присутність шкідливого газу і швидко релаксувати в початковий стан при видаленні цього газу. Перша вимога легко реалізується для тонких полімерних шарів, які містять поліметинний барвник (ПМБ). Для реалізації другої вимоги, необхідно, щоб взаємодія між молекулами газу, наприклад, аміаку і ПМБ було досить слабкою. Цій вимозі може задовольнити утворення водневих зв'язків між зазначеними молекулами.

Введення аміаку у взаємодію з ПМБ, як правило, призводило до зміщення довгохвильової смуги поглинання. Процедура оптимізації геометричної структури комплексу переводила молекулу аміаку до атому водню, пов'язаного з атомом азоту. Таких положень два. Перше положення пов'язане з групою NH, ближньої до замісника  $R_2 = OCF_3$ ,  $OCCl_3$ ,  $COOH$ ,  $NO_2$ , а друге – з групою NH, ближньої до  $R_1 = H$ . Структура комплексу свідчить на користь того, що комплекс утворився завдяки водневому зв'язку між компонентами. Порівняння результатів дослідження для обраних молекул ПМБ показало, що кращий спектральний ефект можна отримати тільки для другого положення молекули аміаку. Енергія зв'язку  $NH_3$  з ПМБ в другому положенні більше на 0,02 eV, ніж в першому. Це дозволяє оцінити співвідношення концентрацій комплексу II типу і комплексу типу I, яке виявилось рівним 2,4. Отже, в динамічно рівноважному стані 70% комплексів будуть представлені комплексом II типу.

Кореляції між енергією водневого зв'язку і величиною зміщення смуги поглинання не виявилось, оскільки смуга поглинання формується  $\pi$ -електронною системою, а водневий зв'язок –  $\sigma$ -електронною системою.

Такого типу датчик газу буде працювати в діапазоні концентрацій аміаку, що не перевищує концентрацію ПМБ в полімерному шарі.

## Моделювання множинних параметричних взаємодій гармонік ХПЗ у гвинтовому двопотоковому електронному пучку методом РІС

Лисенко О.В., *професор*; Ромбовський М.Ю., *доцент*;  
Коваль В.В., *доцент*; Мироненко А.С., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми

Пучкова нестійкість використовується як один з додаткових механізмів підсилення хвиль сигналу в супергетеродинних лазерах на вільних електронах (СЛВЕ). Саме завдяки використанню двопотокової нестійкості у таких пристроях можна досягнути високих інкрементів зростання хвиль. Однією з властивостей двопотокової нестійкості є збудження великої кількості гармонік хвилі просторового заряду (ХПЗ). У двопотоковому електронному пучку виникають множинні резонанси між гармоніками ХПЗ, формується ХПЗ з широким частотним спектром, стає можливим створення мультигармонічних СЛВЕ.

В роботі розглядаємо множинні параметричні взаємодії гармонік ХПЗ у гвинтовому двошвидкісному електронному пучку з близькими за значенням швидкостями та однаковими парціальними плазмовими частотами. Просторовий заряд пучка вважаємо скомпенсованим нерухомим іонним фоном. Як вихідні використовуємо рівняння Ньютона – Лоренца, рівняння для густини заряду і струму та рівняння Максвела. Розв'язок отриманої системи рівнянь проводимо за допомогою методу частинка в комірці (particle in cell (PIC)). Отримуємо комп'ютерну модель, що дозволяє чисельно дослідити динаміку множинних параметричних взаємодій гармонік ХПЗ у гвинтовому двопотоковому електронному пучку.

У результаті аналізу з'ясована динаміка гармонік ХПЗ, що взаємодіють між собою через множинні параметричні резонанси. Визначені довжини, на яких формується ХПЗ з широким частотним спектром. Знайдені довжини, коли відбувається перехід від когерентного режиму взаємодії до турбулентного. Досліджено вплив параметрів (у тому числі кута вльоту електронного пучка відносно повздовжнього магнітного поля  $\alpha$ ) гвинтового електронного пучка на множинні параметричні взаємодії гармонік ХПЗ.

## Опис кореляцій нуклонів парно-парних ядер в адіабатичному наближенні

Плекан Р.М., доцент; Пойда В.Ю., доцент;  
Танчак А.М., студент; Чулей Б.Ю., студент  
Ужгородський національний університет, м. Ужгород

Врахування кутових і радіальних кореляцій нуклонів призводить до необхідності мати методи розрахунку енергетичного спектру парно-парних ядер, які виходять за рамки одонуклонних наближень типу Хартрі-Фока [1]. Вивчення двонуклонних станів у свою чергу дозволяє дослідити природу гігантського дипольного резонансу та структуру нейтронного гало, наявність якого встановлено для ряду легких ядер, а також ефект надплинності ядерної матерії.

У роботі парні кореляції між нуклонами враховуються в рамках адіабатичної тричастинкової моделі ядра [2], в основі якої лежить припущення про розділення руху нуклонів ядра на швидкий рух по кутових змінних і адіабатичний (повільний) вздовж гіперрадіусу.

У рамках запропонованої моделі проводиться теоретичний опис характеристик і основних властивостей спектру парно-парних ядер, які модулюються як системи «остів плюс два нуклони». Ефективне середнє поле ядерного остова моделюється потенціалом Вудса-Саксона з одностинковою спін-орбітальною взаємодією. Кореляції між валентними нуклонами враховуються введенням потенціалу нульового радіусу дії із врахуванням відштовхування нуклонів на малих відстанях.

Ефективність адіабатичного наближення ілюструється на прикладі чисельних розрахунків енергетичних спектрів для цілого ряду парно-парних ядер. Рух ядерного остова враховується введенням координат Якобі та аналізуються основні механізми формування двонуклонних збуджених станів парно-парних ядер. Досліджуються внески у відповідні спектри енергій спарювання, обумовлені залишковою взаємодією тотожних валентних нуклонів.

1. Б.И. Барц, Ю.Л. Болотин, Е.В. Инопин, В.Ю. Гончар, *Метод Хартри-Фока в теории ядра* (Киев: Наук. думка, 1982).
2. Р.М. Плекан, В.Ю. Пойда, І.В. Хіміч, *УФЖ* **49**, 743 (2004).

## **Влияние неосевого влёта пучка на формирование мультигармонического спектра в пролетной секции ДСЛСЭ**

Лысенко А.В., профессор; Волк Ю.Ю., аспирант;  
Сережко А.С., студент; Сметанин Н.А., студент  
Сумский государственный университет, г. Сумы

Двухпотоковые супергетеродинные лазеры на свободных электронах (ДСЛСЭ) имеют исключительно высокие усилительные свойства в миллиметровом – инфракрасном диапазонах длин волн. Такие высокие усилительные свойства ДСЛСЭ обусловлены использованием в качестве дополнительного механизма усиления двухпотоковой неустойчивости. Одним из её ключевых особенностей является возбуждение большого числа гармоник. Благодаря этому появляется возможность формирования сигналов с широким частотным спектром. Процессы возбуждения и нарастания высших гармоник в таких устройствах ранее были изучены для ДСЛСЭ, в которых использовались прямолинейные двухскоростные электронные пучки. Мультигармонические ДСЛСЭ с винтовыми электронными пучками ранее не рассматривались.

В работе в рамках кубически нелинейной теории исследована динамика мультигармонической ВПЗ, которая нарастает благодаря двухпотоковой неустойчивости в двухскоростном винтовом электронном пучке в пролетной секции ДСЛСЭ. Для исследования динамики гармоник ВПЗ в рамках иерархического подхода в теории колебаний и волн использовали квазигидродинамическое уравнение, уравнение непрерывности и уравнения Максвелла. Определены уровни насыщения, проведён анализ влияния параметров винтового электронного пучка на формирование широкого частотного спектра ВПЗ. Показано, что темпы усиления ВПЗ в винтовых пучках существенно выше по сравнению с прямолинейными. Из-за этого при практических одинаковых уровнях насыщения продольные габариты ДСЛСЭ с винтовыми электронными пучками оказываются существенно меньшими по сравнению с устройствами, использующими прямолинейные пучки. Также выяснено, что ширина частотного спектра, формируемого в ДСЛСЭ с винтовыми пучками, больше, чем для ДСЛСЭ с прямолинейными пучками.

## Особливості метаматеріальних систем діапазону НВЧ

Рубан А.І. доцент; Прокопчук О.В., аспірант  
Сумський державний університет, м. Суми

Поява нових напрямків розвитку нанотехнологій, заснованих на використанні композиційних матеріалів – метаматеріалів, відкриває нові можливості у розвитку НВЧ техніки і електроніки. Такі матеріали є штучними періодичними структурами, здатними до модифікації діелектричної і магнітної проникностей, що дозволяє керувати законами дисперсії, заломлення та відбиття електромагнітних хвиль.

На рис.1 представлена модель метаматеріальної системи, що моделює дифракційно-черенковське випромінювання [1], та складається з прямокутної діелектричної призми (ДП) 1 довжиною  $L$ , шириною  $D$  та товщиною  $\Delta$ , на бокову поверхню якої нанесено стрічкову дифракційну ґратку (ДГ) 2. Уздовж ДГ на відстані  $a$  розташований планарний діелектричний хвилевід 3, який запитаний від генератора НВЧ. Встановлено, що зміна діелектричної проникності або товщини ДП приводить до повного внутрішнього відображення черенковського випромінювання від границь ДП (промінь 1) та накопиченню енергії в її об'ємі. Для просторових гармонік дифракційного випромінювання закон повного внутрішнього відображення не виконується, тому випромінювання частково проходить через діелектричний шар і розповсюджується у вільний простір (промінь 2). У випадку нормального випромінювання енергія дифракційного випромінювання повністю виходить у вільний простір (проміні 3).

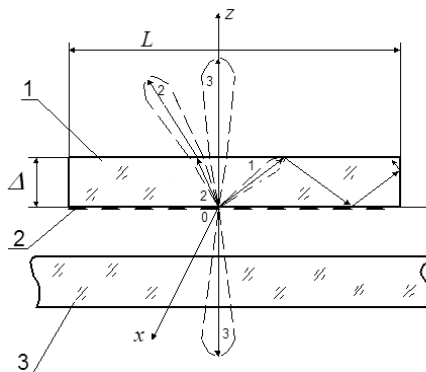


Рисунок 1

1. Vorobjov G.S., Petrovskiy M.V., Ruban A.I., Doroshenko D.Y., *J. Nano- Electron. Phys.* 7(2), 02 (2015).

## Magnetic and Mechanical Resonance of a Single Ferromagnetic Nanoparticle in a Viscous Fluid

Lyutyi T.V., *Associate Prof.*; Hryshko O.M., *PhD Student*  
Sumy State University, Sumy

Resonance is a widely spread phenomenon in our life. The mathematical apparatus for this phenomenon was developed absolutely, and a lot of examples, both desirable and undesirable were studied in detail. Thus, in particular, the resonance behavior of the nanoparticle magnetic moment driven by an external alternating field was scrutinized in [1]. Here the nanoparticle was considered to be embedded into a solid matrix. As it was expected, when the field frequency approaches to resonance frequency  $\omega_r = H_a \gamma$  (where  $H_a$  is the effective anisotropy field,  $\gamma$  is the gyromagnetic ratio), the resonance was observed. But there is a crucial question: how this behavior changes when the easy axis becomes free?

The situation, when the particle is not fixed rigidly, is actually not unique and is typical for nanoparticles, contained in a ferrofluid. Every nanoparticle here is viscously coupled with a carrier and the nanoparticle easy axis can be involved into motion due to anisotropy field  $H_a$ . The description of the nanoparticle rotation and the magnetic dynamics into the rotated nanoparticle was performed in the way, represented in [2]. Further we utilized the linear approximation [1] to obtain analytical expressions for trajectories of the nanoparticle easy axis and the nanoparticle magnetic moment.

The trajectories obtained were analyzed for different system parameters. Special attention paid to the energy, which is dissipated through the viscous rotation of the particle and damping precession of its magnetic moment. It was established that the damping magnetic dynamics makes main contribution into the dissipated energy. But the easy axis oscillations can essentially affect the magnetic dynamics and the resulting energy dissipation. While the viscosity value remains large enough, the asynchronous motion of the magnetic moment and the easy axis takes place. It leads to the dissipation enhancement. But while the viscosity value is small, in contrary, the magnetic moment and the easy axis are rotated synchronously, and the suppression of the dissipation is observed.

1. K.D. Usadel and C. Usadel, *J. Appl. Phys.* **118**, 234303 (2015).
2. T.V. Lyutyi, et. al, *Phys. Rev. B* **91**, 054425 (2015).

## Вплив колективних ефектів на контрольоване нагрівання феррорідини змінним магнітним полем

Рева В.В., аспірант; Лютий Т.В., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми

Магнітні рідини це колоїдні системи, що поєднують у собі властивості рідини та ферромагнетика. Такі особливості породжують великий спектр можливих застосувань, який простягається від медичної (магнітно-резонансна томографія, цільова доставка лікарських засобів, магнітна гіпертермія, біосенсори та інше [1]) до авіакосмічної сфери. Для магнітної гіпертермії, в якій магнітна енергія зовнішнього поля трансформується в теплову і нагріває уражені тканини, важливо контролювати процес нагрівання. Ключовою в цьому відношенні є роль відгуку кожної частинки в рідині на змінне магнітне поле. На зазначений відгук суттєво впливає температура та взаємодія між частинками.

Дослідження засновані на моделі з жорстким диполем [2]. Нами моделюється ансамбль однакових сферичних наночастинок підвішених у рідині. Обертальна динаміка частинок описується ефективним рівнянням Ланжевена [3], що враховує взаємодію з зовнішніми полями (з урахуванням дипольне) та термостатом. Компонента взаємодії, що залежить від покриття наночастинок, що наноситься для попередження їх агрегації, апроксимується потенціалом Ленарда-Джонса. Чисельний розв'язок стохастичних рівнянь руху наночастинок здійснювалося за допомогою паралельних розрахунків з використанням технології CUDA та алгоритму Барнса-Хата, що значно зменшує час симуляції такої великої системи (4192 частинки).

Природно, що максимальне поглинання енергії від зовнішнього поля спостерігається для однієї частинки в чисто динамічному наближенні, коли тепловими флуктуаціями нехтують. Температурний вплив та взаємодія частинок зменшує величину поглинутої енергії. Проте в залежності від параметрів, ці фактори можуть як підсилювати один одного, так і компенсувати. Аналіз результатів проведених симуляцій дозволяє давати рекомендації щодо підбору оптимальних значень параметрів для отримання максимальної швидкості нагрівання.

1. Q. A. Pankhurst, et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36** (13) R167 (2003).
2. Yu.L. Raikher and M.I. Shliomis, *Adv. Chem. Phys.* **87**, 595 (1994).
3. T.V. Lyuty, et al., *Phys. Rev. E* **92**, 042312(8) (2015).

## Дослідження впливу конструктивних параметрів п'єзоелектричних перетворювачів в режимі приймання ультразвукових хвиль

Романюк М.І., *асистент*  
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Вдосконалення технічних характеристик сучасних пристроїв неруйнівного контролю є неможливим без розуміння характеристик та параметрів електроакустичних перетворювачів, які майже повністю їх визначають. Подальший розвиток акустичних методів контролю поверхні металопрокату стримується недостатністю розвитку строгих методів розрахунку первинних перетворювачів [1].

Метою запропонованої роботи, є врахування впливу фізико-математичних та геометричних параметрів п'єзоелектричних перетворювачів на ефективність приймання ультразвукових хвиль на заданому частотному діапазоні.

На основі розрахунку усереднених компонентів осесиметричної складової вектору зміщення матеріальних часток п'єзокерамічного диску проведено дослідження частотної залежності рівня відгуку п'єзоелектричного приймача від значень його конструктивних параметрів [2].

Виходячи з принципу визначення найбільш оптимальної ширини смуги робочої частоти, було досліджено вплив товщини та радіусу чутливого елемента п'єзоелектричного приймача. Показано, що на частото-залежну чутливість п'єзоелектричного приймача мають вплив як наявність шару узгоджуючої рідини, так і його товщина та в'язкість, а також реальні значення електричного навантаження та існування і матеріал тилового акустичної навантаження.

Підбором значень цих конструктивних параметрів здійснюється вплив на частотну характеристику п'єзоелектричного приймача і можливо організувати найбільш широкий діапазон смуги робочих частот.

1. О.Н. Петрищев *Гармонические колебания пьезокерамических элементов* (Київ: Аверс, 2012).
2. О.Н. Петрищев, М.И. Романюк, *Електроніка та зв'язок*. **6(83)**, 110 (2014).



**Исследование зависимости коэффициента дифференциальной термоЭДС двухслойных примесных графеновых лент от напряженности внешнего электрического поля**

Судоргин С.А., доцент

Волгоградский государственный аграрный университет,  
г. Волгоград, Россия

Исследован характер зависимости коэффициента дифференциальной термоЭДС примесных двухслойных графеновых нанолент с адсорбированными на их поверхности атомами водорода во внешнем электрическом поле. Электронная подсистема двухслойных примесных графеновых нанолент рассматривается в  $\pi$ -электронном приближении и описывается известным дисперсионным соотношением [1]. В квазиклассическом приближении времени релаксации при постоянной концентрации электронов проводимости в линейном приближении по величине градиента температуры получено аналитическое выражение для дифференциальной термоЭДС углеродных наночастиц во внешнем электрическом поле. Предложенный метод позволяет рассчитывать дифференциальную термоЭДС не только при слабых полях, когда параметр  $eEb\tau / \hbar T \leq 1$ , где  $b$  – расстояние между соседними атомами углерода в графене,  $\tau$  – время релаксации,  $T$  – температура, выраженная в энергетических единицах, но и при сильных полях, существенно больших, чем те, которые определены данным условием [2]. Зависимость дифференциальной термоЭДС графеновых лент с адсорбированными на их поверхности атомами водорода от амплитуды внешнего постоянного электрического поля изучалась на основе периодической модели Андерсона.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-02-31801).

1. F. Guinea, A.H. Castro Neto, N.M.R. Peres Electronic states and Landau levels in graphene stacks *Phys. Rev. B.* **73**, 245426 (2006).
2. Ю.А. Изюмов, И.И. Чащин, Д.С. Алексеев *Теория сильно коррелированных систем. Метод производящего функционала* (Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»: 2006).

## **СЕКЦІЯ 2**

**«Наноматеріали: властивості та  
застосування»**

## Моделювання процесів плазмово-дугового синтезу вуглецевих нанотрубок

Домник А.С., студент; Солдатенко Ю.О., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми

Вперше багатощарові вуглецеві нанотрубки (ВНТ) було отримано плазмово-дуговим методом у 1991 р. японським фізиком Суміо Ідзімою [1]. Типова схема методу полягає у використанні двох графітових електродів на відстані 1-2 мм. Робоча камера заповнюється буферним газом (гелієм) до тиску порядку 500 Торр. Розряд горить при струмах декілька десятків ампер, напруга на електродах зазвичай близька до 20 В. Іноді катод виготовляють з міді. Через короткий проміжок часу після запалювання розряду анод нагрівається плазмою до достатньо великих температур, щоб спричинити абляцію матеріалу анода. Потоки вуглецю направляються до катода, іонізуються та розігрівають його. Розігрівання катода спричиняє інтенсивну термопольову емісію електронів, достатньої для підтримання розряду.

Сучасні уявлення про процеси, що відбуваються при плазмово-дуговому методі синтезу ВНТ, наблизились до ідеї про самоорганізацію технологічних умов [2]. У нашій роботі проводиться аналіз фізичних процесів у вуглецевій дузі, та на їх основі будується математична модель. Вона являє собою систему з трьох кінетичних рівнянь, у яких залежать від часу температура ростової поверхні, температура поверхні анода, що випаровується, концентрація атомів вуглецю в прикатодній зоні. У роботі показано за допомогою методу фазових портретів, що взаємозалежність цих параметрів і визначає самоорганізацію. Окрім того, розглядаються зміни параметрів стаціонарного режиму розряду, пов'язані з режимами слабкої абляції анода та сильної абляції анода.

1. S. Iijima, *Nature* **354**, 56 (1991).
2. J. Ng, Y. Raitses, *J. Appl. Phys.* **117**, 063303 (2015).

## Визначення дисперсійних параметрів енергії плівок $Zn_2SnO_4$ , отриманих методом спреї-піролізу

Салогуб А.О., студент; Климов О. В., аспірант;  
Возний А. А., аспірант; Опанасюк А.С., професор  
Сумський державний університет, м. Суми

Розвиток технологій висуває підвищені вимоги до матеріалів електроніки та методів їх виробництва. Станат цинку ( $Zn_2SnO_4$ ) сьогодні вважається новим та перспективним матеріалом для створення приладів оптоелектроніки. Завдяки термічній та хімічній стійкості він виступає альтернативою таким матеріалам як ІТО,  $SnO_2$ ,  $ZnO$ . Поряд з цим, для отримання плівок  $Zn_2SnO_4$  (ZTO) можуть бути використані дешеві та безвакуумні методи, наприклад, метод спреї-піролізу.

Для осадження плівок ZTO методом спреї-піролізу використовувався прекурсор, що містив  $0,5\text{ M} - Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $0,25\text{ M} - SnCl_4 \cdot 5H_2O$  з додаванням декількох крапель  $HNO_3$ . При цьому зразки були отримані на скляних підкладках при температурах підкладки  $T_s = (250-450)^\circ\text{C}$ . За допомогою спектрофотометричних методів були отримані експериментальні залежності спектрів пропускання та відбивання шарів ZTO. Визначення коефіцієнтів заломлення та діелектричної проникності плівок, з використанням одноосциляторної моделі Вампле-Дідоменіко, допомогли знайти зв'язок між дисперсійними параметрами  $E_d$  (середня енергія міжзонних оптичних переходів) та  $E_o$  (ефективна енергія дисперсії осцилятора) зразків та умовами їх нанесення.

Отримані значення дисперсійних параметрів осцилятора можна виразити через моменти оптичного спектру:  $E_o^2 = \frac{M_{-1}}{M_{-3}}$ ;  $E_d^2 = \frac{M_{-1}^3}{M_{-3}}$ , де

$M_{-1}$ - значення спектрального моменту, що залежить від числа атомів у сполуці,  $M_{-3}$ - значення спектрального моменту, що залежить від згенерованих електронно-діркових пар. Встановлено, що отримані моменти  $M_{-1}$  та  $M_{-3}$  змінювалися в межах 2,62–3,21 та 0,037–0,049 відповідно, для плівок ZTO нанесених при різній температурі підкладки  $T_s$ .

Отримані результати встановлюють зв'язок між енергією осциляторів та їх флуктуаціями. Вони є корисними для подальшого застосування при створенні пристроїв сенсорики та оптоелектроніки.

**Дослідження методів реконструкції зображень та розрахунку оптимальної дози опромінення при РКТ**

Кумеда М.О., студент; Солдатенко Ю.О., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми

Серед практичних проблем сучасної рентгенівської комп'ютерної томографії виділяються дві актуальні проблеми підвищення швидкості та точності алгоритмів реконструкції зображень, а також оптимізація дози опромінювання пацієнта.

Доза опромінення залежить від ряду факторів, до яких можна віднести параметри дослідження, технічні особливості КТ, досліджувану область і її розміри. Серед основних параметрів, що впливають на дозу, можна виділити напругу на трубіці, анодний струм, час та об'єм вимірювань, товщину зрізу та фільтрацію випромінювання. Ефективними технічними методами зниження дози є модуляція анодного струму та автоматичне управління дозою. Так, при використанні модуляції анодного струму можливо досягти зменшення мА·с на 10–50 % без втрати якості зображення.

Доза випромінювання тісно пов'язана з параметрами реконструкції зображень, тому важливим є визначення переваг та недоліків різних алгоритмів реконструкції. На прикладі фантомних тест-об'єктів була досліджена оптимальність реконструкції зображень методом Фур'є, алгоритму зворотного проєціювання з фільтрацією та без неї. Метод Фур'є є найбільш малоефективним за рахунок трудомістких перетворень. Метод зворотної проєкції дозволяє отримати високі швидкості відновлення зображення, але із втратою якості. Збільшити якість зображення дозволяє фільтрація згортки. Деякою альтернативою інтегральним методам виступає сімейство ітераційних методів реконструкції (ART, SIRT, ILST), які поступаються продуктивністю, але виграють у простоті врахування будь-яких початкових даних та геометрії системи.

2. В.А.Календер, *Компьютерная томография. Основы, техника, контроль качества, области клинического применения* (Москва: Техносфера: 2006).
3. G.L. Zehg, *Medical Image Reconstruction* (London New York: Springer: 2010).

## Электродинамические характеристики двухрядных периодических систем

Рубан А.И. *доцент*; Петровский М.В., *доцент*;  
Прокопчук О.В., *аспирант*; Шубников В.С., *аспирант*  
Сумский государственный университет, г. Сумы

В настоящее время значительный интерес для создания многосвязных широкополосных систем представляют процессы преобразования поверхностных волн в объемные на двухрядных дифракционных решетках (ДР) при возбуждении их диэлектрическим волноводом (ДВ).

Простейшим вариантом двухрядной системы является сочетание решеток из брусьев прямоугольного сечения, расположенных вдоль оси ДВ [1]. В случае, когда нижняя ДР закреплена неподвижно, а верхняя ДР установлена с возможностью параллельного перемещения вдоль оси ДВ на величину  $\Delta d$  (рис. 1а), можно реализовать режимы преобразования поверхностных волн в объемные в двух направлениях по оси  $z$  и использовать ее в связанных открытых резонаторах [2]. Изменение угла поворота  $\alpha$  верхней решетки относительно оси ДВ (рис. 1б) незначительно влияет на волноводные характеристики системы, что свидетельствует о возможности эффективного ответвления части мощности в окружающее пространство при сохранении высоких показателей характеристик основного тракта [2].

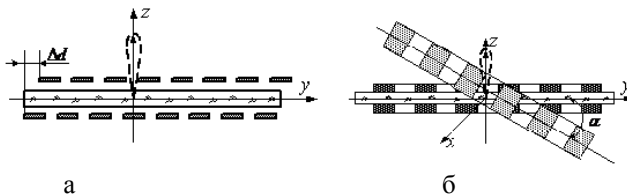


Рисунок 1 – Двухрядные периодические системы

5. В.П. Шестопалов, *Основы миллиметровой и субмиллиметровой техники. Т.1. Открытые структуры* (Киев: Наук. думка: 1985).
4. G.S. Vorobyov, M.V. Petrovskiy, A.I. Ruban, V.S. Shubnikov, O.V. Prokopchuk, *Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW)*, 2016 9th International Kharkiv.

## **Electrodynamic properties of defects in photonic crystals**

Petrovskyi M.V., *Associate Professor*;  
Shubnikov V.S., *Postgraduate Student*; Strilko A.L., *Student*  
Sumy State University, Sumy

Now the electrodynamic systems of terahertz range devices are being improved due to the rapid development of synthetic material media possessing the property of periodicity in several directions which are call photonic crystals.

The implementation of field interaction of photonic crystals with electron beams or dielectric waveguides is based on the formation of linear disturbances of their periodicity, these disturbances having strongly expressed waveguide properties.

A hollow channel in a photonic crystal can be used for transmitting a linear electron beam that interacts with a certain waveguide mode. This approach is used to forma such accelerating systems, where electrons interact with fast waves of a photonic crystal waveguide in the course of their motion.

The dispersive properties of photonic crystal structures caused by the presence of photonic band gaps of interferential origin provide for electromagnetic energy localization in the defect regions. Photonic crystal waveguides (linear defect) and resonators (local defect) are formed on this basis.

The violation of the spatial periodicity complicates the electrodynamic analysis due to lack of translation symmetry. For simple shape defects it is possible to use plane-wave method for determining their eigen modes of the investigated structure. The easiest way of forming waveguide channels is to create a linear defect by changing physical properties of a number of elements, for example, changing their dielectric constant and the diameter of a number of cylinders, or deleting rows. Hollow waveguides are suitable for interaction of wave waveguides with radiation sources.

It is established that electromagnetic properties of photonic crystal structures do not depend on the direction of wave propagation. A wave is totally reflected from the media boundary line with an arbitrary angle of incidence. Hence it is possible to create photonic-crystal waveguides with almost arbitrary bends.

English language adviser: Lytvynenko G.I., *Associate Professor*.

## **Вплив природи поверхні нанодисперсного наповнювача на релаксаційні процеси в гнучколанцюгових полімерних композитах**

Колупасв Б.С., професор

Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне

Одним із найбільш важливих завдань фізики полімерів є з'ясування механізму направленої взаємодії гнучколанцюгового полімеру з поверхнею нанодисперсного наповнювача. Складність його розв'язання обумовлена відсутністю структурно-статистичних моделей опису поведінки гетерогенних полімерних систем (ГПС), починаючи з технології створення і закінчуючи умовами експлуатації, в зовнішніх силових та енергетичних полях.

Запропоновано модель опису процесу високочастотної механічної деформації при одночасній дії температурного поля, що охоплює склоподібний та високоеластичний стан нанокompозиту. В діапазоні  $0 \leq \varphi \leq 1,0$  об.% нанодисперсного наповнювача різної фізико-хімічної природи, аналізується вплив кількості активних центрів поверхні металу (та напівметалу) на зміну лінійних розмірів мікроблоків полівінілхлориду (ПВХ). Розглянуто два типи характеристичної довжини сітки  $l_i$  ( $i = 1, 2$ ):  $l_1$  – утворена завдяки резонансу іонного стану зв'язку C-Cl ( $C^+-Cl^-$ );  $l_2$  – визначається зв'язком активних центрів поверхні металу ( $Cu^+$ ,  $NiCr^+$ ) і/або напівметалу (графіт) з СГ ПВХ по типу донорно-акцепторної взаємодії.

Розглянуто дію на ГПС зовнішньої механічної напруги ( $\gamma = \gamma_0 \exp j\omega t$ ) та показано, що при  $\omega = 0,4 \cdot 10^6$  МГц в'язкопружні і теплофізичні властивості композиту визначаються гнучкістю структуроутворень. Встановлено, що ймовірність їхнього відриву від активних центрів поверхні наповнювача залежить від частоти теплових коливань та енергії зв'язку, впливаючи на ступінь активності інгредієнта і величину вільного об'єму. Це дозволяє використати композит як контейнер для рідких кристалів, здатних працювати в якості світлокерованих матеріалів, сорбентів, фільтрів.



### Вплив металонанодисперсного наповнювача на гістерезисні втрати та внутрішній тиск ПВХ-систем

Палій Т.С., науковий співробітник; Павловець М.В., магістрант  
Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне

Отримали композити в  $T$ - $p$  режимі на основі ПВХ ММ  $1,8 \cdot 10^5$ , наповненого нанодисперсним порошком міді (Cu), синтез якого проводили в два етапи. З експериментально одержаних значень, встановили, що повна деформація ПВХ-системи, обумовлена дією на композит зовнішнім ультразвуковим полем, містить пружну  $\varepsilon_0 = \frac{1}{K}P$  (де  $P = P_0 \sin \omega t$ ) та в'язкопружну ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ) складову, яка зростає в часі  $t$  за законом  $\varepsilon_1 = \frac{1}{G}P_0 \left(1 - e^{-t/\tau_2}\right)$  і при знятті напруги  $P_0$ , спадає як:  $\varepsilon_2 = \frac{1}{G}P_0 e^{-t/\tau_2}$ . Показано, що при  $T < T_1$  наявність енергетичної та ентропійної взаємодії з активними центрами поверхні наповнювача робить вузли сітки нерухомими.

Досліджено вплив структурних елементів на величину внутрішнього тиску системи і показано, що для вихідного ПВХ при  $T = 298\text{K}$  величина  $P_i$  становить  $4 \cdot 10^9$  Па, а при  $T = 353\text{K}$ , відповідно,  $2,9 \cdot 10^9$  Па. та залежить від вмісту інгредієнтів.

Розроблено два методи синтезу нанодисперсних металевих наповнювачів ПВХ. На основі моделі Алфрея-Максвелла отримано аналітичне співвідношення для розрахунку величини внутрішнього тиску та гістерезисних втрат енергії композиту, як результат змін структурно-чутливих характеристик матеріалу [1]. Показано, що найбільш ефективний вплив нанодисперсної міді на комплекс властивостей та характеристик ПВХ-систем відбувається в діапазоні  $(0,05 \div 1,00)$  об.% Cu (ф/х). Вказані шляхи практичного використання ГПС.

Керівник: Колупаєв Б.С., професор

1. С.Я. Френкель, И.М. Цыгельный, Б.С. Колупаев, *Молекулярная кибернетика* (Львов: Свит: 1990).

## Параметри кластерної структури нанокompозитів на основі ПВХ

Сідлецький В.О., *доцент*; Боровець Н.Ю., *магістрант*  
Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне

У рамках кластерної моделі аморфного стану полімерів проведено дослідження впливу природи та об'ємного вмісту нанодисперсних металічних наповнювачів на параметри кластерної структури ПВХ-композитів, де наночастинки металів (Cu, NiCr) вводили методом електричного вибуху провідника. Об'ємний вміст наповнювача варіювався в межах від 0 до 0,5 об. %. Середній розмір частинок міді становив  $(45 \pm 2)$  нм, ніхрому (NiCr) –  $(52 \pm 2)$  нм.

Проведені розрахунки відносної частки кластерів ( $\varphi_{кл}$ ) у структурі полімерних нанокompозитів показали її нелінійну залежність від кількості наповнювача з локальним максимумом при 0,3 об.% металу для обох типів систем. Подальше збільшення об'ємного вмісту інгредієнтів призводить до посилення квазірівноважного характеру надмолекулярного рівня структурної організації матеріалів, причому інтенсивніше цей процес відбувається у композитів з мідним наповнювачем. Розрахунок значень критичного показника термофлуктуаційної кластерної сітки вузлів  $\beta_T$  при температурі  $T$  за співвідношенням

$$\varphi_{кл} = ((T_c - T) / T_c)^{\beta_T},$$

де  $T_c$  – температура склування, показав, що визначальними компонентами ПВХ-композитів у формуванні їх кластерної структури виступають нещільно упакована матриця і топологія частинок наповнювача (з домінуванням саме першого фактору).

Значення фрактальної розмірності  $D$  ділянки ланцюга між зчепленнями для вихідного ПВХ і нанокompозитів обох типів згруповані в інтервалі 1,30–1,35. Це вказує на пригніченість молекулярної рухливості такої ділянки, причому визначальним фактором у цьому виступає структура полімерної матриці, оскільки наявність нанодисперсного наповнювача, незалежно від його природи, практично не впливає на величину  $D$ . Зроблено висновки стосовно практичного використання моделі.

**Залежність електрофізичних властивостей нанокompозитів на основі ПВХ**

Максимцев Ю.Р., *доцент*; Крехтун І.С., *магістрант*  
Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне

Проведено дослідження температурної та частотної залежності електрофізичних характеристик полімерних нанокompонентних систем на основі ПВХ від типу, вмісту і методу отримання інгредієнтів. В якості наповнювача використовували нанодисперсну мідь, отриману методами електричного вибуху провідника (ЕВП) та електрохімічним (ЕХ) методом, а також високо- та нанодисперсний графіт. Об'ємний вміст наповнювача варіювали в межах від 0 до 0,5 об.% для міді, отриманої методом ЕВП та 5 об.% для інших систем. Середній розмір частинок міді становив  $(45 \pm 2)$  нм, високо-, та нанодисперсного графіту (С) –  $(10 \pm 2)$  мкм і  $(45 \pm 5)$  нм відповідно.

Отримані результати дослідження концентраційних і частотних залежностей величин  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\text{tg } \delta$  систем свідчать про те, що електрична релаксація в області слабких електричних полів носить нелінійний характер. Встановлено, що ефективність дії наповнювача залежить від методу його отримання та вмісту в композиті. Показано, що характер концентраційної залежності величини діелектричних характеристик для міді, отриманої ЕХ методом, суттєво відрізняються від міді, отриманої методом ЕВП. Так, для міді, отриманої ЕХ методом значення  $\text{tg } \delta$  для систем ПВХ + 0,2–0,5 об % Cu зменшуються, досягаючи локального мінімуму, а для міді, отриманої методом ЕВП спостерігається відповідне зростання величини діелектричних втрат.

Результати дослідження концентраційної залежності величини питомої провідності ПВХ-систем з графітовим наповнювачем свідчать про нелінійний вплив вмісту наповнювача на поведінку композиту в електричних динамічних полях. Зокрема, на відміну від високодисперсного графіту, в області концентрацій 0–0,5 об.%, для нанодисперсного графіту спостерігається різка зміна величини провідності композиту. Отримані результати пояснені виходячи з молекулярно-кінетичної теорії конденсованого стану речовини та вказані шляхи використання систем в зовнішніх електричних полях (резистори, елементи твердотільної електроніки).

## Критичні напруження в підкладці, що виникають при вирощуванні імпульсними методами рідиннофазної епітаксії

Цибуленко В.В., *молодший науковий співробітник*; Шутов С.В.,  
*старший науковий співробітник*

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України,  
м. Херсон

При використанні імпульсних методів рідиннофазної епітаксії контакт охолодженої підкладки з розчином-розплавом призводить до виникнення градієнту температури по її товщині. При цьому формуються механічні напруження, які можуть призвести до руйнування підкладки.

Метою роботи є дослідження напружень, що виникають по товщині підкладки, при використанні імпульсних методів рідиннофазної епітаксії.

Моделювання проведено для системи Ge-GaAs в діапазоні температур 450÷850 °С. Товщина підкладки – 380 мкм, її початкова температура – 27 °С, товщина Ga-Ge розчину-розплаву – 3500 мкм.

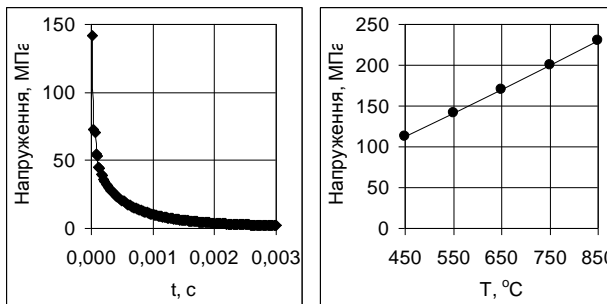


Рисунок 1 – Залежність напружень на границі контакту від часу при температурі розчину-розплаву 550 °С (а), та максимальних напружень на границі контакту від температури розчину-розплаву (б).

Максимальні напруження виникають на границі підкладка-розчин-розплав, і спадають з часом (рис. 1а). Границя міцності GaAs складає біля 150 МПа, отже оптимальним є вирощування при температурі розчину-розплаву нижче за 550 °С (рис. 1б).

**Моделирование влияния параметра порядка на световые пули в силицине**

Конобеева Н.Н., *доцент*; Скворцов Д.С., *студент*  
Волгоградский государственный университет, г. Волгоград

В настоящее время среди многообразия нелинейных сред большой интерес вызывают среды с фазовым переходом (с параметром порядка) с точки зрения их практических применений. С другой стороны, возникает задача о спектроскопии параметра порядка в средах, способных выдерживать экстремально сильные электромагнитные поля и в которых возможно устойчивое распространение световых пульс (СП) [1]. К ним относятся среды, содержащие силицен.

Рассмотрим динамику скалярного параметра порядка:

$$\frac{dP}{dt} = -\Gamma \frac{\delta\Phi}{\delta P} \quad (1)$$

где  $\Gamma$  – кинетический коэффициент,  $P$  – параметр порядка,  $\Phi$  – плотность функционала свободной энергии. Учтем далее, что на электроны силицена будут действовать как электромагнитное поле импульса, так и поле среды, определяемое как:  $E_s = \delta\Phi / \delta P$ .

В трехмерном случае уравнение, описывающее распространение СП в силицине в цилиндрической системе координат имеет вид:

$$A_{tt} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial A}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 A}{\partial \varphi^2} + 4\pi j(A + A_s) \quad (2)$$

здесь  $A$  – вектор-потенциал электрического поля,  $A_s$  – электрическое поле среды.

В результате моделирования удалось остановить, что возрастание скорости релаксации приводит к затуханию амплитуды СП в силицине из-за особенностей релаксационной динамики параметра порядка.

Работа поддержана Министерством образования и науки РФ (проект № МК-4562.2016.2). Численное моделирование выполнено в рамках госзадания Минобрнауки (тема № 2.7860.2017/ПЧ).

1. A.V. Zhukov, R. Bouffanais, N.N. Konobeeva, M.B. Belonenko, *Phys. Lett. A*. **38**, 3117 (2016).

## Теплопровідність полімерних нанокompозитів системи поліхлортрифторетилен – діоксид олова

Тульженкова О.С., аспірант; Рокицький М.О., доцент;  
Шут А.М., доцент  
НПУ імені М.П. Драгоманова, м. Київ

Завдяки унікальним фізико-хімічним властивостям і значному потенціалу прикладного використання дослідження полімерних нанокompозитів є актуальним завданням. Серед таких нанокompозитів високі потенційні можливості для створення матеріалів з високими показниками захисних та поглинаючих властивостей із заданими електро- та теплофізичними властивостями та низьким вмістом нанодисперсних наповнювачів мають полімерні нанокompозити системи поліхлортрифторетилен (ПХТФЕ) – діоксид олова ( $\text{SnO}_2$ ).

Дана робота присвячена дослідженню теплопровідності полімерних нанокompозитів системи ПХТФЕ –  $\text{SnO}_2$ . Зразки для досліджень готували наступним чином: суміш ПХТФЕ з розміром частинок 200 нм за формою близькою до сферичної та  $\text{SnO}_2$  з розміром частинок  $40 \div 150$  нм гомогенізували в рідинному акустичному середовищі і після термообробки в термовакuumній шафі пресували з розплаву полімеру в однакових термобаричних умовах ( $T = 513$  К,  $p = 32$  МПа), що відповідає технологічним умовам переробки ПХТФЕ у виробі при об'ємних концентраціях  $\text{SnO}_2$   $0 \div 54$  % (об.).

Вимірювання температурної залежності теплопровідності в інтервалі температур  $313 \div 503$  К проводили при неперервній зміні температури нагрівника в режимах, близьких до регулярного нагріву, з використанням динамічного  $\lambda$ -калориметра, що являє собою модернізований вимірювач теплопровідності “ИТ- $\lambda$ -400”.

Одержані в результаті досліджень температурні та концентраційні залежності коефіцієнта теплопровідності ( $\lambda$ ) показують, що загалом концентраційна залежність  $\lambda$  може бути розділена на три зони. Перша зона ( $0 \div 3$  %), що відповідає незначній зміні теплопровідності, переходить у другу зону ( $3 \div 10$  %), яка відповідає досягненню та розвитку порогу перколяції, супроводжується помітним зростанням  $\lambda$  ( $0,13 \div 20$  Вт/(м·К) і переходить у третю зону ( $10 \div 54$  %), де значення  $\lambda$  продовжує зростати, але значно повільніше ніж у другій зоні.

**Optical properties of sandwich structure “(Ag<sub>3</sub>AsS<sub>3</sub>)<sub>0.6</sub>(As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>0.4</sub> thin films - gold nanoparticles” prepared by pulse laser deposition**

Pal Yu.O., *Student*; Studenyak I.P., *Professor*  
Uzhhorod National University, Uzhhorod

Among silver-containing chalcogenides Ag-As-S ternary system are take the remarkable place. Glasses and composites of Ag-As-S system are promising materials for creation of solid electrolytes, electrochemical sensors, electrochromic displays etc. In the recent years surface plasmon resonance has been used to enhance photostructural changes due to the laser light. Therefore, it was of a certain interest to obtain and examine such effects in the new investigated Ag-As-S thin films.

Synthesis of (Ag<sub>3</sub>AsS<sub>3</sub>)<sub>0.6</sub>(As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>0.4</sub> composite was carried out at a temperature of 700 °C for 24 h with subsequent melt homogenization for 72 h. Gold nanoparticles (GNP) were obtained at the silicaglass substrates by annealing of previously deposited by thermal evaporation thin films of gold. Subsequently, the GNP layer were covered with the (Ag<sub>3</sub>AsS<sub>3</sub>)<sub>0.6</sub>(As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>0.4</sub> thin film, deposited by pulse laser deposition from the corresponding material. Optical transmission spectra of sandwich structure based on (Ag<sub>3</sub>AsS<sub>3</sub>)<sub>0.6</sub>(As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>0.4</sub> thin film and gold nanoparticles were studied in the interval of temperatures 77–300 K by an MDR-3 grating monochromator.

The spectral dependences of the absorption coefficient as well as dispersion dependences of the refractive index were derived from the spectrometric studies of interference transmission spectra. Temperature variation of the transmission spectra as well as the temperature behaviour of the absorption edge spectra in the range of its exponential behaviour were studied. A typical Urbach bundle is observed, temperature dependences of the absorption edge parameters were obtained. Thus, in the range of the exponential behaviour of the optical absorption edge the energy position of exponential absorption edge  $E_g^\alpha$  and the Urbach energy  $E_U$  in sandwich structure were determined. The influence of different type of disordering on the Urbach tail was studied and a comparative analysis of the Urbach absorption edge parameters for sandwich structure and (Ag<sub>3</sub>AsS<sub>3</sub>)<sub>0.6</sub>(As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>0.4</sub> thin film was performed.

## Electrical conductivity of “liquid crystal – $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}$ superionic nanoparticles” composites

Mashiko V.V., *Student*; Studenyak I.P., *Professor*  
Uzhhorod National University, Uzhhorod

One of the promising methods to extend the liquid crystal (LC) functionality is introduction of the nanoparticles. Thus, nanoparticles of superionic conductors with argyrodite structure, in particular  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}$ , can help to extend functional properties of LC. They are characterized by high electrical conductivity as well as ferroelastic and nonlinear optical properties. Therefore, the aim of this work was to study the influence of  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}$  nanoparticles on the electrical conductivity of 6CB and 6CHBT liquid crystals.

6CB and 6CHBT liquid crystals without/with  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}$  nanoparticles was studied in a sandwich-type cell with transparent ITO electrodes. The electrodes were coated with an appropriately processed polymer layer to provide the planar orientation of the LC molecules. The concentration of nanoparticles of a near-spherical shape with the average size of 35 nm in the liquid crystals was 0.01, 0.05, and 0.1 mg/ml. The cell thickness was 10  $\mu\text{m}$ . The LC cell was filled using the capillary method at a temperature by 5–10 K above the nematic-to-isotropic phase transition temperature. The dielectric properties of the prepared sandwich cells were studied in the frequency range 10–10<sup>6</sup> Hz at 293 K using the oscilloscopic technique.

It is shown that unlike 6CHBT LC with  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}$  nanoparticles the electrical conductivity of 6CB LC with  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}$  nanoparticles is a monotonic function of nanoparticles concentration. Moreover the conductivity of 6CB LC with  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}$  nanoparticles is much higher than the conductivity of 6CHBT LC at the same concentration of nanoparticles (the maximum value of these conductivity ratios is close to 50 at a concentration of  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}$  nanoparticles equal to 0.05 mg/ml). The main reason for such effects is the generation of ions, additional to existing in 6CHBT LC. The existence of additional ions in 6CB LC is confirmed by the presence of two "plateaus" on the frequency dependence of conductivity, which the most typically appear at 0.05 and 0.1 mg/ml concentrations of  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}$  nanoparticles.



**Вплив режиму охолодження розплаву на кінетику кристалізації  
чистих металів**

Козоріз В.С., *студент*; Косинська О.Л., *доцент*  
Дніпровський державний технічний університет,  
м. Кам'янське

Методами математичного моделювання вивчено вплив термічного режиму охолодження розплаву на кінетику кристалізації тонких шарів Ag, Al, Cu, Ge та Ni, що контактують з масивною підкладкою. Показано, що в залежності від товщини шару розплаву  $l_1$ , кристалізація минає в різних термічних умовах, які чинять вплив і на кінцеву мікроструктуру фольг. Узагальненням результатів моделювання встановлено три різновиди режимів охолодження тонких шарів розплаву. Шари розплаву товщиною понад 4,69 мкм (для Ge), 1,33 мкм (для Ni), 0,075 мкм (для Ag) та 0,058 мкм (для Cu) тверднуть в умовах інтенсивного виділення прихованої теплоти кристалізації. Криві охолодження мають рекалесцентні ділянки. Кристалізація розплаву відбувається шляхом короткочасного зародження кристалів у початкові моменти часу та подальшого їх росту з великими швидкостями. В результаті фольги отримують відносно крупнокристалічну структуру. Шари розплаву товщиною менше за 4,3 мкм (Ge), 1 мкм (Ni), 0,06 мкм (Ag) та 0,05 мкм (Cu) тверднуть в умовах безперервного зниження температури аж до температури склування  $T_g$ . Такі умови охолодження викликають послідовне пригнічення процесів зародження та росту кристалів і ведуть до утворення аморфних структур в тонких плівках. В інтервалах товщин (4,3–4,69) мкм для Ge, (1–1,33) мкм для Ni, (0,06–0,075) мкм для Ag та (0,05–0,058) мкм для Cu кристалізація відбувається в умовах близьких до ізотермічних, криві охолодження при глибоких переохолодженнях мають майже горизонтальні ділянки. В таких термічних умовах швидкість зародження кристалів  $I$  має значення близькі до максимальних, а швидкість росту кристалів  $u$ , навпаки, різко зменшується. Таке співвідношення  $I$  та  $u$  веде до формування структури із середніми розмірами кристалів 5,2–7,7 нм для (Ge), 98–128 нм (Ni), 2,7–4 нм (Ag) та 5,4–6,4 нм (Cu). На відміну від Ge, Ni, Ag та Cu, алюміній не виявив схильності до некристалічного твердіння на всьому інтервалі товщин (від 0,01 до 500 мкм).

Результати, отримані в роботі, свідчать про можливість отримання у тонких шарах Ge, Ni, Ag та Cu нанокристалічних структур у дуже вузьких інтервалах товщин швидкозагартованих фольг.

**Дослідження процесу кристалізації нанодроту із  
високоентропійного сплаву AlCoCuFeNi методом класичної  
молекулярної динаміки**

Кушнерьов О.І., доцент

Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, м. Дніпро

Високоентропійні багатокомпонентні сплави (ВЕС) являють собою новий клас матеріалів, які характеризуються унікальною структурою і цілим комплексом високих експлуатаційних характеристик, таких як твердість, зносостійкість, стійкість до окислення, корозії і іонізуючих випромінювань, висока термічна стабільність, добра біологічна сумісність із живими тканинами. В даній роботі із використанням програмного пакету для класичної молекулярної динаміки LAMMPS досліджено кристалізацію нанодроту ВЕС AlCoCuFeNi. Моделювання проводилося з використанням моделі зануреного атому (EAM) і NVT ансамблю атомів. Моделюваний нанодріт складався з 50000 атомів (Al, Co, Cu, Fe, Ni у еквіатомному співвідношенні), його довжина становила 180 нм, діаметр 60 нм. У напрямку, перпендикулярному осі нанодроту використані періодичні граничні умови. Нанодріт був розігрітий до температури 2300 К, та відпалений при цій температурі впродовж 1 нс. Після цього його охолоджували із розплавленого стану зі швидкістю  $1 \times 10^{11}$  К/с до температури 300 К. Після охолодження для визначення характеристик кристалічних структур, що утворилися у наночастинці була обчислена функція радіального розподілу (RDF). Крім того, для визначення фазового складу зразка було застосовано метод аналізу спільних сусідів атомів (CNA). За результатами дослідження було встановлено, що модельована наночастинка містить гранецентровану кубічну (ГЦК) фазу (вміст 56,6 %), об'ємно центровану кубічну (ОЦК) фазу (вміст 0,2 %), гексагональну щільно упаковану (ГЩУ) фазу (вміст 26,8 %) і невизначену фазу (вміст 16,5 %), яка, відповідно до аналізу функції радіального розподілу атомів має аморфну структуру. Параметр решітки ГЦК  $a = 0,3665$  нм. Характер розташування атомів ГЩУ фази дозволяє зробити висновок, що вони являють собою дефекти пакування (порушення розташування шарів атомів) на граничних ділянках між окремими кристалітами ГЦК фази.

## Энергетические характеристики электронов в металлической пленке с неидеальной границей

Коротун А.В., доцент

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

Исследование свойств низкоразмерных систем и структур на их основе обычно начинается с предположения об их идеальной форме. Однако, теоретические результаты, описывающие явления, связанные с эффектами размерного квантования, часто требуют коррекции в связи с тем, что на практике идеальные геометрические структуры получить невозможно. Вариации толщины возникают вследствие зернистой структуры реальной пленки и имеют масштаб от нескольких десятых нанометра и больше. Такую же по порядку величину имеет средняя длина свободного пробега электронов. Кроме того, наличие шероховатой поверхности приводит к немонотонному поведению электронных характеристик вблизи энергии Ферми.

Для расчета энергетических характеристик нанометровой металлической пленки с неидеальной поверхностью необходимо решить квантово-механическую задачу об определении спектра электронов в одномерном случайном потенциале. В данной работе расчет энергетического спектра проведен в рамках метода «возмущения формы границы». Преимущество данного подхода заключается в том, что случайную неоднородность поверхности пленки в первом порядке теории возмущений можно учесть путем модификации граничных условий для волновой функции нулевого приближения [1], поскольку поправка к гамильтониану [2] пропорциональна квадрату относительной амплитуды неоднородности и поэтому ею можно пренебречь.

1. А.В. Коротун, І.М. Тітов, *Ж. нано- електрон. фіз.* **8** №4(1), 04009 (2016).
2. А.В. Коротун, *ФТТ* **56**, 1197 (2014).

## Осциляції енергії Фермі сферичної металеві наноболонки

Коротун А.В.<sup>1</sup>, доцент, Коваль А.О.<sup>2</sup>, інженер-конструктор

<sup>1</sup> Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

<sup>2</sup> КП «НВК «Іскра», м. Запоріжжя

Чутливість оптичних властивостей металевих наноболонки до навколишнього середовища робить їх привабливими для використання у хімічних та біологічних сенсорах. На даний момент найбільш активно наноболонки використовуються у медицині.

Експериментальний і теоретичний аналіз оптичних властивостей подібних систем концентрується передусім на вивченні плазмонного резонансу [1]. При цьому поведінка енергії Фермі дає основний внесок у розмірні осциляції оптичних характеристик металевих наносистем. Тому задача знаходження енергії Фермі металеві наноболонки є актуальною. Для цього знаходиться енергетичний спектр електронів у сферичній потенціальній ямі нескінченної глибини, що визначається розв'язком трансцендентного рівняння

$$j_l(k_m a)n_l(k_m b) = j_l(k_m b)n_l(k_m a), \quad (1)$$

де  $a$ ,  $b$  – внутрішній і зовнішній радіуси металеві наноболонки,  $j_l(x)$  – сферична функція Бесселя порядку  $l$ , який потім підставляється у процедуру для знаходження розмірної залежності енергії Фермі 0D-систем об'ємом  $\Omega$  [2]:

$$\bar{n}\Omega = \begin{cases} \frac{8}{\pi} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \frac{1}{2\kappa-1} \sum_{n,l} \sin \frac{\pi(2\kappa-1)\varepsilon_{nl}}{\varepsilon_F}, & m = 2\kappa - 1; \\ 0, & m = 2\kappa. \end{cases} \quad (2)$$

де  $\bar{n}$  – концентрація електронів провідності у 3D-металі.

1. П.М. Томчук, В.В. Куліш, УФЖ **48**, 587 (2003).
2. А.В. Коротун, Ж. нано- електрон. фіз. **7** №3, 03028 (2015).

## Наближення Томаса – Фермі для плазмонів у металевому наносферіді

Коротун А.В.<sup>1</sup>, доцент; Павлище Н.І.<sup>1</sup>, інженер;  
Тітов І.М.<sup>2</sup>, старший викладач  
ЗНТУ, м. Запоріжжя  
ТДАУ, м. Мелітополь

При дослідженні плазмонних явищ у системах зниженої розмірності часто не враховуються такі важливі фактори як геометрія наночастинки та виродження електронного газу, вплив якого зростатиме зі зменшенням лінійних розмірів наночастинки.

Оскільки у більшій частині наноеліпсоїда електростатичний потенціал постійний  $\varphi(r) = \varphi_0$ , рівняння Томаса – Фермі можна лінеаризувати в околі  $\varphi_0$  наступним чином:  $\varphi_1 = \varphi_0 + \tilde{\varphi}_1$ ,  $\varphi_2 = \varphi_0 + \tilde{\varphi}_2$ , де  $\tilde{\varphi}_1$  і  $\tilde{\varphi}_2$  - збурення потенціалу всередині кластера і поза ним.

Геометрія сфероїдальної наночастинки з малим ексцентриситетом поперечного перерізу ( $\varepsilon \ll 1$ ), згідно методу «варіації форми межі» [1], враховується шляхом модифікації граничних умов:

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_1(R) + \varepsilon R \tilde{\varphi}'_1(R) &= \tilde{\varphi}_2(R) + \varepsilon R \tilde{\varphi}'_2(R), \\ \tilde{\varphi}'_1(R) + \varepsilon R \tilde{\varphi}''_1(R) &= \tilde{\varphi}'_2(R) + \varepsilon R \tilde{\varphi}''_2(R), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $R$  – «середній» радіус сфероїдальної наночастинки.

Підстановка розв'язків лінеаризованого рівняння Томаса – Фермі у граничні умови (1) дозволяє одержати дисперсійне рівняння для плазмонних коливань виродженого електронного газу в металевому наносферіді.

Отримані результати можуть бути використані для дослідження безвипромінювальної передачі енергії електронних збуджень від молекул-донорів до акцепторних центрів поблизу металевих наночастинок, резонансної поведінки її дипольної поляризованості у монохроматичному електромагнітному полі тощо.

1. А.В. Коротун, *ФТТ* **56**, 1197 (2014).

## Фотолюмінесценція хлориду натрію з нановключеннями срібла

Кузьма В.В., науковий співробітник; Конопльов О.М., доцент;  
Митропольський І.Є., доцент

ДВНЗ Ужгородський національний університет, м. Ужгород

Серед благородних металів, які проявляють плазмонні резонанси у видимій області спектра, найбільшу ефективність збудження плазмонів має срібло. Так, ефективний переріз взаємодії наночастинки срібла зі світлом може перевищувати її геометричні розміри на порядок. Метою даної роботи було визначити фотонний відгук поверхні кристалу хлориду натрію з наночастинками срібла при збуренні фотонами.

Експерименти проведені на установці «Лазерний спектроскопічний комплекс», джерелом лазерного випромінювання якої є титансапфіровий лазер CF 131A. Енергія в імпульсі третьої (робочої) гармоніки ( $\lambda=253$  нм) складала 1мДж. Частота слідування імпульсів генерації – 10 Гц, тривалість імпульсів –  $1 \cdot 10^{-8}$  с. Наночастинки срібла (5–90 нм) наносили на поверхню кристалу методом осаду з колоїдного розчину.

В спектрі чистого кристалу NaCl спостерігається одна слабка смуга з максимумом  $\lambda = 360$  нм. Присутність наночастинок срібла призводить до зростання цієї смуги фотолюмінесценції більше, ніж на порядок. Для зразків з нановключеннями Ag спостерігаються ще дві смуги фотолюмінесценції: перша - від 325 до 388 нм (максимум  $\lambda = 354$  нм), друга - від 388 до 485 нм (максимум  $\lambda = 425$  нм). Дані спектральні зміни можна пояснити, якщо припустити, що в досліджуваних системах відбувається обмін енергією електронного збудження між металевими наночастинками і матрицею. Короткохвильова смуга свічення обумовлена релаксацією екситонів, утворених фотонами. Природа смуги з максимумом 425 нм пов'язана з рекомбінацією дірок і F – центрів. Отже, виявлена зміна імовірностей випромінювальних електронних переходів в NaCl в результаті переносу енергії з поверхневою електромагнітною хвилею, яка поширюється в наночастинках, на електронні стани матриці. Судячи з протяжності смуги люмінесценції з максимумом при 425 нм, вклад у відповідне свічення дають і наночастинки срібла.

Дослідження магнітних властивостей сполук  $\text{Co}_x\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 

Болезюк В.Б., доцент; Поцілуйко Р.Л., аспірант  
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича  
НАН України, м. Чернівці

Інтеркальовані кобальтом при накладанні магнітного поля шаруваті кристали  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  характеризуються магнітними властивостями – залежності питомого магнітного моменту отриманих інтеркалатів  $\text{Co}_{0.15}\text{Sb}_2\text{Te}_3$  мають форму петель гістерезису.

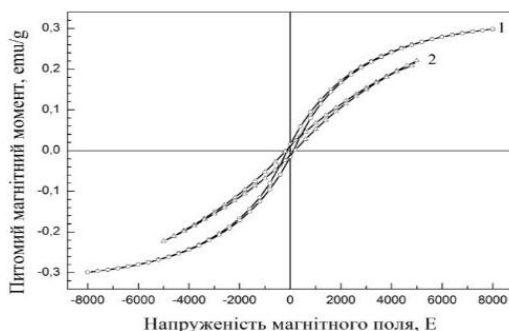


Рисунок 1 – Залежності питомого магнітного моменту від напруженості магнітного поля поперек (1) та вздовж (2) площини шарів для інтеркалатів  $\text{Co}_{0.15}\text{Sb}_2\text{Te}_3$  отриманих інтеркалюванням в постійному магнітному полі.

Припускається, що даний факт обумовлений формуванням нановключень інтеркалянта в місцях вакансій халькогену та впливом магнітного поля на процеси обмінної взаємодії між даними нановключеннями. Встановлені магнітні властивості інтеркалатів  $\text{Co}_{0.15}\text{Sb}_2\text{Te}_3$  визначаються перш за все кристалічною будовою вихідних сполук та обмінною магнітною взаємодією між іонами інтеркалянта, локалізованого в міжшаровому просторі кристалу. В процесі впровадження інтеркалянт скупчується навколо точкових дефектів та дислокаційних ям на площині (0001)  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ , формуючи при цьому по мірі збільшення власної концентрації домішкові нановключення. На процеси формування та росту таких нано-включень, а також на їх упорядкування здійснює вплив зовнішнє постійне магнітне поле.

## Подолання дифракційної межі за допомогою суперлінзи

Тверденко А. В., аспірант

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

У сфері оптичних досліджень не рідко зустрічається поняття «дифракція». Вона накладає остаточну межу на всі системи створення зображення. Також дифракція обмежує кількість інформації, яку можна зберігати або читати на оптичному цифровому диску. Дифракційна межа пропорційна довжині хвилі. З цього слідує, що зменшити її можна, використовуючи більш короткохвильове випромінювання. Наприклад, використання фіолетового лазера ( $\lambda = 406$  нм) замість червоного ( $\lambda = 780$  нм) дозволило збільшити ємність оптичних дисків з 700 Мб (CD) до 25 Гб (Blu Ray). Отримати розширення дещо краще, ніж те, на яке накладається дифракційна межа, можливо за допомогою суперлінз (метаматеріалу). На практиці вчені створили метаматеріальну тверду іммерсійну лінзу (mSIL) на базі наночастинок. Іммерсійна система (SIL) передбачає введення між об'єктивом і предметом рідини для розширення меж збільшення зображення. Традиційно в якості такої системи використовують дистильовану воду, кедрове або мінеральне масло, водний розчин гліцерину. На сьогоднішній день вченими розроблено краплиноподібну структуру з наночастинок діоксиду титану ( $\text{TiO}_2$ ). В ході роботи мільйони наночастинок ізольовано заломлюють хвилі світла високої довжини, розщеплюючи їх на мільйони самостійних пучків. Будучи введеною між об'єктивом і досліджуванним предметом, така суперлінза збільшує роздільну здатність оптичного мікроскопа до 40 нанометрів. Фактична максимальна роздільна здатність – відстань між досліджуваними об'єктами – оптичних мікроскопів обмежується 200 нанометрами. Зменшення дифракційної межі в 5 разів дозволяє розглянути доріжки Blu-Ray диска за допомогою оптичного мікроскопа, що неможливо в звичайних умовах. Дослідники вважають, що принцип суперлінз можна буде використовувати в біологічній мікроскопії та інструментах для нанотехнологів. Розвиток технології суперлінз послужить також базою для розширення ємності Blu-Ray-дисків. Як припускають вчені, на такому понад ємнісному диску можна буде зберігати величезний об'єм інформації.



**Изменение гидрофильных свойств нанокристаллического порошка  $ZrO_2$  (Mg) под действием плазменного облучения**

Алексеев В.П., аспирант

ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения» СО РАН,  
г. Томск

Работа посвящена изучению изменений гидрофильных свойств нанокристаллического порошка диоксида циркония стабилизированного тремя молярными процентами оксида магния под воздействием плазменного облучения.

Известно, что взаимодействие твердого тела с водой происходит на активационных центрах и носит кислотно-основной характер. При этом взаимодействие зависит от концентрации и типа центров. В общем случае в водно-порошковой суспензии в ходе взаимодействия активационных центров с молекулами воды в систему выделяются продукты реакции  $H^+$  или  $OH^-$ , которые соответственно изменяют уровень кислотности суспензии. В ряде работ было показано, что рост кислотности суспензии свидетельствует о большей смачиваемости порошков, т.е. увеличении их гидрофильных свойств.

Исходный порошок имел пенообразную форму с агломератами порядка 20 мкм и размером кристаллитов около 20-50 нм. Обработка осуществлялась под средством облучения воздушной низкотемпературной неравновесной плазмой высокого давления (1 атмосфера). Для приготовления суспензии использовалась 50 мл дистиллированной воды с кислотностью 6,30-6,50 рН и 1,1 г порошка.

В работе было показано, что плазменная обработка приводит к росту кислотности суспензии. При этом рост кислотности зависит от времени обработки. Так суспензия, приготовленная из порошка подвергнутого десятиминутной обработке, показала самую большую кислотность равную 5,87 рН, что на 37 % и 32 % больше чем у суспензий приготовленных из необработанного и подвергнутого одномоментной обработке порошков соответственно.

Изучено влияние времени выдержки порошка в суспензии. С этой целью проведено измерение уровня кислотности через 1, 3, 5 и 24 часа после обработки. Было показано, что с течением времени после обработки и приготовления суспензии ее кислотность продолжает меняться, и принимает стабильное значение через примерно 3,5 часа.

## Фононна релаксація та внутрішнє тертя полімерних нанодисперсних систем

Левчук В.В., старший викладач

Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне

Досліджено внесок фононної в'язкості і внутрішнього демпфірування в величину внутрішнього тертя в полівінілхлориді (ПВХ) і гетерогенних полімерних системах (ГПС) на його основі, в широкій області температур і вмісту нанодисперсних наповнювачів різної фізико-хімічної природи. ПВХ-композити містили нанодисперсні порошки міді (Cu), ніхрому (NiCr) та графіту (C) отримані різними методами. Перший – електричний вибух провідника в реакторі, де знаходився вихідний ПВХ. Другий метод полягав у синтезі нанодисперсного наповнювача шляхом відновлення з солі, пропусканням змінного електричного струму, перемішуванням суспензії ультразвуковим полем. Третій – метод електролізу. Показано, що процеси внутрішнього тертя у модифікованому ПВХ, як представнику лінійних гнучколанцюгових полімерів, описуються рівнянням руху макромолекули, кінці якої закріплені.

Показано, що із зростанням температури величина фононної в'язкості зсуву та внутрішнього тертя ПВХ-систем нелінійно зростає. В міру збільшення вмісту інгредієнтів, величина внутрішнього тертя зміщується в область більш високих температур. Внутрішнє тертя, за рахунок фононної в'язкості, при  $T < T_g$  менше експериментальної величини, а також значення розрахованого згідно класичної теорії в'язкопружних середовищ. Встановлено, що в міру зростання температур зростає внесок фононної в'язкості в величину поглинання енергії УЗ-поля. При цьому внесок структурного демпфірування в загальну величину дисипації енергії при  $290 \text{ K} \leq T \leq 380 \text{ K}$  переважає і задовільно узгоджується з даними експерименту. Отримані результати вказують на можливість використання такого композиту в якості демпферів акустичних ліній затримки та звукоізоляторів в ультразвуковому діапазоні частот. Запропоновані способи направленої регулювання специфіки поведінки і використання ПВХ-систем при динамічних і теплових навантаженнях.

## **СЕКЦІЯ 3**

**«Матеріалознавство мікро- та  
наноелектроніки»**

## **Альтернативна методика формування високоентропійних сплавів та їх термо- і магніторезистивні властивості**

Подуремне Д.В., *аспірант*; Мельничук О.В., *магістрант*;  
Швидченко А.В., *магістрант*; Воробйов С.І., *молодий науковий співробітник*

Сумський державний університет, м. Суми

В останнє десятиліття проводяться інтенсивні дослідження кристалічної структури і механічних властивостей нового класу матеріалів – високоентропійних сплавів (ВЕС). Так, ВЕСи, маючи в своєму складі елементи з різною кристалічною структурою, валентністю і електронегативністю, кристалізуються переважно з утворенням твердих розчинів (т.р.) заміщення на основі ОЦК- або ГЦК-фаз, що пов'язано з високою конфігураційною ентропією змішування ( $\Delta S_{\text{зм}} > 11$  Дж/моль·К). Складна структура на макроскопічному і атомному рівнях може призвести до появи широкого спектру нових, унікальних з точки зору практичного використання, властивостей.

На даний момент у літературі майже відсутня інформація про дослідження фізичних властивостей ВЕСів у плівковому стані. Тому, дослідження таких систем товщиною до 100 нм представляє інтерес як з фундаментальної, так і з прикладної точки зору.

Для дослідження була вибрана багатокомпонентна система на основі Al, Cr, Co, Ni, Fe і Cu, що обумовлено: по-перше, великим об'ємом літературних даних про структурно-фазовий стан та фізичні і механічні властивості вищевказаної системи у масивному стані; по-друге, змінюючи концентрацію однієї з компонент можливо суттєво змінювати її структурно-фазовий стан (наприклад, у залежності від концентрації міді у такій системі можуть формуватися т.р. з ОЦК кристалічною решіткою; ОЦК+ГЦК; ОЦК+ГЦК1+ГЦК2), що в свою чергу дасть змогу прогнозувати і змінювати фізичні та механічні властивості плівкових матеріалів.

Очікується, що наявність феромагнітних елементів з високими магнітними моментами дозволить розглядати такі ВЕСи, як новий клас магнітом'яких магнітних матеріалів з високою намагніченістю насичення (для збільшення потужності), а застосування таких компонент, як Al і Cu дозволить зменшити питомий електричний опір (для зменшення втрат на вихрові струми) плівкових систем. Поряд із

цим ВЕСи мають високу термічну стабільність, корозійну стійкість і механічну міцність та гарно підлягають обробці.

Запропонована нами методика отримання ВЕСів заснована на пошаровій конденсації компонент електронно-променевим методом з середньою швидкістю осадження  $\omega = 0,05 - 0,08$  нм/с. Товщина шарів контролювалась методом кварцового резонатора. Дослідження структурно-фазового стану проводилось методом просвічуючої електронної мікроскопії (ПЕМ-125К). Концентрація отриманих сплавів уточнювалась за допомогою EDX аналізу (Tescan-VEGA 3).

Отримана плівкова система мала конфігурацію Cu(9,5)Co(9)/Cr(9,5)/Fe(9,5)/Ni(9)/Al(13)/П (П – підкладка, у дужках вказана товщина в нм), концентрація компонент становила 16,5/17/16,5/16,5/16,5/17/П ат. % відповідно. Проведений EDX аналіз показав рівномірне розподілення компонент по всьому об'єму плівки та невелике відхилення від розрахованого значення концентрації компонент, порядку 0,2 - 0,3 ат. %.

Розшифровка електронограм від плівок ВЕСів у свіжосконденсованому стані вказує на присутність трьох фаз ОЦК, ГЦК1 та ГЦК2. Наявність двох ГЦК фаз може свідчити про незакінченість формування т.р. ВЕСу. Слід відмітити, що дані плівки характеризуються дрібнодисперсною кристалічною структурою (середній розмір кристалітів не перевищує 10 нм). Для гомогенізації сплаву проведена термообробка до  $T_b = 850$  К у вакуумі протягом 40 хвилин, у результаті чого формується т.р. ВЕСу із ГЦК решіткою. Таким чином, після термообробки ВЕС характеризується наявністю двох фаз ГЦК та ОЦК.

Дослідження терморезистивних властивостей показали, що система характеризується відносно великим значенням температурного коефіцієнту опору ( $\sim 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ) і має питомий опір порядку  $\rho \sim 10^{-6}$  Ом·м. Такі результати пов'язані із наявністю у системі великої кількості дефектів кристалічної будови. Вивчення магніторезистивних властивостей вказують на те, що як у свіжосконденсованому стані, так і після термообробки, у сплаві реалізується анізотропний магнітоопір, величина якого не перевищує 0,2%.

Робота виконана в рамках держбюджетної НДР № 0115U000689.

Керівник: Проценко І.Ю., *професор*.

## Магніторезистивні властивості тришарових плівок Ni/Bi/Ni

Отиц П.С., *магістрант*; Подуремне Д.В., *аспірант*;  
Пилипенко О.В., *інженер*; Воробйов С.І., *молодший науковий співробітник*

Сумський державний університет, м. Суми

Мета роботи полягала у вивченні впливу ефективної товщини прошарку з Ві у тришаровій плівці Ni/Bi/Ni на величину магнітоопору (МО) від прикладеного зовнішнього магнітного поля.

Плівкові системи Ni(5)/Bi(x)/Ni(15)/П (П – підкладка, у дужках указана товщина в нм,  $x = 3-15$  нм) була отримана методом електронно-променевого осадження. Середня швидкість конденсації складала  $\omega = 0,07 - 0,1$  нм/с. Температура підкладки становила  $T_{\text{п}} = 450$  К, що дало змогу отримувати прошарок Ві у вигляді «гранул» середнім розміром  $\sim 40$  нм, хаотично розташованих по всьому об'єму плівки.

Дослідження структурно-фазового стану проводилось з використанням методу просвічуючої електронної мікроскопії. Установлено, що фазовий склад тришарових плівок після конденсації відповідає ГЦК-Ni + ромбодричний Ві. Слід відмітити, що на електроннограмах поряд з лініями, які отримані від відбиття від кристалографічних площин Ni та Ві, фіксуються лінії дуже слабкої інтенсивності, дифузний характер яких не дозволяє остаточно ідентифікувати фазу. Скоріше за все, ці лінії на електроннограмах відповідають твердому розчину Ni(Bi), який формується на інтерфейсі, що до певної міри узгоджується із даним роботи [1] або оксиду  $\gamma - \text{V}_2\text{O}_3$

Вивчення магніторезистивних властивостей проводилось з використанням чотириточкової схеми вимірювання у двох геометріях (поперечній та поздовжній) при робочому струмі 1 мА. Установлено, що у плівках спостерігається анізотропний магнітоопір, амплітуда якого має осцилюючий характер при зміні ефективної товщини прошарку з Ві. Максимальне значення МО спостерігається у поперечній геометрії вимірювання для плівки Ni(5)/Bi(12)/Ni(15)/П та становить 0,4 %.

Робота виконана у рамках держбюджетної тематики кафедри прикладної фізики СумДУ.

Керівник: Проценко І.Ю., *професор*.

1. N. Zhou, et. al., *Scr. Mater.* **130**, 165 (2017).

## Вплив структурно-фазового стану тришарових плівок Co/Vi/Co на їх магніторезистивні властивості

Зеленський С.В., *магістрант*; Шабельник Т.М., *аспірант*;  
Воробйов С.І., *молодший науковий співробітник*  
Сумський державний університет, м. Суми

Дослідження магнітних і магніторезистивних властивостей багат шарових плівкових систем на основі перехідних металів з прошарками з металевих, напівпровідникових або діелектричних шарів не втратили свою актуальність, незважаючи на велику кількість накопичених результатів. Це пов'язано з великою кількістю різноманітних ефектів та можливістю контролю їх величини, що стало основою для практичного застосування таких систем функціональних і чутливих елементів сучасних приладів.

У теперішній час спостерігається підвищений інтерес дослідників до вивчення плівкових систем, де у якості одного з компонентів виступає Ві. Це пов'язано унікальними властивостями плівок Ві, зокрема довжина вільного пробігу носіїв електричного заряду та довжина хвилі Фермі у них набагато більша у порівнянні з плівками металів [1]. Тому у плівках Ві слід очікувати прояв різних класичних та квантових розмірних ефектів у фізичних властивостях.

Тришарові плівки  $\text{P/Co}(10)/\text{Vi}(n)/\text{Co}(5)$  (у дужках вказана товщина в нм,  $n = 5 - 20$  нм) були отримані та пройшли термообробку за методикою, яка детально описана у роботі [2]. Дослідження структурно-фазового стану проводилось за допомогою методу просвічуючої електронної мікроскопії. Магніторезистивні властивості вимірювались з використанням чотирьох-точкової схеми у двох геометріях (поперечній та поздовжній) орієнтації магнітного поля з площиною зразка і струмом (сила робочого струму становила 1 мА).

Дослідження структурно-фазового стану показали, що після конденсації тришарові плівки, не залежно від товщини прошарку, мають фазовий склад ГЦП-Co + ГЦК-Co + ромбоєдричний Ві (наявність фази ГЦК-Co пов'язано з дефектами пакування у ГЦП-Co). Інших фаз, які відповідали б твердим розчинам чи інтерметалідам нами не фіксувалося, що добре корелює з діаграмою стану для цих систем у масивному стані.

Вивчення магніторезистивних властивостей показали, що тришарові плівки характеризуються анізотропним магнітоопором, залежності якого від товщини прошарку з Ві мають осцилюючий характер. Максимальне значення величини МО спостерігається у поперечній геометрії вимірювання для плівки П/Co(10)/Bi(10)/Co(5) та становить 0,18 %.

Відпалювання до  $T_b = 680$  К призводить до окислення прошарку з Ві із утворенням фази тетрагонального  $\text{Vi}_2\text{O}_3$ , при цьому у шарах кобальту фазовий склад не зазнає змін, відбувається лише укрупнення кристалітів. Окислення несуттєво зменшує величину МО, хоча осциляційний характер залежності від товщини проміжного шару зберігається. На зменшення величини магнітоопору, окрім окислення, впливає також укрупнення кристалітів Ві за рахунок коалесценція, що призводить до зменшення кількості центрів розсіювання електронів.

Подальша термообробка зразків до  $T_b = 850$  К викликає суттєве збільшення концентрації фази ГЦК-Co та перехід прошарку з Ві у аморфний стан. Така зміна фазового складу призводить до зміни характеру залежності МО від анізотропного до ізотропного та збільшенням величини магнітоопору від 2 до 5 разів.

Слід відмітити, що перехід від анізотропного до ізотропного магнітоопору після термообробки залежить від товщини прошарку з Ві. При товщинах Ві до  $\sim 10$  нм на залежностях магнітоопору від прикладеного зовнішнього магнітного поля спостерігається наявність характерних мінімумів, які пов'язані з присутністю анізотропної магнітної компоненти. Причому ці мінімуми більш яскраво виражені при менших товщинах прошарку з Ві.

Керівник: Черноус А.М, *професор*.

1. M. M. Rosario, Y. Liu, *Phys. Rev. B* **65**, 094506 (2002).
2. S. Vorobiov, O. Shutylieva, et al., *Eur. Phys. J. Plus* **131**, 203 (2016).



## Структура і фазовий склад нанокристалічних плівок Ru

Распутько Ю.В., студент; Логвинов А.М., аспірант  
Сумський державний університет, м. Суми

Тонкі плівки Ru входять до складу низки штучних наносистем з покращеними фізичними властивостями. Зокрема широкого застосування в сучасній електроніці та сенсорній техніці набули синтетичні антиферромагнітні функціональні шари на основі Ru і Co. Для більш ефективного використання необхідне чітке розуміння особливостей їх структури та фазового складу в широкому діапазоні їх товщин та робочих температур.

У роботі наведені результати дослідження структурно-фазового стану методом електроннографії та просвічуючої електронної мікроскопії одношарових плівок Ru (інтервал товщин від 10 до 90 нм) отриманих методом електронно-променевого осадження у вакуумі ( $10^{-4}$  Па) на вуглецеві плівки товщиною 20 нм.

Встановлено, що однофазний склад зразків спостерігається лише при товщинах  $d_{Ru} \geq 40$  нм і відповідає ГЦП- Ru з параметром решітки  $a_{Ru} = 0,270$  нм, що близький до табличного значення. У діапазоні товщин  $10 \div 30$  нм на електроннограмах стають помітними лінії, що відповідають фазі ГЦК- RuO<sub>2</sub>. Показано, що відсутності оксидної фази RuO<sub>2</sub> сприяє підігрів підкладки до 573 К під час формування зразків, також чітку електроннограму, що відповідає ГЦП- Ru без слідів оксиду можна отримати при  $d = 40$  нм на підігріту підкладку з наступною термообробкою до  $T_b = 900$  К. Зразки при  $d < 35$  нм незалежно від температури підкладки та термообробки мають квазіаморфну однорідну лабіринтну структуру із слабким контрастом, яка майже не змінюється при відпалюванні з оціночним значенням середнього розміру зерен 5 нм. Кристалічна структура зразків при  $d_{Ru} \geq 40$  нм майже не залежить від товщини зразка (середній розмір зерен має значення  $L_{cp} = 10 \div 15$  нм). Можна відмітити, що при відпалюванні таких зразків до  $T_b = 900$  К внаслідок процесів рекристалізації збільшується контрастність мікрознімків від кристалічної структури.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми №0116U002623.

Керівник: Чешко І.В., доцент.

## Електрофізичні властивості тонких плівок на основі Ru

Крекшин Д.М., студент; Логвинов А.М., аспірант  
Сумський державний університет, м. Суми

Завдяки високій стабільності контактного опору та механічній твердості нанорозмірні плівки Ru почали широко застосовуватися в різних галузях сучасної електроніки. Особливо актуальним стало поєднання шарів Ru і Co для створення синтетичних функціональних шарів для формування ефективних спін-клапанів та спінтронних елементів. Систематичне дослідження електрофізичних властивостей тонких плівок Ru почалося порівняно недавно і пов'язано з низкою нерозв'язаних проблем у розумінні особливостей фазового складу таких тонких плівок та протіканням дифузійних процесів в них.

Тонкі плівки Ru/Π (Π – підкладка із сіталу з попередньо нанесеними мідними контактами) в діапазоні товщин шарів від 10 ÷ 90 нм були одержані методом електронно-променевого випарування в камері установки ВУП-5М ( $10^{-4}$  Па). Електрофізичні властивості (термічний коефіцієнт опору) зразків досліджувалися методом резистометрії за двоточковою схемою вимірювання в діапазоні температур  $T_b = 300 \div 700$  К в щойносконденсованому стані та після відпалювання до 800, 900 та 1100 К. Для одношарових плівок на основі Ru у всьому діапазоні товщин величина питомого опору на порядок більше від табличного значення для масивних зразків ( $\rho_0 = 7,15 \cdot 10^{-7}$  Ом·м). Найбільш близьке значення спостерігалось для Ru (40 нм)/Π, що у щойносконденсованому при кімнатній температурі стані зразка становило  $\rho = 1,79 \cdot 10^{-5}$  Ом·м, а після відпалювання до 1058 К –  $\rho = 7,28 \cdot 10^{-6}$  Ом·м. Середнє значення температурного коефіцієнту опору для даного зразка складає  $\beta = 4 \cdot 10^{-3}$  К<sup>-1</sup>, що також відрізняється від табличного ( $\beta_0 = 4,2 \cdot 10^{-5}$  К<sup>-1</sup>). Таку відмінність можна пояснити особливостями структурно-фазового стану зразків. Саме при товщинах  $\geq 40$  нм тонкі шари рутенію складаються з однієї фази ГЦП- Ru з мілкодисперсною структурою, що стає причиною малого значення середньої довжини пробігу електронів, високої величини коефіцієнту відбиття та малого значення коефіцієнту проходження носіїв заряду на межах зерен. При менших товщинах характерна пристуність оксидної фази RuO<sub>2</sub>.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми №0116U002623.

Керівник: Чешко І.В., доцент.

**Вплив матеріалу підкладки на властивості фулеритових плівок**

Приходько А.М., *магістрант*; Скубко В.О., *магістрант*;  
Степаненко А.О., *провідний фахівець*.  
Сумський державний університет, м. Суми

На сьогодні перспективи застосування фулеренів обумовлені їх фізико-хімічними характеристиками. Додавання їх невеликої кількості здатне суттєво змінити властивості модифікованого матеріалу.

В роботі було проведено дослідження електрофізичних властивостей та структурних особливостей металевих плівок Cu до та після осадження на них фулеренів. Плівки Cu отримували в діапазоні товщин  $d = 15\text{--}40\text{ нм}$ . Осадження фулеренів відбувалось термічним методом: у тиглі розміщували фулереновмісну сажу та проводили відпалювання в температурному діапазоні  $T = 600\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$  протягом 40 хвилини у високому вакуумі ( $10^{-4}\text{ Па}$ ). Це було зроблено з метою підвищення рівня енергії фулеренів та «запуску» процесу їх сублімації на плівку-підкладку. Після цього підвищували температуру випарника до  $800\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$  і впродовж 40 хвилин осаджували фулерени. Розрахунки за моделлю ізотропного розсіювання ТТП показують, що величини середньої довжини вільного пробігу ( $\lambda_0$ ) та коефіцієнта дзеркальності поверхні в плівках Cu відповідно складають 30 нм та 0,38 а у випадку  $\text{C}_{60}/\text{Cu}/\text{П}$  29 нм та 0,1 (до відпалювання) та 3нм і 0,13 (після відпалювання). Таке зменшення величини  $\lambda_0$  можливо пояснюється тим, що фулерени впроваджуються в об'єм кристалітів, де займають порожнечу. До проведення відпалювання плівки  $\text{C}_{60}/\text{Cu}/\text{П}$ , фулерени розміщуються на поверхні металу, а після – збільшується величина середнього розміру кристалітів, розширюються границі зерен, фулерени накопичуються в міжкристалітному просторі, що підтверджується розрахунком коефіцієнта проходження межі зерна ( $r$ ) до відпалювання системи  $\text{C}_{60}/\text{Cu}/\text{П}$   $r = 0,62$ , а після відпалювання  $r = 0,21$ .

Керівник: Шумакова Н.І., *доцент*.

## Вплив товщини немагнітного прошарку на польові залежності наносистем Co/Cu/Fe<sub>x</sub>Ni<sub>100-x</sub>

Салтиков Д.І., аспірант

Сумський державний університет, м. Суми

Тришарові плівки Co/Cu/Fe<sub>x</sub>Ni<sub>100-x</sub> складаються з шарів із різними магнітними і геометричними характеристиками і відносяться до псевдоспін-вентильних структур. У таких структурах антипаралельна впорядкованість векторів намагніченості сусідніх феромагнітних шарів досягається за допомогою зовнішнього магнітного поля. Також слід зауважити, що на процеси перемагнічування та магніторезистивні властивості псевдоспін-вентильних структур суттєво впливає товщина як магнітних, так і немагнітних шарів.

Несиметричні тришарові системи Co/Cu/Fe<sub>x</sub>Ni<sub>100-x</sub> були одержані шляхом посарового випаровування з незалежних джерел на підкладки із спеціальними контактами за температури 300 К. Отримання польових залежностей проводилося у спеціальній установці за температур 120 і 300 К.

Дослідження магніторезистивних властивостей зразків при температурі вимірювання 300 К показали суттєвий вплив ефективної товщини немагнітного прошарку ( $d_N$ ) на характер і величину магнітоопору. Так, при  $d_N < 2$  нм спостерігається анізотропний магнітоопір, незалежно від товщини феромагнітних шарів і концентрації нікелю у магнітом'якому шарі. Анізотропний характер магнітоопору при таких товщинах немагнітного прошарку зумовлений відсутністю структурної суцільності шару міді. При збільшенні товщини прошарку ( $d_N = 5-10$  нм) проявляються ізотропні польові залежності двох видів, залежно від товщини магнітних та немагнітного шару. До першого виду можна віднести польові залежності з гострими піками, які подібні до відповідних залежностей для симетричних систем. До другого – польові залежності з горизонтальною ділянкою.

Охолодження зразків до 120 К практично не призводить до зміни вигляду петель гістерезису, хоча фіксується збільшення ефекту і розширення та зміщення горизонтальної ділянки на магніторезистивній петлі в напрямку більших сильних полів.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми №0116U002623.

Керівник: Шкурдода Ю.О., доцент.

**Особливості польових залежностей магнітоопору в тришарових  
плівках  $\text{Fe}_x\text{Ni}_{100-x}/\text{Cu}/\text{Fe}_x\text{Ni}_{100-x}/\text{P}$** 

Шкурдода Ю.О., доцент; Шуляренко Д.О., магістрант  
Сумський державний університет, м. Суми

Характер польових залежностей та величина магнітоопору свіжосконденсованих тришарових плівок  $\text{Fe}_x\text{Ni}_{1-x}/\text{Cu}/\text{Fe}_x\text{Ni}_{1-x}/\text{P}$  (P-підкладка) суттєво залежить від складу феромагнітних шарів  $\text{Fe}_x\text{Ni}_{1-x}$  та товщин як прошарку Cu ( $d_N$ ), так і магнітних шарів ( $d_F$ ). Експериментально були встановлені інтервали концентрацій і товщин шарів, у яких спостерігався як позитивний поздовжній, так і негативний магніторезистивний ефект.

Залежно від товщини шарів та концентрації нікелю в магнітних шарах можна виділити три типи польових залежностей магнітоопору: перший – залежності, які мають анізотропний характер, другий – гістерезисні ізотропні польові залежності з насиченням у відносно слабких магнітних полях ( $H_S < 10$  мТл), третій – безгістерезисні ізотропні залежності з насиченням у магнітних полях більше 0,2 Тл.

Анізотропний характер польових залежностей магнітоопору (позитивний поздовжній та негативний поперечний магнітоопір) реалізується для всіх досліджуваних тришарових зразків з товщиною немагнітного прошарку  $d_N = 1 - 3$  нм, незалежно від товщини магнітних шарів  $d_F$  та концентрації компонент у магнітних шарах.

Для плівок в інтервалі товщин  $d_N = 3 - 15$  нм та  $d_F = 15 - 40$  нм характерна ізотропність польових залежностей, що є ознакою ефекту гігантського магнітоопору. Крім того, залежно від товщин як магнітних, так і немагнітного шарів та концентрації компонент може спостерігатися (або не спостерігатися) гістерезис магніторезистивного ефекту. У зазначених структурах відносно слабке магнітне поле переводить систему від антиферомагнітного впорядкування до феромагнітного, що й призводить до зменшення опору зразка, тобто реалізується ефект ГМО. Джерелом гігантського магнітоопору є механізм неоднакового розсіювання двох груп електронів зі спінами, що відрізняються орієнтацією відносно до напрямку намагніченості розсіюючої електрони магнітної структури.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми №0116U002623.

## Вплив товщини немагнітного прошарку із Dy на магніторезистивні властивості тришарових плівок Ni / Dy / Ni

Шабельник Т.М., *аспірант*; Шутильєва О.В., *асистент*  
Сумський державний університет, м. Суми

У роботі представлено результати досліджень магніторезистивних властивостей свіжосконденсованих тришарових плівкових систем Ni(5) / Dy(x) / Ni(10) / П (П – підкладка), у яких ефективна товщина (x) прошарку Dy, змінюється від 1 до 20 нм. Зразки було отримано електронно-променевим методом на підігріту ситалову підкладку ( $T_n \cong 460$  К). Дослідження магніторезистивних властивостей проводилось при кімнатній температурі за допомогою програмно-апаратного комплексу в зовнішньому магнітному полі  $B_c = \pm 500$  мТл. Структурно-фазовий стан та кристалічну структуру було досліджено за допомогою просвічуючого електронного мікроскопу (ПЕМ-125К).

Відмітимо, що фізичний склад плівок визначається фазовим складом окремих компонентів. Шари Ni мають фазовий склад ГЦК-Ni. Структурно-фазовий стан прошарків з Dy у залежності від ефективної товщини перебуває у квазіаморфному стані при товщині  $d_{Dy} < 15$  нм і стабілізується у кристалічну фазу ГЦП-Dy при товщині  $d_{Dy} > 15$  нм.

Дослідження магніторезистивних властивостей показали, що величина магнітоопору (МО) має анізотропний характер, не залежно від ефективної товщини прошарку з Dy. Максимальне значення МО 0,85 % спостерігалось у перпендикулярній геометрії вимірювання при товщині  $d_{Dy} = 20$  нм, а мінімальне 0,42 % при товщині  $d_{Dy} = 5$  нм. Така зміна пов'язана з переходом від квазіаморфного стану до кристалічної фази ГЦП-Dy. Значення величини МО має осцилюючий характер при зміні ефективної товщини, що можна пояснити осциляційною залежністю обмінної взаємодії між магнітними шарами через електрони провідності. При переході від перпендикулярної до поперечної орієнтації зразка у зовнішньому магнітному полі величина магнітоопору зменшується.

Керівник: Черноус А.М., *професор*

**Поведінка InSe-фотоперетворювачів при впливі невеликих доз високоенергетичного гамма-випромінювання**

Сидор О.М., науковий співробітник; Сидор О.А., науковий співробітник

Інститут проблем матеріалознавства НАН України, Чернівецьке відділення, м. Чернівці

Традиційна кремнієва електроніка швидко деградує вже при порівняно помірних дозах радіації. Альтернативою при створенні радіаційно-стійких фотоперетворювачів (ФП) видимого, ближніх ІЧ- і УФ-випромінювань можуть служити кристали унікальної групи  $A^3B^6$ .

У даній роботі досліджено вплив  $\gamma$ -квантів ( $E_{\text{сф}} = 3 \text{ MeV}$ ) у діапазоні доз 0,014–1,4 кГр на фотоелектричні та спектральні параметри двох типів ФП, а саме, власний оксид- $p$ -InSe та  $n$ -InSe- $p$ -InSe, виготовлених простими технологіями термічного окислення і Ван-дер-ваальсового контакту, відповідно.

В умовах опромінення досліджувані структури продемонстрували тенденцію до покращення параметрів зі збільшенням дози. Так, монохроматичні ампер-ватні  $S_I$  чутливості збільшились на 12–18 % та 49–69 % для ФП власний оксид- $p$ -InSe та  $n$ -InSe- $p$ -InSe, відповідно. По аналогії, вольт-ватні  $S_U$  чутливості зросли на 11–28 % та 5–8 %. Це ж стосується величин  $U_{\text{сх}}$  та  $J_{\text{кз}}$ : їх ріст для обох типів ФП склав 2–8 % і 5–10 %, відповідно.

Спектри фотовідгуку  $\eta(h\nu)$  ФП не показали суттєвих змін форми чи енергетичного положення з опроміненням. Спостерігався тільки ріст абсолютних значень фотоструму. Також значно покращилась крутизна довгохвильової границі спектра: незалежно від типу ФП її ріст для досліджуваного інтервалу доз відбувся в 1,4–1,5 рази. Додатково відмітимо існування навіть при кімнатній температурі екситонного піка при  $E \sim 1,24 \text{ eV}$  для опромінених структур.

Запропоновано фізичну модель електронних процесів, що спостерігаються у даних  $p$ - $n$ -переходах при опроміненні: на фоні утворення простих точкових дефектів відбувалося суттєве покращення досконалості кристалічної ґратки шаруватого селеніду індію внаслідок ефективного “заліковування” власних структурних дефектів.

## Особливості розмірної залежності інтегрального коефіцієнта поздовжньої тензочутливості плівок сплаву $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$

Овруцький А.С., магістрант

Сумський державний університет, м. Суми

У роботі наведені результати дослідження тензоефекту в плівках пермалою (Py)  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  в діапазоні товщин  $d = 10\text{--}50$  нм. Тонкоплівкові зразки отримувалися методом термічного випаровування масивного матеріалу Py 79 НМ (79–80 мас. % Ni, 15–16 мас. % Fe; 4–5 мас. % Mo) зі швидкістю 0,1 нм/с на полістиролові підкладки (П).

Вивчення тензорезистивних властивостей проводилося протягом 3-х циклів «навантаження  $\leftrightarrow$  зняття навантаження» у деформаційному інтервалі  $\Delta\varepsilon_l = 0\text{--}1$  %. Розрахунки інтегрального  $(\gamma)_{\text{int}}$  коефіцієнта поздовжньої тензочутливості здійснювалися за співвідношеннями:

$$(\gamma_l)_{\text{int}} = \frac{1}{R(0)} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta \varepsilon_l}, \text{ де } R(0) \text{ – опір при нульовій поздовжній деформації.}$$

На рисунку 1 наведена розмірна залежність інтегрального коефіцієнта тензочутливості (КТ) для плівок сплаву  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{П}$ .

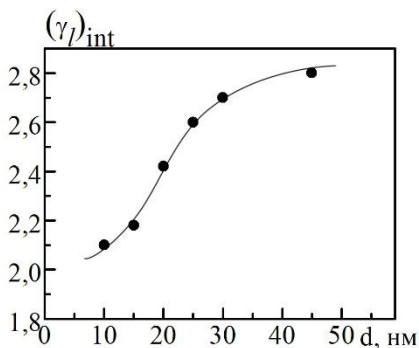


Рисунок 1 – Концентраційна залежність інтегрального коефіцієнта тензочутливості для плівок сплаву  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$

Як видно з рисунка 1, при збільшенні товщини зразків відбувається зростання величини  $(\gamma)_{\text{int}}$ , що не відповідає класичній розмірній залежності КТ (при збільшенні  $d$  відбувається зменшення  $(\gamma)_{\text{int}}$ ) і пояснюється тим, що дослідження проводилися в області пластичної деформації, перехід до якої відбувається вже при 0,2 %.

Керівник: Пазуха І.М., доцент



**Формирование внутренних дефектов в *p-n* структурах SiC для перспективных источников одиночных фотонов**

Краснов В.А., старший научный сотрудник; Ерохин С.Ю., научный сотрудник; Деменский А.Н., младший научный сотрудник; Шутов С.В., старший научный сотрудник  
ИФП им. В.Е. Лашкарева НАН Украины, лаб. 23, г. Херсон

Для современных оптических технологий [1] требуются источники одиночных фотонов, работающие при комнатной температуре. Поэтому очень важным является направление исследований, связанное с изучением излучательной рекомбинации через внутризонные состояния в *p-n* структурах SiC. В частности, формирование точечных дефектов типа  $V_{Si}$  позволяет реализовать состояние доминирования прямых оптических переходов в процессах рекомбинации носителей заряда через энергетические уровни дефектов [2].

В экспериментах использовали *p-n* структуры SiC-6H(N, Al), полученные методом высокотемпературной сублимации в системе с сэндвич-переносом паров SiC. Управляемое формирование внутренних дефектов в области пространственного заряда (ОПЗ) *p-n* перехода осуществляли за счет использования при выращивании структур источников SiC переменной стехиометрии, периодического прерывания процесса роста и термоотжига. Спектры ЭЛ и ФЛ структур, снятые при 300 К, обнаружили наличие достаточно интенсивной полосы излучения с энергией максимума  $\sim 1,35$  эВ, которую связывают [3, 4] с вакансией  $Si V_{Si}$  в SiC-6H. Зависимости интенсивности излучения от уровня тока инжекции, измеренные при (80–120) К, выходили на насыщение при плотностях тока  $\sim (4–6,5) \cdot 10^3$  мА/см<sup>2</sup>.

Полученные результаты качественно согласуются с данными работы [4], однако достигнуты с применением более простого метода формирования точечных дефектов  $V_{Si}$ -типа в ОПЗ *p-n* перехода. При этом, как в [4], так и в наших экспериментах, проблемой остается создание эффективной изоляции отдельных дефектов, подобно NV центрам в алмазе [1], с помощью технологических методов.

1. M.D. Eisaman, J. Fan, et. al., *Rev. Sci. Instrum.* **82**, 071101 (2011).
2. P.G. Baranov, A.P. Bundakova, et. al, *Phys. Rev. B* **83**, 125203 (2011).
3. В.С. Вайнер, В.А. Ильин, *ФТТ* **23**, 2126 (1981).
4. F. Fuchs, V. A. Soltamov, et. al., *Sci. Rep.* **3**, 1637 (2013).

### **Хімічне полірування Cd(Mn)Te травильними композиціями KIO<sub>3</sub> – KI – лактатна кислота**

Іваніцька В.Г., *доцент*; Тунь Є.І., *студент*;  
Мар'янчук П.Д., *професор*; Фочук П.М., *професор*  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,  
м. Чернівці

Хімічна обробка напівпровідників – це сукупність технологічних операцій, які застосовують для одержання досконалої поверхні зразків чистої від забруднень, а також із метою контрольованого видалення матеріалу та отримання пластин заданої товщини. Метою роботи є дослідження особливостей та аналіз результатів хімічної взаємодії монокристалічного Cd<sub>0,95</sub>Mn<sub>0,05</sub>Te із розчинами KIO<sub>3</sub> – KI – лактатна кислота в процесі хіміко-механічного полірування (ХМП), виявлення впливу в'язкого компонента на результат ХМП.

Дослідження проводили на неорієнтованих зразках Cd<sub>0,95</sub>Mn<sub>0,05</sub>Te, вирізаних із монокристалічних злитків, вирощених методом Бріджмена. Для приготування травників використовували: 4 %-ний водний розчин KIO<sub>3</sub> (P1), 50 %-ний водний розчин KI (P2) та 80 %-ний водний розчин C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>3</sub> (P3), всі реактиви марки ч.д.а. Швидкість травлення визначали по зменшенню товщини зразків за допомогою годинникового індикатора ИЧ-1. З метою зменшення швидкості розчинення зразків в процесі їх ХМП, було обрано оптимальний (щодо швидкості травлення і якості одержаної поверхні) склад базового розчину (БР), котрий поступово розводили додатковою кількістю 80 %-ного водного розчину лактатної кислоти. Показано, що у цьому випадку швидкість ХМП зменшується від 8,5 до 2 мкм/хв. При співвідношенні вмісту лактатна кислота/базовий розчин більше за 1, значно погіршується стан поверхні зразків, тому такі розчини є непридатними для ХМП.

Якісні характеристики поверхні Cd<sub>0,95</sub>Mn<sub>0,05</sub>Te після її ХМП встановлено на основі профілографічних, рентгеноспектральних та металографічних досліджень. Показано, що полірування зразків розчином розробленої травильної композиції дає можливість одержати поверхню шорсткість якої не перевищує 3 нм. За результатами рентгеновського мікроаналізу співвідношення (Cd+Mn)/Te, наближається до одиниці, тобто порушення стехіометрії при вказаному методі обробки виявляються мінімальними.

**Структурні властивості плівок твердого розчину  $Zn_xCd_{1-x}S$** Срьоменко Ю.С., *аспірант*; Рибальський Я.І., *студент*;Опанасюк Н.М., *доцент*

Сумський державний університет, м. Суми

На сьогодні найпоширенішими тонкоплівковими сонячними елементами (СЕ) є такі, що базуються на гетеропереході  $n$ -CdS/ $p$ -CdTe. При цьому, плівки твердого розчину  $Zn_xCd_{1-x}S$  у наш час розглядають як перспективний віконний матеріал, спроможний замінити традиційний - CdS. Завдяки регулюванню концентрації цинку  $x$  в твердому розчині можна керовано змінювати ширину забороненої зони, та період кристалічної ґратки матеріалу, що може покращити ККД приладів. В даній роботі досліджувались структурні властивості плівок  $Zn_xCd_{1-x}S$  з різними концентраціями цинку  $x$ .

Серед методів отримання напівпровідникових плівок особливе місце займає вакуумне випаровування в квазізамкненому об'ємі. Даний метод дозволяє наносити полікристалічні конденсати з високою чистотою та якістю кристалічної структури. Це і обумовило вибір методу для отримання плівок  $Zn_xCd_{1-x}S$ .

Властивості плівок  $Zn_xCd_{1-x}S$  головним чином залежать від концентрації домішки цинку  $x$  та технологічних умов отримання. Досліджені зразки наносилися на скляні підкладки у вакуумній установці ВУП-5М при тиску залишкових газів не більше, ніж  $5 \cdot 10^{-3}$  Па. Температура підкладок становила  $T_s = 573$  К, температура випарника  $T_e = 1273$  К, час нанесення  $t = 15$  хвилин, концентрація  $x$  змінювалася від 0 до 1 ( $x = 0; 0,2; 0,4; \dots; 1$ ). Структурні дослідження плівок були виконані на рентгенодифрактометрі ДРОН 4-07 у  $K_\alpha$  випромінюванні Со анода. Знімання проводилось у діапазоні кутів  $2\theta$  від  $25^\circ$  до  $95^\circ$ , де  $2\theta$  – брегівський кут. Отримані криві нормувалися на інтенсивність піку (002) гексагональної фази або (111) кубічної. Фазовий аналіз проводився шляхом співставлення міжплощинних відстаней та відносної інтенсивності від досліджуваних зразків та еталона. Якість текстури плівок оцінювалась за методом Харріса, період ґратки визначався за методом Бредлі-Джея.

В результаті досліджень встановлено, що зі збільшенням концентрації цинку у плівках  $Zn_xCd_{1-x}S$  спостерігався перехід від гексагональної до кубічної фази. Встановлені залежності між хімічним складом шарів та значеннями періоду ґратки матеріалу. Отримані результати будуть використані для оптимізації робочих параметрів і підвищення ККД сонячних елементів з використанням  $Zn_xCd_{1-x}S$  в якості віконного шару.

## Електрофізичні властивості твердих розчинів $Cd_{1-x}Mn_xTe$ , легованих Ge

Фочук П.М.<sup>1</sup>, професор; Никонюк Є.С.<sup>2</sup>, доцент; Солодін С.В.<sup>1</sup>,  
аспірант; Захарук З.І.<sup>1</sup>, старший науковий співробітник;  
Дремлюженко С.Г.<sup>1</sup>, старший науковий співробітник;  
Рудик Б.П.<sup>2</sup> завідувач лабораторії

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

<sup>2</sup> Національний університет водного господарства та  
природокористування, м. Рівне

Активні дослідження кристалів твердого розчину  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ , які проводяться останнім часом, пов'язані з перспективами застосування його в опто- та фотоелектроніці. Необхідний напівізолюючий стан в цих монокристалах, зазвичай, досягається шляхом легування домішками. Зокрема, для фоторефрактивних елементів використовують кристали  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ , леговані домішкою Ge. Тому актуальними є дослідження електричних характеристик цього матеріалу.

Злитки  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  ( $x = 0,02-0,08$ ) легували Ge із концентрацією в розплаві  $8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Після тривалого синтезу (70–72 год.) проводили вирощування монокристалів вертикальним методом Бріджмена.

На основі дослідження температурних залежностей в області температур  $T = 280-420 \text{ K}$ , питомої електропровідності  $\sigma$  та коефіцієнта Холла  $R_H$  зразків  $Cd_{1-x}Mn_xTe:Ge$ , встановлено:

а) величини питомого опору  $\rho$  і коефіцієнта Холла  $R_H$  в зразках з однаковою кількістю домішки Ge зі збільшенням вмісту Mn зростають; при 300K:  $\rho = (10^8-10^9) \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ,  $R_H = (5 \cdot 10^9-5 \cdot 10^{10}) \text{ см}^3/\text{Кл}$ , концентрація носіїв заряду рівна  $10^9-10^{10} \text{ см}^{-3}$ , рухливість носіїв струму  $\sim 50 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ ;

б) діркова провідність контролюється глибокими компенсованими акцепторами з енергією іонізації  $\epsilon_A$ , ця величина знаходиться в межах 0,61–0,71 eВ, до того ж, залежність  $\epsilon_A$  від вмісту мангану в злитку  $Mn(x)$  описується співвідношенням  $\epsilon_A = 0,60(1 + 2,0x) \text{ eВ}$ ;

г) не виявлено мікронеоднорідностей, які викликають існування дрейфових бар'єрів для носіїв струму, що, як правило, спостерігається у високоомних кристалах CdTe і твердих розчинах на його основі.

**Взаємодія електронів середніх енергій з поверхнею NaCl**

Маркович Л.М., науковий співробітник; Приходько М.В., науковий співробітник; Подгорецька Г.Ю., науковий співробітник  
Ужгородський національний університет, м. Ужгород

Методом електрон-фотонної спектроскопії на надвисоковакуумній установці УСУ-4 [1] досліджено спектральний склад оптичного випромінювання в діапазоні 200-800 нм, яке виникає при бомбардуванні електронами середніх енергій поверхні монокристалу NaCl. Тиск залишкових газів в робочій камері становив  $P \sim 10^{-9}$  Тор, а густина струму змінювалась від 0,1 до 5 мА/см<sup>2</sup>. Досліджувані зразки опромінювались електронами з енергією  $E_n = 600$  еВ, під кутом  $\alpha = 15^\circ$  відносно нормалі до поверхні.

Проаналізувавши отримані результати встановлено, що при бомбардуванні електронами поверхні кристалу NaCl різні компоненти емісійного спектру мають різну природу. Так, безпосередньо з поверхневого шару мішені емітується неперервне випромінювання, а випромінювання збуджених атомів лужного металу локалізоване в прилеглому до поверхні просторі, тобто воно емітується відлітаючими від поверхні збудженими атомами. У досліджуваному спектрі спостерігаються смуги неперервного випромінювання з трьома максимумами ( $\lambda_1 = 350$  нм,  $\lambda_2 = 430$  нм,  $\lambda_3 = 490$  нм) і резонансні лінії збуджених атомів натрію (NaI 589,0/9,6 нм), які розпоршуються з поверхні під дією електронного пучка. Неперервне випромінювання є, на нашу думку, рекомбінаційним світінням, яке виникає внаслідок збудження електрон-діркових пар електронної підсистеми NaCl і наявністю дефектів типу F-центрів в об'ємі кристала. Виміряна нами лінійна залежність спектральної лінії NaI 589,0 нм від величини струму первинних електронів засвідчує, що процес електронного розпоршення реалізується в однократних актах зіткнень, через збудження первинними електронами глибоких електронних оболонок натрію. Їх подальше захоплення призводить до утворення оже-електронів і заряджених частинок – іонів. Вивільнена при цьому енергія може бути затрачена на розрив зв'язку натрію з кристалом і його відльоту від поверхні в збудженому стані. Нами було розраховано абсолютний вихід фотонів для кристалу NaCl, який становить відповідно:  $N = 2 \cdot 10^{-2}$  фот./ел.

1. М.І. Лінтур, Л.М. Маркович, В.О. Мастюгін, М.В. Приходько, І.С. Шароді, *Науковий вісник УжНУ. Сер. фіз.* **10**, 191 (2001).

## Оптимізація режимів термічної обробки гетероструктури на арсеніді галію

Дмитрієв В.С., асистент

Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя

На даний час найбільш відпрацьованими є технології виготовлення гетеропереходів метал-арсенід галію на основі золота, але перехід до металізації на основі срібла, яке має більшу за золото тепло- та електропровідність та відносно невеликий коефіцієнт дифузії в арсенід галію, повинен підвищити технічні характеристики виробів та зменшити їх собівартість.

Для створення омичних контактів використовують подвійні або складніші сплави на основі срібла, золота, паладію, титану з домішкою металів (кадмію, магнію, алюмінію, індію та ін.), які легко окислюються. Опір ерозії цієї групи сплавів базується на захисній дії оксидних плівок, що перешкоджають випаровуванню, але не перешкоджають контактній провідності.

Досліджували вплив технології нанесення металевої плівки у вакуумі та відпал структур на основі сплаву 75 % Ag, 20 % Ge, 5 % In до арсеніду галію *n*-типу провідності з концентрацією носіїв в епітаксійному шарі  $2 \cdot 10^{16}$  Ом·см<sup>-3</sup> на величину перехідного контактного опору, інжекцію та структуру плівки.

Срібло під дією електричних розрядів окислюється, але оксиди срібла електропровідні й легко дисоціюють (температура дисоціації ~ 573 К). Внаслідок цього окислення майже не позначається на стійкості контактного опору срібних контактів. Для зниження явища агломерації необхідно вводити легуючі компоненти, перешкоджаючи зростанню зерен під час відпалу. У сплаві 75 % Ag, 20 % Ge, 5 % In германій є легуючою добавкою, In – покращує змочуваність та зменшує поверхневе натягнення металу.

Опір контактів дуже критичний до режиму відпалу. У кожному окремому випадку дані про оптимальні режими дуже суперечливі.

Розроблено режим термообробки омичних контактів 75 % Ag, 20 % Ge, 5 % In до *n-n*<sup>+</sup>GaAs(111)В з  $n_{\text{еш}} = 2 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>, забезпечуючий досить низький контактний опір  $(5 \dots 7) \cdot 10^{-5}$  Ом·см<sup>2</sup>, при  $T_{\text{підкл}} = 453$  К,  $T_{\text{відп}} = 893$  К упродовж 60 секунд, швидкості підйому температури відпалу 7,2 К/с, швидкості охолодження контакту після відпалу 4,75 К/с.

**Люмінесценція чистих та активованих Європієм тонких плівок  $Y_2O_3$** Бордун І.О., *аспірант*

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

Тонкі плівки на основі  $Y_2O_3$  широко використовуються при створенні дисплеїв, сцинтиляторів, засобів для запису та візуалізації інформації. Ефективність люмінесценції цих плівок сильно залежить як від методу, так і від умов одержання. У зв'язку з цим в роботі досліджуються спектри фотолюмінесценції (ФЛ) та збудження люмінесценції тонких плівок  $Y_2O_3$ , одержаних різними методами та взаємозв'язок спектрів випромінювання з умовами одержання.

Тонкі плівки  $Y_2O_3$  та  $Y_2O_3:Eu$  товщиною 0,3–1,0 мкм одержані методом дискретного випаровування у вакуумі і ВЧ іонно-плазмовим розпиленням на підкладках з плавленого кварцу. Після нанесення плівок проводилась їх термообробка. Аналіз спектрів ФЛ тонких плівок  $Y_2O_3$ , одержаних дискретним випаровуванням показав, що у даних спектрах домінуючою є смуга свічення з максимумом в області 3,20 еВ. Відносний вклад низькоенергетичних смуг люмінесценції з максимумами в області 2,90 і 2,60 еВ визначається енергією збудження. Плівки  $Y_2O_3$  одержані ВЧ розпиленням в атмосфері кисню володіють слабшим свіченням ФЛ. При цьому, домінуючою у спектрах люмінесценції є смуга свічення з максимумом при 3,40 еВ. При додаванні у розпилювальну кисневу атмосферу аргону інтенсивність люмінесценції зменшується і максимум спектру люмінесценції зміщується в область 3,20 еВ. Розглянуто природу виділених смуг люмінесценції у тонких плівках  $Y_2O_3$ .

Досліджено спектри та кінетику розгоряння і загасання катодолюмінесценції (КЛ) тонких плівок  $Y_2O_3:Eu$  отриманих методом ВЧ-магнетронного напилення. На основі форми спектрів КЛ при різних енергіях збудження показано можливість утворення нерегулярних розчинів оксиду ітрію і Європію та особливості структури поверхневих і об'ємних шарів. Визначено постійну часу загасання КЛ для свічення 612 нм, величина якої перебуває в межах (1.8–4.1) мс. Показано, що дана величина є складною функцією від виду атмосфери напилення плівок, концентрації активатора і тривалості збуджуючих імпульсів. Запропоновано на основі затримки розгоряння КЛ аналізувати структурну досконалість тонких плівок  $Y_2O_3:Eu$ .

## Структура та коливні спектри тонких плівок $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$

Медвідь І.І., *аспірантка*; Бордун Б.О., *магістрант*  
Львівський національний університет ім. І. Франка, м. Львів

В останні роки широке застосування набувають плівки на основі  $\beta$ -фази  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ . Тонкі плівки  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  товщиною 0.2-0.8 мкм одержані високочастотним (ВЧ) іонно-плазмовим розпиленням на підкладках із плавленого кварцу  $v\text{-SiO}_2$ . Для отриманих плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  характерна полікристалічна структура, яка відрізняється залежно від способу термообробки плівок.

Результати рентгенівського дифракційного аналізу свідчать про те, що при відпалі у кисні переважна орієнтація кристалітів  $\beta$ -фази спостерігається у площинах (400), (002), (111) і (512). При відпалі в аргоні також переважає орієнтація кристалітів у площинах (400), (002), (111) і (512), але має місце відносне зменшення орієнтації в площині (400), збільшення в площині (111) і ріст орієнтації у новій площині (113). Для плівок, відпалених у водні, спостерігається слабкорозвинута структура дифракційного спектру, у якому також переважають рефлекси від площин (400), (002) і (512).

Проведені дослідження структури поверхні плівок показують, що при ВЧ іонно-плазмовому напиленні в атмосфері аргону з наступним відпалом у атмосфері водню, аргону чи кисню формуються плівки з розмірами кристалітів 35–47 нм.

Проведено порівняння спектрів ІЧ-відбивання відпалених та невідпалених плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ . Встановлено, що дані плівки мають подібну структуру, однак у відпалених плівках спектр є більш розвинений. Проведено інтерпретацію спектрів та показано, що коливні моди в  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  при нульовому хвильовому векторі повністю визначаються коливаннями атомів елементарної комірки.

Одержані в роботі результати при дослідженні коливних спектрів можна використати при вивченні структури і досконалості тонких плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ , перебудови їх структури під час фазових переходів. Спектри ІЧ-відбивання корисні для інтерпретації плівок  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ , легованих елементами III-V груп періодичної системи. Наявність у цих спектрах порівняно вузьких смуг дозволяє проводити кількісний аналіз домішок.



## Використання термопар Косарева – перспективи та недоліки

Дідоренко О.О.

Машинобудівний коледж СумДУ, м. Суми

У 1998 р. Косарев А.В. винайшов та запатентував новий спосіб побудови термопар, які характеризувалися підвищеним КПД та були створені методом пошарової конденсації наночарів провідника та діелектрика. Підвищення КПД досягало до 40 % у порівнянні із звичайними хромель-алюмелевими термопарами.

Принцип дії цих приладів оснований на перетворенні теплової енергії в електричну. За рахунок багаточарової структури, що утворюється шляхом накладання з деяким зміщенням паралельно з'єднаних трьохшарових структур типу провідник-діелектрик-провідник формуються термопари, що надчутливі до зміни температури (можуть реєструвати зміну  $T$  до 0,001 градуса).

Такі термопари можна розміщувати, наприклад, по всій площі сонячних панелей або на внутрішніх стінках батарей опалення. При зміні  $T$  відбувається фіксація її та перетворення в електричний струм. Таким чином у зимовий період використання термопар підвищеного КПД у сонячних батареях дозволилось зекономити до 40 % енергії та перетворити її на електричний струм.

Ще один спосіб застосування термопар Косарева – це теплові насоси (ТН). Принцип роботи такого приладу оснований на оберненому циклі Карно. ТН переносить розсіяну теплову енергію в опалювальний контур. Відомо, що ТН, витрачаючи 1 квт електроенергії- перекачують, за рахунок процесу зрідження і випаровування газу до 8 кіловат теплової енергії. Проведені розрахунки показали, що при перекачуванні тепла з навколишнього середовища двічі відбувається перетворення теплової енергії в електричну: з виробництвом на першому перетворенні 5.3 кВт електрики, на другому етапі – 3.2 кВт електрики, а також тепловий насос дає близько 4.7 кВт тепла для опалення. Приблизно 75% опалювальної енергії можна зібрати безкоштовно із природи: ґрунту, води, повітря й тільки 25% енергії необхідно затратити для роботи самого теплового насоса. Інакше кажучи, власник теплових насосів заощаджують 3/4 коштів, які він би регулярно витрачав на дизпаливо, газ або електроенергію для традиційного опалення.

## Гетеропереходи на основі шаруватих кристалів $\text{FeIn}_2\text{Se}_4$ та $\text{In}_4\text{Se}_3$

Кушнір Б.В., *аспірант*; Ткачук І.Г., *аспірант*

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН  
України, Чернівецьке відділення, м. Чернівці

Шаруваті кристали  $\text{FeIn}_2\text{Se}_4$  і  $\text{In}_4\text{Se}_3$  – перспективні матеріали для створення фоточутливих гетеропереходів на їх основі, які можуть бути як *n*-, так і *p*- типу провідності. Ці матеріали з різною симетрією і періодами кристалічної ґрадки дозволяють методом Ван-дер-ваальсового контакту поверхонь створювати якісні гетеропереходи.

Методом механічного контакту був сформований новий гетероперехід *p*- $\text{FeIn}_2\text{Se}_4$  – *n*- $\text{In}_4\text{Se}_3$ . Монокристали  $\text{In}_4\text{Se}_3$  вирощувалися методом Чохральського і володіли яскраво вираженою шаруватою структурою. В якості фронтального напівпровідника гетеропереходу були обрані кристали  $\text{FeIn}_2\text{Se}_4$ , вирощені методом Бріджмена. Поверхня сколотих пластин була також дзеркальної і придатною для створення гетеропереходу методом Ван-дер-ваальсового контакту. Струмові контакти створювалися вплавленням чистого індію, причому неомічність з *p*- матеріалом усувалася шляхом спеціального пошкодження його поверхні.

Вольт-амперні (ВАХ) та вольт-фарадні (ВФХ) характеристики гетеропереходу *p*- $\text{FeIn}_2\text{Se}_4$ -*n*- $\text{In}_4\text{Se}_3$  досліджувались за допомогою вимірального комплексу SOLARTRON SI 1286, SI з комп'ютерним інтерфейсом. Крім вимірювань, проведених при кімнатній температурі, досліджували також температурні залежності ВАХ з метою встановлення механізму протікання струму через гетероперехід.

Досліджені вольт-фарадні, спектральні характеристики і температурні залежності ВАХ гетеропереходу. На основі аналізу електричних і фотоелектричних характеристик гетеропереходу побудована його якісна зонна діаграма. Встановлена область спектральної фоточутливості гетеропереходу *p*- $\text{FeIn}_2\text{Se}_4$  – *n*- $\text{In}_4\text{Se}_3$ , яка знаходиться в межах 0,7–1,3 еВ.

### Механізми перенесення заряду в опромінених електронами кристалах *n*-InSe

Ковалюк З.Д.<sup>1</sup>, керівник відділу; Маслюк В.Т.<sup>2</sup>, завідувач відділу; Мегела І.Г.<sup>2</sup>, провідний інженер; Мінтянський І.В.<sup>1</sup>, старший науковий співробітник; Савицький П.І.<sup>1</sup>, старший науковий співробітник

<sup>1</sup> Інститут проблем матеріалознавства НАН України, Чернівецьке відділення, м. Чернівці

<sup>2</sup> Інститут електронної фізики НАН України, м. Ужгород

Слабкий міжшаровий зв'язок визначає не лише анізотропію фізичних властивостей шаруватих монокристалів InSe, але й значну кількість ( $\sim 10^{18}$  см<sup>-3</sup>) структурних дефектів. Як наслідок, сполука може витримувати вищі дози радіаційного опромінення, ніж традиційні матеріали електроніки. В той же час для селеніду індію відсутня інформація щодо впливу опромінення на механізми перенесення заряду в різних кристалографічних напрямках. Зокрема, це стосується й високоенергетичних електронів, що є предметом аналізу даного повідомлення. До та після опромінення зразків електронами ( $10^{14}$ ÷ $10^{15}$  е/см<sup>2</sup>) з енергією в 10 МеВ вимірювалися їх транспортні параметри.

Для вихідних монокристалів пониження рухливості електронів вздовж шарів  $\mu_{\perp C}$  у всьому температурному діапазоні (80÷400 К) зумовлене переважною їх взаємодією з гомополярними оптичними фононами, поляризованими вздовж кристалографічної осі *C*. Основною відмінністю опромінених зразків є немонотонна залежність рухливості. При низьких температурах вона понижується більш як на порядок і змінюється по закону  $\mu_{\perp C} \sim T^{-0.5}$ . Далі рухливість різко зростає і при високих температурах сягає рівня вихідних кристалів.

Отримані при 80 К значення рухливості ( $\sim 300$  см<sup>2</sup>/В·с) все ж є занадто високими як для домішкової зони. Низькотемпературна зміна рухливості пояснена взаємодією носіїв з областями просторового заряду (модель Вайсберга). При  $T > 160$ ÷ $180$  К відбувається активація 2D електронів в основну 3D зону провідності і  $\mu_{\perp C}$  різко збільшується.

Поперечна до шарів рухливість для вихідних кристалів у  $10^2$ ÷ $10^4$  разів менша, ніж поздовжня і незначно зростає з температурою. Це пояснено впливом тунельних бар'єрів. Електронне опромінення на два порядки понижує величину  $\mu_{\parallel C}$  при 80 К, а її зміна пропорційна  $\exp(-\Delta E_{\delta}/kT)$ , що пояснюється впливом активаційних бар'єрів.

## **СЕКЦІЯ 4**

**«Електронне приладобудування»**

## Властивості гранульованих плівкових сплавів на основі Fe і Au як матеріалів сенсорних елементів

Шумакова М.О., *магістрант*; Ододворець Л.В., *професор*  
Сумський державний університет, м. Суми

За останні роки значно розширилась номенклатура сенсорів і галузі їх застосування, підвищились ефективність і точність вимірювання. Для задоволення постійно зростаючих потреб сучасної електроніки потрібні високочутливі швидкодіючі сенсори, функціональні в складних умовах експлуатації: у широких температурних інтервалах, магнітних полях, а також в умовах деформації, ударних і вібраційних навантажень.

Аналіз літературних даних показує, що все більш широке застосування у електронному сенсорному приладобудуванні знаходять багат шарові і багатокомпонентні плівкові матеріали (мультишари, плівкові тверді розчини (т.р.), гранульовані плівкові сплави) на основі феромагнітних і благородних металів. Основна причина підвищеної зацікавленості до таких матеріалів полягає у тому, що, змінюючи компоненти системи, їх товщину та концентрацію, можна досягти суттєвих змін у електрофізичних і магніторезистивних властивостях, зокрема, отримати відносно мале значення термічного коефіцієнта опору - ТКО (висока термостабільність), велике значення коефіцієнта тензочутливості - КТ (висока чутливість до деформації) або спостерігати ефект гігантського магнітоопору (ГМО). Оскільки у таких матеріалах проявляється вплив на кінетичні явища таких факторів як процеси фазоутворення, дифузійні процеси, інтерфейсне розсіювання електронів провідності, термічні макронапруження та ін., то розуміння фізичних причин виникнення кожного з них дозволяє встановити їх взаємозв'язок із властивостями плівки та виготовити чутливі елементи сенсорів з наперед заданими параметрами, стабільними або дуже чутливими до впливу зовнішніх фізичних полів.

Мета роботи полягала у дослідженні фазового складу і тензорезистивних властивостей в широкому інтервалі деформації гранульованих плівкових сплавів на основі Fe і Au.

Плівкові зразки отримувалися методом одночасної конденсації у вакуумі  $10^{-4}$  Па відомої маси Fe і Au із наперед заданою розрахунковою концентрацією компонент ( $c_{Fe} = 20 - 85$  ат.% із кроком 5 ат.%). Точність

розрахункових концентрацій контролювалась методом РМА, що дало можливість дослідити концентраційну залежність КТ. Для реалізації такого фазового складу товщина зразків повинна мати величину 20 – 30 нм. Дослідження структурно-фазового стану здійснювалося за допомогою просвічуючого електронного мікроскопу ПЕМ-125К. Розрахунок величини середнього – інтегрального КТ  $(\gamma)_{\text{int}}$  здійснювався за тангенсом кута нахилу деформаційних залежностей або усереднення миттєвих значень – диференціального КТ  $(\gamma)_{\text{dif}}$  по усьому деформаційному інтервалу. Інтегральний та диференціальний КТ визначались за співвідношеннями:

$$(\gamma)_{\text{int}} = \frac{\Delta R}{R(0)_{\varepsilon_l}} = \frac{R(\varepsilon_l) - R(0)}{R(0) \cdot \varepsilon_l}; \quad (\gamma)_{\text{dif}} = \frac{1}{R_l} \cdot \frac{dR}{d\varepsilon_l},$$

де  $R(\varepsilon_l)$  – опір плівки при деформації  $\varepsilon_l$ ;  $R(0)$  – опір недеформованого зразка.

Дослідження тензорезистивних властивостей плівок в інтервалі деформацій  $\Delta\varepsilon_l = (0 - 2)\%$  проводилося за допомогою автоматизованої системи, що дало можливість здійснити велику кількість деформаційних циклів у статичному і динамічному режимах роботи при швидкості деформації від 0 до 0,1%/с.

Установлено, що в тонких плівках ( $d \cong 20 - 30$  нм), отриманих одночасною конденсацією атомів Fe і Au формується неупорядковані т.р. ГЦК Au(Fe) та ОЦК  $\alpha$ -Fe(Au) (більш детально див. [1]). Структурний перехід супроводжується диспергуванням кристалічної структури і, як наслідок цього, збільшенням ефективності зерномежового розсіювання електронів. Це спричиняє аномальне збільшення інтегральної величини коефіцієнта тензочутливості (від 2 до 80 одиниць) при пластичній деформації в інтервалі концентрацій Fe від 55 до 70 ат.%, що може бути використано при формуванні тензорезисторів та чутливих елементів сенсорів переміщення і деформації.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми кафедри прикладної фізики Сумського державного університету № 0115U000689.

1. O.V. Pylypenko, L.V. Odnodvoretz, I.Yu. Protsenko, M.O.Shumakova, *Probl. Atomic Sci. Technol.* №5(67), 131 (2016).

Керівник: Проценко І.Ю., *професор*

## Термічна стабільність магнітних характеристик спін-вентильних систем $Ni_xFe_{1-x}/Ag/Co$

Колоскова О.А., *магістрант*; Бездідько О.В., *магістрант*;  
Пазуха І.М., *доцент*; Однодворець Л.В., *професор*  
Сумський державний університет, м. Суми

Матеріали із спін-залежним розсіюванням електронів, до яких відносяться спін-вентилі різних типів, використовують для формування чутливих елементів сучасної електроніки і сенсорної техніки. У залежності від функціонального призначення, до магнітних характеристик таких систем висуваються різні вимоги, однак їх термічна стабільність є пріоритетом для забезпечення ефективної роботи як окремих елементів, так і приладів в цілому.

У даній роботі представлені результати дослідження структурно-фазового стану і температурної залежності магнітних характеристик спін-вентилів  $Ni_xFe_{1-x}(25)/Ag(d_{Ag})/Co(35)/\Pi$ , де  $x \cong 80\%$ ;  $d_{Ag} = 15, 17, 20$  і  $23$  нм ( $\Pi$  – підкладка, в дужках – товщина в нм). Спін-вентильні системи формувались у вакуумі  $10^{-4}$  Па на аморфних підкладках  $SiO_2/Si$ , після чого проходили термообробку в інтервалі  $\Delta T = 300-750$  К. Магнітні характеристики досліджувалися методом вібраційної магнітометрії (прилад VSM Lake Shore Model 7400). Дослідження структурно-фазового стану - за допомогою просвічуючого електронного мікроскопу ПЕМ-125К.

Структурно-фазовий стан спін-вентильних структур після конденсації відповідає комбінації ГЦК-Ag ( $a = 0,408$  нм), ГЦК- $Ni_3Fe$  ( $a = 0,351$  нм) і ГЦП-Co ( $a = 0,233$  і  $c = 0,408$  нм). Процес термовідпалювання до 750 К не вносить змін у структурно-фазовий стан досліджуваних зразків. На електроннограмах спостерігаються лінії, що відповідають ГЦК-Ag ( $a = 0,408$  нм), ГЦК- $Ni_3Fe$  ( $a = 0,352$  нм) і ГЦП-Co ( $a = 0,233$  і  $c = 0,408$  нм).

Польові залежності  $M/M_s(H)$  мають сходинко подібну форму, що є результатом почергового, незалежного перемагнічування верхнього шару  $Ni_xFe_{1-x}$  в діапазоні полів 1 – 2 мТ, який характеризується більш низьким значенням коерцитивності, та нижнього шару Co в діапазоні полів 13 – 17 мТ, який, відповідно, характеризується більш низьким значенням коерцитивності. Величина поля при, якій відбувається процес перемагнічування, як видно з рис. 1, залежить від товщини немагнітного прошарку. Перший крок перемагнічування має меншу

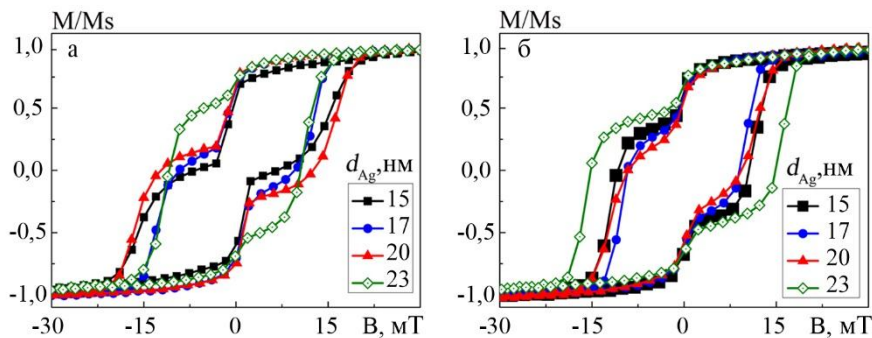


Рисунок 1 – Нормований гістерезис  $M/M_s$  при орієнтації магнітного поля “in plane” для спін-вентелів  $\text{Au}(3)/\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}(25)/\text{Ag}(d_{\text{Ag}})/\text{Co}(35)/\text{П}$  при  $x \cong 80\%$  до (а) та після відпалювання до 750 К (б) при  $d_{\text{Ag}}$ : 15, 17, 20 і 23 нм

амплітуду, ніж другий. Це свідчить про те, що верхній шар  $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ , з більшим загальним магнітним моментом ( $M_s = 0,8 \cdot 10^6$  А/м) м’якший у порівнянні з нижнім шаром  $\text{Co}$ , намагніченість насичення якого становить  $1,4 \cdot 10^6$  А/м. Зауважимо, що ширина петель магнітного гістерезису залежить від товщини шару срібла, внаслідок зміни характеру обмінної взаємодії між магнітними шарами. Нами було встановлено, що при  $d_{\text{Ag}} = 23$  нм петлі магнітного гістерезису стають ширшими, оскільки сила міжшарової взаємодія між шарами  $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$  та  $\text{Co}$  зменшується. Процес термовідпалювання суттєво не змінює форму петель магнітного гістерезису (рис.1, б). Максимальна величина намагніченості не перевищує 30 мТ, при цьому зберігається сходинкоподібна форма сигналу при зміні величини поля, яка, як для невідпалених систем, відповідає почерговому перемагнічуванню магнітом’якого  $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$  і магнітожорсткого  $\text{Co}$  шарів.

Таким чином, можна зробити висновок, що спін-вентильні системи, сформовані на основі  $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ ,  $\text{Co}$  та  $\text{Ag}$  характеризуються достатньо високою температурною стабільністю магнітних характеристик при відпалюванні в температурному інтервалі 300–750 К, що дає перспективу їх використання як чутливих елементів електронних і сенсорних приладів.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0116U002623.

Керівник: Проценко С.І., *професор*



## Изготовление полупроводниковых диодов с применением слоев пористого анодного окисла кремния

Фролов А.Н.<sup>1</sup>, канд. техн. наук; Самойлов Н.А.<sup>2</sup>, ведущий инженер;  
Марончук А.И.<sup>2</sup>, младший научный сотрудник

<sup>1</sup>Херсонский филиал Национального университета  
им. адмирала Макарова, г. Херсон

<sup>2</sup>Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН  
Украины, лаб. 23, г. Херсон

Слои окисла кремния применяются в качестве защитных слоев над выходом  $p-n$  переходов на планарную поверхность полупроводниковых устройств, а также имеют хорошие маскирующие свойства при диффузии примесей. Существующие методы создания слоев окисла кремния [1] обладают своими различными достоинствами и недостатками при применении в технологии производства полупроводниковых приборов.

Разработанная нами технология с использованием слоев пористого анодного окисла кремния позволяет изготавливать диоды Шоттки, варикапы, выпрямительные и др. кремниевые диоды, которые имеют уменьшенный разброс параметров, поскольку разброс глубины залегания слоев пористого анодного окисла кремния не оказывает влияния на площадь  $p-n$  перехода или барьера Шоттки. При изготовлении высоковольтных варикапов удается получать высокие напряжения лавинного пробоя, используя достоинства мезаструктуры. Кроме этого, использование в процессе изготовления только одной операции фотолитографии позволяет снизить стоимость изготовления полупроводниковых приборов, а, учитывая такие параметры как предельная частота, показатель идеальности, напряжение пробоя, изготовленные с применением слоев пористого анодного окисла кремния диоды Шоттки не уступают лучшим современным аналогам. Дополнительным преимуществом использования слоев пористого анодного окисла является уменьшение вредного воздействия на окружающую среду, вследствие использования растворов слабых кислот.

1. В.Г. Колесников и др.; под ред. Я.А. Федотова, *Кремниевые планарные транзисторы* (Москва: Советское радио: 1973).

## Minimal operation current estimation for the temperature sensors based on p<sup>+</sup>-n GaP diode structures

Yerochin S.Yu., *Researcher*, Demenskiy A.N., *Junior Researcher*;  
Krasnov V.A., *Senior Researcher*; Shutov S.V., *Senior Researcher*;  
Shwarts Yu.M., *Leader Researcher*

V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NASU,  
Lab.N23, Kherson, Ukraine

A decrease of the operation current of diode temperature sensors (DTS) allows to considerably reduce the systematic measurement error of the sensors [1]. In this connection we have made an estimation of the minimum operation current magnitude for p<sup>+</sup>-n GaP DTS [2].

According to the data of work [1] the temperature measurement error of the DTS caused by the current flowing consists of three principal components: Joule heating of the device chip  $\Delta T_H$ , presence of noise of the p-n junction  $\Delta T_N$  and an influence of a base layer resistance of the diode structure  $\Delta T_R$ . As the operation current decreases the magnitude of  $\Delta T_H$  component becomes less than the resolution of the temperature scale in the defined points, thus only the last two components have been taken into account in our estimations, i.e.:

$$\Delta T = \Delta T_N + \Delta T_R \quad (1)$$

The value of  $\Delta T$  is maximal at  $T=T_M$ , then:

$$\Delta T_R(T_M) = R_b I / |s(T_M)|, \Delta T_N(T_M) = U_N / |s(T_M)|, \quad (2)$$

where  $R_b$  is the base layer resistance of the DTS,  $U_N \equiv \sqrt{\langle U_N^2 \rangle}$  is the root-mean-square noise voltage determined by thermal and shot noise,  $s$  is the thermal sensitivity of the DTS,  $T_M$  is the maximum temperature measured by DTS.

According to the relations (2) and the dependence of thermal sensitivity on the current, when the current is reduced  $\Delta T_N$  rises and  $\Delta T_R$  decreases. Thus there is an operation current  $I$  at which the total systematic error (1) is minimal. This value  $I = I_{\min}$  is taken as the desired current value [1]. According to our calculations the value of minimal forward operation current of the sensors considered is in the range  $1.5 \cdot 10^{-9} - 5 \cdot 10^{-10}$  A.

1. Yu. M. Shwarts, et al., *Sensor Actuat. A-Phys.* **86**(3), 197 (2000).
2. V.Krasnov, S. Shutov et al., *Rev. Sci. Instrum.* **82**(8), 086109 (2011).

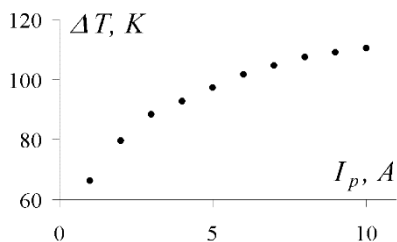
## Определение температуры рабочего перегрева серийных быстродействующих выпрямительных диодов FES10G

Деменский А.Н., младший научный сотрудник; Ерохин С.Ю., научный сотрудник; Краснов В.А., старший научный сотрудник  
ИФП им. В.Е. Лашкарева НАН Украины, лаб. №23, г. Херсон

Одним из актуальных направлений развития современной электроники является разработка и совершенствование неразрушающих способов определения температуры кристалла полупроводниковых приборов во время эксплуатации.

Предложенный в работе [1] способ определения температуры перегрева кристалла полупроводникового прибора обладает существенным недостатком, связанным со значительной погрешностью определения термочувствительности прибора  $s$ . В работе [2] нами предложен более точный способ, позволяющий нивелировать указанный недостаток за счет того, что  $s$  определяется из анализа термометрических характеристик, снятых при значительно меньших прямых токах, чем в [1]. В этом случае влияние локального джоулева нагрева и неконтролируемого рассеяния носителей заряда в процессе токопереноса становится несущественным.

Для иллюстрации усовершенствованного метода проведено измерение температуры рабочего перегрева кристалла  $\Delta T$  быстродействующего выпрямительного диода FES10G (Fairchild Semiconductor Corp.) при температуре среды эксплуатации 25 °С.



На рис. 1. представлена полученная зависимость  $\Delta T$  исследуемого диода в процессе работы от величины прямого тока  $I_p$  через диод.

Оценка максимальной погрешности определения  $\Delta T$  в приведенном диапазоне рабочих токов составила по нашим расчетам  $\leq \pm 6,8$  °С. Для сравнения, по способу [1]  $\leq \pm 9,7$  °С.

1. О. М. Деменський, С. Ю. Єрохін, В. О. Краснов, О. М. Лебедь, С. В. Шутов, Патент України № 102780 U (2015).
2. О. М. Деменський, С. Ю. Єрохін, В. О. Краснов, О. М. Лебедь, С. В. Шутов, Патент України № 110340 U (2016).

## Електричні властивості матеріалів плівкових омічних контактів на основі Fe, Cu, Cr і Ge

Власенко О.В., асистент; Захарченко Н.М., старший викладач;  
Однодворець Л.В., професор  
Сумський державний університет, м. Суми

Плівкові матеріали на основі металів і напівпровідників широко використовуються в електронній і сенсорній техніці. З точки зору формування омічних контактів напівпровідники (НП) можна розділити на дві групи. Перша група – НП із низькою щільністю поверхневих станів, розташованих в глибині забороненої зони (наприклад, ZnSe, SiC). Друга група – НП з високою щільністю поверхневих станів, розташованих в глибині забороненої зони (наприклад, Si, Ge, GaAs). У цих матеріалах величина роботи виходу електронів з контактує металу слабо впливає на його властивості. Виготовлення омічного контакту до таких напівпровідників зводиться або до сильного легування приповерхневої області для можливості тунельного проходження межі поділу електронами або до формування в області переходу хімічних сполук (процеси фазоутворення), що істотно знижує висоту потенційного бар'єру метал/напівпровідник. Тонкоплівкові омічні контакти на основі металів і напівпровідників можна розглядати як бар'єри Шоттки з вузьким потенціальним бар'єром.

Мета роботи полягала у визначенні електричних параметрів (ТКО і опір омічного контакту) плівкових матеріалів на основі металів (Fe, Cr або Cu) і напівпровідника (Ge) з точки зору можливості їх практичного застосування.

Матеріали для формування контактів повинні мати високу температурну стабільність і відповідно низький температурний коефіцієнт опору  $\beta \sim 10^{-4} - 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  у робочому діапазоні температур; при прямому зміщенні забезпечувати інжекцію основних носіїв у НП, при зворотному зміщенні – перешкоджати інжекції неосновних носіїв у НП плівку; мати мінімальний електричний опір і лінійну вольт-амперну характеристику. Такі умови виконуються при правильному підборі пари метал (Me)/напівпровідник (НП). Для пари Me/НП *n*-типу робота виходу електронів із металу ( $A_{\text{Me}}$ ) менша за роботу виходу електронів із напівпровідника ( $A_{\text{НП}}$ ). У такій парі енергія електронів у металі більша, ніж у напівпровіднику, і при встановленні термодинамічної рівноваги

частина електронів з металу перетікає в напівпровідник. Рівні Фермі  $W_F$  в металі та напівпровіднику вирівнюються. Контактне електричне поле  $E_k$  направлене з Me у НП, що призводить до вигину рівнів енергії дна зони провідності  $W_c$  і зверху валентної зони  $W_v$  в області, збагаченій електронами. Однак напруженість контактного поля на кілька порядків менше за внутрішньоатомну, тому ширина забороненої зони і зовнішня робота виходу залишаються постійними.

Електричне поле сприяє дрейфу основних носіїв (електронів) з напівпровідника в метал і перешкоджає дрейфу неосновних носіїв. Якщо ж за рахунок вибору матеріалів величини робіт виходу електронів із металу і напівпровідника відрізняються несуттєво  $A_{Me} \cong A_{НП}$  ( $A_{Fe} \approx 4,31$  еВ;  $A_{Cu} \approx 4,36$  еВ;  $A_{Cr} \approx 4,60$  еВ і  $A_{Ge} \approx 4,40$  еВ), то висота бар'єра буде мінімальною.

Проведено розрахунок опорів омічних контактів з лінійними симетричними вольт-амперними характеристиками на основі співвідношення [1]:  $R_c = [(\rho + \beta\Delta T)W] / \pi r^2 p$ , де  $\rho \sim 10^{-7}$  Ом·м – питомий опір металу при  $T \rightarrow 0$ ;  $R(0)$  – опір зразка при початковій температурі вимірювання;  $W \cong 1$  нм – ширина шару об'ємного заряду;  $p \cong 2,1 \cdot 10^{10}$  м<sup>-2</sup> – густина дислокацій у плівці Ge, на яких можуть адсорбуватись атоми металу;  $r$  – атомні радіуси металів ( $r_{Fe} = 0,126$  нм,  $r_{Cu} = 0,145$  нм і  $r_{Cr} = 0,166$  нм). Отримано наступні значення при  $R_c < 1$  Ом/м<sup>2</sup>: 0,12 – 0,13 (Ge/Cu/П); 0,30 – 0,32 (Fe/Ge/П) та 0,03 – 0,04 (Ge/Cr/П) Ом/м<sup>2</sup> (П – ситалова підкладка), які підтверджують, що контакти на основі металів (Fe, Cu або Cr) і НП (Ge) не будуть впливати на робочі параметри елементів електронних приладів.

Результати вимірювання ТКО плівкових матеріалів у температурному інтервалі  $\Delta T = 300 - 800$  К вказують на те, що плівки мають відносно високий питомий опір  $\rho \cong (0,1 - 2,0) \cdot 10^{-6}$  Ом·м і низький коефіцієнт  $\beta$  (Fe/Ge/П)  $\cong (5,8 - 6,2) \cdot 10^{-4}$  К<sup>-1</sup>;  $\beta$  (Ge/Cu/П)  $\cong (5,6 - 6,8) \cdot 10^{-4}$  К<sup>-1</sup> і  $\beta$  (Ge/Cr/П)  $\cong (2,8 - 3,3) \cdot 10^{-5}$  К<sup>-1</sup> в інтервалі товщин 20 – 80 нм, що також відповідає вимогам до матеріалів омічних контактів.

1. Бланк Т.В., Гольдберг Ю.А. *ФТП* **41** Вып. 11, 1281 (2007).

## Магнітооптичні властивості плівкових матеріалів на основі Fe і Ge як чутливих сенсорних елементів

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

Плівкові матеріали типу феромагнітний метал(ФМ)/напівпровідник (НП) широко застосовуються для створення діодних і транзисторних структур, накопичувачів інформації великої ємності, сенсорів магнітного поля та елементів спінтроніки. Однією з основних задач розвитку спінтроніки є формування нових матеріалів чутливих елементів приладів: магнітних напівпровідників та гібридних наноструктур типу феромагнетик/напівпровідник, перспективи застосування таких обумовлені можливістю використання спінів напівпровідникового шару як детектора, що реагує на зміни магнітного стану в феромагнетику, і унікальними магнітними властивостями.

Тришарові плівкові системи на основі Fe і Ge були отримані методом термічного випаровування на ситалові підкладки (П) у технологічному вакуумі ( $p \sim 10^{-4}$  Па) та відпалені в автоматичному режимі в інтервалі температур  $\Delta T = 300 - 800$  К протягом 3–4 циклів «нагрів  $\leftrightarrow$  охолодження». Вивчення магнітооптичних властивостей проводились методом магнітооптичного ефекту Керра (МОКЕ).

Результати дослідження магнітооптичних властивостей тришарових плівкових систем Fe(10 нм)/Ge(5 – 20 нм)/Fe(10 нм)/П показало, що при збільшенні товщини НП шару від 5 до 20 нм коерцитивність плівкових систем змінюється: від 42 до 15 мТл (невідпалені зразки) та від 70 до 8 мТл (відпалені до 800 К). Зміна величини коерцитивної сили в системах, які пройшли термообробку, пов'язана із формуванням германідів заліза  $FeGe_x$  ( $1 \leq x < 2$ ) із феромагнітними властивостями по усьому об'єму зразка. У вищевказаних системах спостерігається залежність кута Керра від індукції магнітного поля у вигляді «ступінчатої» петлі гістерезису, що свідчить про реалізацію двох магнітних станів в них та можливість керування швидкодією чутливого елемента сенсора на основі плівки ФМ/НП в магнітному і температурному полях.

Робота виконана в рамках держбюджетної тематики кафедри прикладної фізики СумДУ (2015 – 2017 рр.).

## Дослідження робочих характеристик польових транзисторів

Наумов Д.О., *магістрант*; Мартиненко І.М., *магістрант*;  
Разумейко А.О., *магістрант*  
Сумський державний університет, м. Суми

Польові транзистори з керувальним переходом – це прилади, в яких керування струмом здійснюється перекриванням каналу між витоком і стоком областю просторового заряду зворотно зміщеного р-п-переходу або переходу метал-напівпровідник. Особливості конструктивних рішень дали можливість виготовити польові транзистори з р-п-переходом з кращими параметрами, ніж у біполярних або МДН-транзисторів. Прикладами таких транзисторів можуть бути великострумний вертикальний польовий транзистор з р-п-переходом і з дуже малим значенням опору каналу у відкритому стані або польовий транзистор з переходом метал-напівпровідник на основі арсеніду галію, який функціонує в діапазоні надвисоких частот, які перевищують можливості біполярних і МДН-транзисторів.

Основні властивості польових транзисторів: вхідний опір має середнє значення між вхідними опорами МДН (вхідний опір до  $10^{15}$  Ом) і біполярних (до  $10^6$  Ом) транзисторів; нелінійна вольт-амперна характеристика і нульова напруга зміщення.

У роботі проведені дослідження стоково-заслінкових (залежність струму стоку від напруги на заслоні при постійній напрузі між стоком і витоком) і стокових (залежність струму стоку від напруги між стоком та витоком при постійній напрузі на заслоні) характеристик польових транзисторів (приклад наведено на рис.1) з керувальним р-п-переходом (КП 103Е; КП 101; КП 102; КП 103; КП 201).

Отримано, що для польових транзисторів з керувальним р-п-переходом при зростанні напруги стік-витік від 0 до 10 В струм стоку збільшується від 0 до 1 мА при значеннях напруги заслін-витік від 0 до 0,5 В. На основі експериментальних результатів проведено розрахунок крутості стоково-заслінкових характеристик  $S = (1,2 - 1,8) \cdot 10^{-3}$  А/В при постійній напрузі стік-витік та активної вихідної провідності транзисторів  $g = (1,1 - 1,5) \cdot 10^{-5}$  А/В при постійній напрузі заслін-витік.

Керівник: Однодворець Л.В., *доцент*

## Конструктивні та функціональні особливості спінових транзисторів

Сафіюлін В.О., *магістрант*

Сумський державний університет, м. Суми

Останніми роками спостерігається значний інтерес до матеріалів, у яких виникає ефект ГМО, з точки зору їх практичного застосування. ГМО-матеріали використовують для створення великої кількості електронних приладів та пристроїв спінтроніки: високочутливі головки для зчитування інформації з магнітних носіїв, ГМО-сенсори різного функціонального призначення; активні елементи інтегральної електроніки (спінові діоди і транзистори [1, 2], транзистори на «гарячих» електронах, логічні схеми) та ін.

Спінові транзистори – це окремих клас приладів, що знаходять широке застосування в комп'ютерній техніці. У них зміна напрямку намагніченості здійснюється за допомогою власного внутрішнього або зовнішнього магнітного поля.

Структура такого транзистора складається з двох різних феромагнітних шарів ( $\text{Co}_{84}\text{Fe}_{16}$  та  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ ), що розділені прошарком чистого кремнію, зверху нанесений ще один шар кремнію, легований домішками. До кожного з цих шарів підводиться напруга, що управляє електронним струмом. Потік електронів на вході неполяризований, але після проходження феромагнітного прошарку він стає одно напрямленим спіновим струмом. Ці електрони потрапляють в прошарок з чистого кремнію, проходять досить велику відстань, потім потрапляють в другий феромагнітний шар і виходять назовні, де реєструються детектором.

При кімнатній температурі транзистор має не дуже високу ефективність роботи. Задовільні результати роботи прилад показав при температурі  $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$  (150 К). Подальший розвиток спінтроніки пов'язаний із створенням елементів на квантових ефектах для розроблення спінових процесорів. Робота виконана в рамках держбюджетної тематики кафедри прикладної фізики СумДУ № 0115U000689 (2015 – 2017 рр.).

Керівник: Шабельник Ю.М., *асистент*

1. Ю.А. Куницький, В.В. Курилюк, Л.В. Однорець, І.Ю. Проценко, *Основи спінтроніки: матеріали, прилади та пристрої* (Суми: Сумський державний університет: 2013).



## Дослідження робочих характеристик джерел оптичного випромінювання

Архсов М. І., студент; Левченко Є.О., студент  
Литвинов Д.Г., студент  
Сумський державний університет, м. Суми

У сучасній оптоелектроніці застосовують декілька груп джерел оптичного випромінювання: електролюмінесцентні комірки і конденсатори, лазери і світлодіоди. Світловипромінювальний діод (СД) – це напівпровідниковий пристрій, який випромінює некогерентне світло при пропусканні через нього електричного струму, та має наступні переваги: високе значення ККД перетворення електричної енергії в оптичну; квазімонохроматичність; широкий спектральний діапазон; висока спрямованість випромінювання; сумісність з транзисторами і інтегральними мікросхемами; можливість роботи, як в імпульсному, так і в безперервному режимі; висока надійність і довговічність; малі габарити. Світло, яке випромінюється СД, лежить у вузькій ділянці спектру, а його колір залежить від хімічного складу використаного у СД напівпровідника.

Світловипромінюючі діоди є основою складних мікроелектронних систем. Лінійна світлодіодна шкала - інтегральна мікросхема, яка складається із послідовно розміщених 5 – 100 світлодіодних структур (сегментів). Такі шкали замінюють щитові вимірювальні прилади та використовуються для відображення інформації, яка постійно змінюється. Цифро-літерний світлодіодний індикатор - інтегральна мікросхема із декількох діодних структур, які розташовані так, щоб при відповідній комбінації сегментів, які світяться, одержувалось зображення літери або цифри. Багатоелементний блок – електронна система одержання складних зображень (до її складу входить понад 10000 світлодіодів). Сучасні світлодіодні системи здатні забезпечити ряд переваг перед традиційними системами освітлення: енергоефективність світлодіодів може бути до п'яти разів вище, ніж у ламп розжарювання і галогенних ламп. Світлодіодні джерела світла є спрямованими і випромінюють світло лише в потрібному напрямку.

Мета роботи полягала у дослідженні робочих характеристик СД як малоінерційних джерел оптичного випромінювання.

Вимірювання вольт-амперних характеристик (ВАХ) проводились з використанням лабораторного стенду, до складу якого увійшли: світлодіоди різних типоміналів: АЛ307Б, АЛ102Б, АЛ307ВМ, АЛ102В, АЛ307КМ (табл.1); вузол комутації; вимірювальні прилади (мультиметри типу DT-830A); змінний резистор типу ППБ-1А опором 2,2 кОм; імпульсне джерело живлення на базі Push-down генератора напругою до 10 В. Стенд функціонує в діапазоні напруг від 0,2 до 750 В та струмів – від 0,0002 до 10 А.

Таблиця 1 – Кольори світіння СД різних типоміналів

№	Колір світіння	Типомінал СД
1	червоний	АЛ307Б
2		АЛ102Б
3	зелений	АЛ307ВМ
4		АЛ102В
5	блакитний	АЛ307КМ

Отримано, що СД червоного кольору світіння АЛ307Б і АЛ102Б на прямій гілці ВАХ мають лінійні області в діапазоні струмів від 0 до 0,5 мА при напрузі - від 0 до 1,6 В. Робоча ділянка характеристики знаходиться в діапазоні від 0,5 до 3,2 мА при напрузі на переході від 1,4 до 2,0 В. Область насичення, в якій відбувається суттєве перетворення електричного струму в теплову енергію на переході СД, відповідає діапазону струму від 3,2 до 4,9 мА при величині напруги на переході від 2,0 до 3,0 В.

На основі ВАХ для СД зеленого кольору світіння АЛ307ВМ і АЛ102В визначена наявність лінійних ділянок в діапазоні струмів від 0 до 0,3 мА при напрузі від 0 до 0,45 В; робочої ділянки в діапазоні струмів від 0,3 до 3,2 мА при напрузі від 0,4 до 2,0 В; області насичення в діапазоні струмів від 3,2 до 4,9 мА при напрузі від 2,0 до 3,0 В. Світлодіоди блакитного кольору світіння АЛ307КМ мають лінійну область в діапазоні струмів від 6,2 до 15,6 мА при напрузі - від 1,8 до 3,2 В.

Керівник: Одноворець Л.В., *професор*

## Лабораторний стенд для вимірювання характеристик світлодіодів

Сущенко Б.І., *магістрант*; Тищенко К.В., *асистент*,

Ткач О.П., *доцент*

Сумський державний університет, м. Суми

Світловипромінювальні діоди (СД) як джерела оптичного випромінювання широко застосовуються в мікроелектроніці, сенсорній і побутовій техніці, що пов'язано із перевагами цих приладів: монохроматичністю; широким спектральним діапазоном; високою спрямованістю випромінювання; сумісністю з транзисторами і інтегральними мікросхемами; високою надійністю та довговічністю.

Розроблено лабораторний стенд, до складу якого увійшли (Рис.1): світлодіоди різних типоміналів; мультиметр DT-33D; цифровий вольтметр; люксметр на базі апаратної платформи «Ардуіно нано»; датчик світла ВН1750; датчик температури ds18b20; змінний резистор типу В-1К (номінальний опір 1кОм) та джерело живлення на базі мікросхем LM317 (напруга 4 – 6 В).

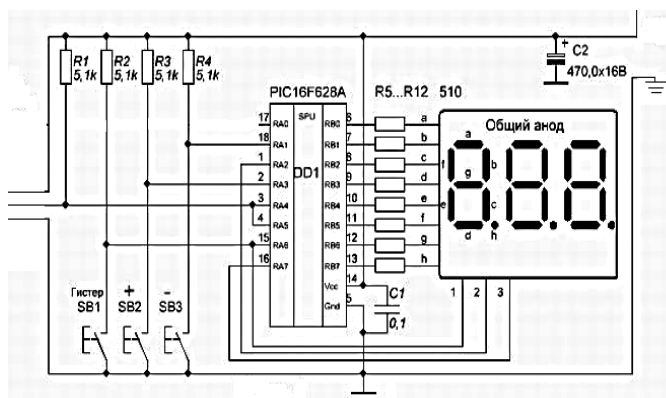


Рисунок 1 – Базовий каскад електричної схеми лабораторного стенду

Схема функціонує в діапазоні напруг від 0,2 до 750 В і струмів - від 0,2 мА до 10 А та дозволяє одночасно проводити вимірювання вольт-амперних, світлових і температурних характеристик СД.

## Вплив температури і магнітного поля на вольт-амперні характеристики магніторезисторів

Однодворець К.С., студент; Ткач О.П., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми

Магніторезистори – електронні компоненти, принцип функціонування яких заснований на зміні електричного опору металу або напівпровідника при впливі магнітного поля (магніторезистивний ефект). Основні параметри магніторезисторів: магнітна чутливість, номінальний опір, робочий струм, термостабільність і швидкодія, діапазон робочих температур.

Мета роботи полягала у дослідженні температурної і польової залежностей вольт-амперних характеристик (ВАХ) магніторезисторів.

Вимірювання були проведені з використанням лабораторного стенду, який складається із джерела живлення; блоку керування, який містить вимикачі, регулятор температури; нагрівального і магнітного елементів; блоку індикації для реєстрування даних та магніторезистор типоміналу FP30L47 (фірма Siemens) на основі плівки антимоніду індію з номінальним опором 250 Ом. Магніторезистори FP30L47 використовуються для контролю швидкості обертання багатополосних магнітів і колес, в безконтактних датчиках положення і переміщення.

Установлено, що температурний коефіцієнт опору (ТКО) магніторезистора складає  $TKO = (-3 \cdot 10^{-4}) K^{-1}$ . Вольт-амперні характеристики в температурному інтервалі  $\Delta T = 310 - 350 K$  стабільні і мають лінійний характер, що є необхідним при конструюванні датчиків магнітного поля або комутуючих пристроїв. При зміні напруги від 0 до 5 В величина струму збільшується від 0 до 30 мА, в магнітному полі  $B = 300$  мТл кут нахилу ВАХ збільшується, що пояснюється зміною траєкторії руху носіїв заряду в матеріалі чутливого елемента магніторезистора під дією сили Лоренца. Показано, що чутливість магніторезистора при зростанні індукції магнітного поля від 0 до 300 мТл збільшується від 4,60 до 4,88 мА/В.

Робота виконана в рамках держбюджетної тематики кафедри прикладної фізики СумДУ № 0115U000689 (2015 – 2017 рр.).

## **Изменение гидрофильных свойств нанокристаллического порошка $ZrO_2(Mg)$ под действием плазменного облучения**

Алексеев В.П., аспирант

ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения» СО РАН,  
г. Томск, РФ

Работа посвящена изучению изменений гидрофильных свойств нанокристаллического порошка диоксида циркония стабилизированного тремя мольными процентами оксида магния под воздействием плазменного облучения.

Известно, что взаимодействие твердого тела с водой происходит на активационных центрах и носит кислотно-основной характер. При этом взаимодействие зависит от концентрации и типа центров. В общем случае в водно-порошковой суспензии в ходе взаимодействия активационных центров с молекулами воды в систему выделяются продукты реакции  $H^+$  или  $OH^-$ , которые соответственно изменяют уровень кислотности суспензии. В ряде работ было показано, что рост кислотности суспензии свидетельствует о большей смачиваемости порошков, т.е. увеличении их гидрофильных свойств.

Исходный порошок имел пенообразную форму с агломератами порядка 20 мкм. и размером кристаллитов около 20-50 нм. Обработка осуществлялась под средством облучения воздушной низкотемпературной неравновесной плазмой высокого давления (1 атмосфера). Для приготовления суспензии использовалась 50 мл дистиллированной воды с кислотностью 6,30-6,50 pH и 1,1 г. порошка.

В работе было показано, что плазменная обработка приводит к росту кислотности суспензии. При этом рост кислотности зависит от времени обработки. Так суспензия, приготовленная из порошка подвергнутого десятиминутной обработке, показала самую большую кислотность равную 5,87 pH, что на 37 % и 32 % больше чем у суспензий приготовленных из необработанного и подвергнутого одномоментной обработке порошков соответственно.

Изучено влияние времени выдержки порошка в суспензии. С этой целью проведено измерение уровня кислотности через 1, 3,5 и 24 часа после обработки. Было показано, что с течением времени после обработки и приготовления суспензии ее кислотность продолжает меняться, и принимает стабильное значение через примерно 3,5 часа.

## Дослідження методів реконструкції зображень та розрахунку оптимальної дози опромінення при РКТ

Кумеда М.О., студент; Солдатенко Ю.О., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми

Серед практичних проблем сучасної рентгенівської комп'ютерної томографії виділяються дві актуальні проблеми підвищення швидкості та точності алгоритмів реконструкції зображень, а також оптимізація дози опромінювання пацієнта.

Доза опромінення залежить від ряду факторів, до яких можна віднести параметри дослідження, технічні особливості КТ, досліджувану область і її розміри. Серед основних параметрів, що впливають на дозу, можна виділити напругу на трубці, анодний струм, час та об'єм вимірювань, товщину зрізу та фільтрацію випромінювання. Ефективними технічними методами зниження дози є модуляція анодного струму та автоматичне управління дозою. Так, при використанні модуляції анодного струму можливо досягти зменшення  $\text{мА} \cdot \text{с}$  на 10-50% без втрати якості зображення.

Доза випромінювання тісно пов'язана з параметрами реконструкції зображень, тому важливим є визначення переваг та недоліків різних алгоритмів реконструкції. На прикладі фантомних тест-об'єктів була досліджена оптимальність реконструкції зображень методом Фур'є, алгоритму зворотного проєціювання з фільтрацією та без неї. Метод Фур'є є найбільш малоефективним за рахунок трудомістких перетворень. Метод зворотної проєкції дозволяє отримати високі швидкості відновлення зображення, але із втратою якості. Збільшити якість зображення дозволяє фільтрація згортки. Деякою альтернативою інтегральним методам виступає сімейство ітераційних методів реконструкції (ART, SIRT, ILST), які поступаються продуктивністю, але виграють у простоті врахування будь-яких початкових даних та геометрії системи.

1. В.А. Календер, *Компьютерная томография. Основы, техника, контроль качества, области клинического применения* (Москва: Техносфера: 2006).
2. G.L. Zehg, *Medical Image Reconstruction* (London New York: Springer: 2010).

## The research of piezoelectric transducers for ultrasonic medical systems

Tychkov D.V., *Student*; Bazilo C.V., *Associate Professor*  
Cherkasy State Technological University, Cherkasy

Piezoelectric transducers are widely used in the medical systems, special permanently in ultrasonic inhalation devices for spraying of drugs for the treatment of upper respiratory tract and lungs. The devices are simple enough, convenient and reliable in operation.

It was developed a research installation for the research and parameters optimization of piezoelectric transducers that can be used as nebulizers, and aerosol cloud formation from an aqueous solution of drugs. Research installation is shown in Figure 1, where  $G$  is a generator,  $PHz$  is a frequency meter,  $V$  is a voltmeter,  $1$  and  $2$  are top electrodes,  $1'$  is a bottom (ground) electrode.

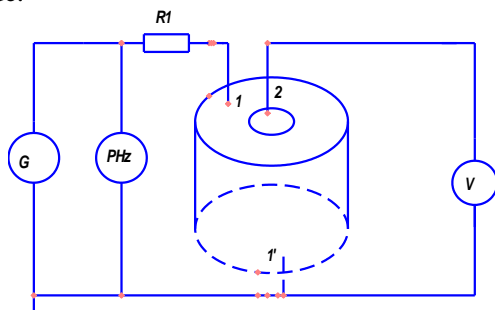


Figure 1 – Research installation for investigation of piezoelectric transducers for ultrasonic medical devices

For the research were used piezoelectric transducers made from the following materials: TSTS-19 (sample 1:  $\varnothing 66$  mm and a thickness of 3 mm; sample 2:  $\varnothing 25$  mm and a thickness of 1 mm), TSTBS-3 ( $\varnothing 50$  mm and a thickness of 1.2 mm) and electroacoustic transducer ZP-19.

The amplitude-frequency characteristics for four types of transducers were measured in a transformer mode.

It was defined that sample 2 is the most suitable for use in ultrasonic inhalation devices for spraying, and its operating frequency was measured as 1.66MHz.

## Оптимальний синтез концентричних вихрострумівих перетворювачів

Гальченко В.Я., професор

Черкаський державний технологічний університет, м.Черкаси

Неруйнівний електромагнітний контроль струмопровідних виробів частіше за все виконується із застосуванням циліндричних вихрострумівих перетворювачів. Але в деяких випадках більш доцільним є контроль за допомогою концентричних перетворювачів, що обумовлено їх конструктивними особливостями. Важливою характеристикою перетворювачів є розподіл його електромагнітного поля в зоні контролю. Локальність контролю в багатьох випадках стає суттєвим фактором, який забезпечує умови його проведення. Бажаний розподіл поля в зоні контролю можна забезпечити в результаті оптимального синтезу котушки збудження перетворювача. Він полягає у визначенні раціональної кількості секцій котушки збудження та оптимальних значень їх радіусів та числа витків в кожній секції, а також прямого чи зворотного напрямку послідовного їх підключення до генератора. Синтез розподілу поля з математичної точки зору відноситься до зворотних задач математичної фізики, які потребують спеціалізованих методів розв'язку.

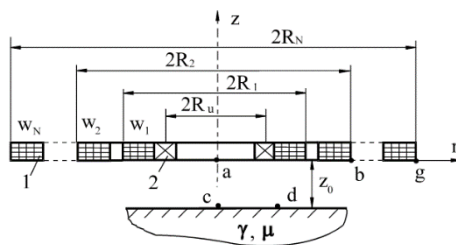


Рисунок 1 – Концентричний перетворювач: секції котушки збудження(1), вимірвальна котушка (2)

Запропоновано спосіб вирішення задачі в оптимізаційній постановці з використанням популяційного метаевристичного гібридного алгоритму ройової умовної багатокритеріальної оптимізації. Проведено числові експерименти.



## Нормування сигналу металоаналізатора для застосування методу лінійного передбачення

Абрамович А.О., *аспірант*

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

Розрізнення кольорових металів між собою за допомогою металоаналізаторів є дуже актуальним питанням, оскільки звичайні металошукачі не вирішують дане питання [1]. Провівши серію дослідів, автору вдалось визначити, що інформативні параметри в сигналі металоаналізатора залежать від тривалості часової реалізації вхідного сигналу, яка, у свою чергу, залежить від швидкості проходу антени над дослідним зразком, яка повинна бути завжди однаковою. Щоб правильно набрати статистичні дані для вирішення задачі розпізнавання методом лінійного передбачення, усі отримані сигнали потрібно масштабувати таким чином, щоб вони мали однакову тривалість. Враховуючи особливості сигналів, для визначення їх тривалості використовувалась відстань між двома максимумами, рис. 1. Перемасштабування вхідного сигналу до еталонної тривалості дозволило розрізнити метали на основі метода лінійного передбачення.

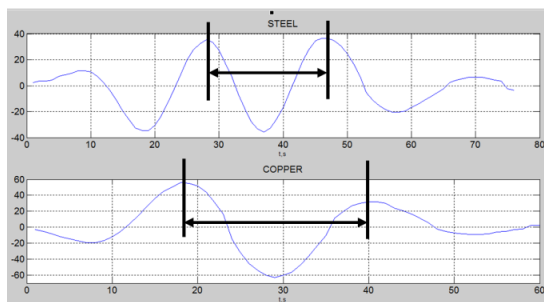


Рисунок 1 – Інформативні два максимума сигналу

Керівник: Мрачковський О.Д., *доцент*.

1. Jol M.H., Ground Penetrating Radar Theory and Applications / Н. М. Joy. - Oxford GB.: Elsevier B.V., 2009. - 574с. - ISBN: 978-0-444-53348-7.

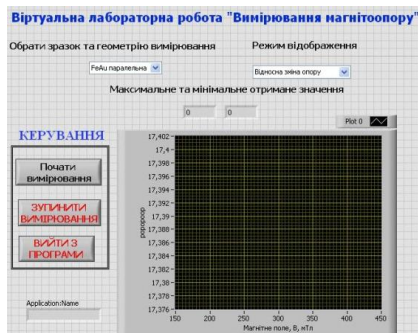
## **Розробка віртуальної лабораторної роботи «Дослідження магніторезистивних властивостей плівкових матеріалів»**

Волков С.О., *аспірант*; Остапенко О.С., *магістрант*;  
Лободюк О.С., *молодший науковий співробітник*  
Сумський державний університет, м. Суми

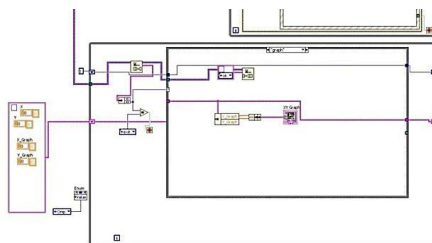
Віртуальні лабораторні роботи – це спеціальні комп'ютерні програми, які забезпечують моделювання експерименту на моніторі комп'ютера та слугують хорошою альтернативою реальним лабораторним заняттям.

Програмне забезпечення віртуальної лабораторної роботи «Дослідження магніторезистивних властивостей плівкових матеріалів» виконано в середовищі Labview - 2013. Програма базується на принципі кінцевого автомата. Головне меню програми складається із керуючих кнопок і вікна візуалізації (реалізоване за допомогою функції XY Graph) та забезпечує вибір геометрії вимірювання магнітоопору та вибору матеріалу плівки. Головне вікно програми представлено на рис. 1а. Для керування кінцевим автоматом створена черга даних, яка працює з даними типу «Варіант». При запуску програми автоматично відбувається ініціалізація текстових файлів з даними, із яких проводиться зчитування і виведення результатів на елемент відображення (XY Graph). У даному стані програми реалізовано вибір та підвантаження текстового файлу. Після натискання користувачем кнопки керування «Почати вимірювання», програма починає реалізовувати стан вимірювання, у рамках якого реалізуються основні функції програми: запис даних текстового файлу у масив цілочисельного формату та зчитування даних, що дозволяє ефективно візуалізувати проведення вимірювання і надати максимальну відповідність роботи програми до реального експериментального процесу і обладнання (відображення значень опору та відносної зміни опору; вибір максимального і мінімального значень опору).

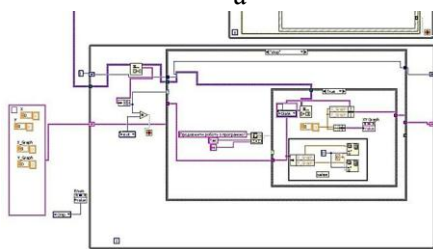
Після натискання клавіші керування «Зупинити вимірювання» відбувається відпрацювання програмою стану «Stop», у рамках якого користувачу виводиться повідомлення, чи бажає продовжити роботу з програмою. У разі позитивної відповіді реалізується перехід до стану ініціалізації «Blank», у разі негативної відповіді, програма зупиняється.



а



б



в

Рисунок 1 – Головне вікно програми (а) та стани візуалізації (б) і виконання (в) команди «Стоп»

Відображення інформації здійснюється при окремому стані програми, який наведено на рис.1 б, в. У разі натиснення на клавішу керування «Вийти з програми» відпрацьовується стейт «Exit», який виконує вихід із програми по стандартній процедурі. Структура програми забезпечує мінімальні витрати часу на введення даних для різних матеріалів і забезпечує можливість підключення бібліотечних ресурсів, що значно спрощує її модифікацію.

Дана віртуальна лабораторна робота може бути застосована як програма-тренажер, яка сприяє підготовці студентів до роботи з програмним забезпеченням обладнання для вимірювання магнітоопору і дає можливість ілюструвати явища анізотропного та гігантського магнітоопору на прикладі польових залежностей опору одно- і багат шарових плівкових матеріалів.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми кафедри прикладної фізики Сумського державного університету № 0115U000689.

Керівник: Одноворець Л.В., *професор*

## Генератор НЧ-шума с независимой регулировкой показателя формы спектра в двух поддиапазонах

Резчиков С.Е., аспирант; Сергеев В.А., доцент  
Ульяновский государственный технический университет,  
г. Ульяновск, Россия

Низкочастотный (НЧ) шум (фликкер-шум, избыточный шум) присутствует во всех типах полупроводниковых приборов (ППП). Зависимость его спектральной плотности мощности (СПМ) от частоты имеет вид  $1/f^\gamma$ , где  $\gamma$  - показатель формы спектра.

При измерении параметров НЧ-шума методом сравнения необходим генератор шума. Большинство серийных генераторов являются генераторами белого шума, в редких случаях – генераторами шума со спектром вида  $1/f$  (т. е. с  $\gamma = 1$ ) [1]. Пропусканием белого шума через одно звено обычного фильтра низких частот (ФНЧ) можно получить НЧ-шум с  $\gamma = 2$ . Для получения  $1/f$ -шума используют более сложные фильтры со спадом коэффициента передачи 3 дБ/окт.

Нами показано, что применяя в ФНЧ переменные резисторы, можно менять наклон его амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), получая таким образом НЧ-шум с разными значениями показателя  $\gamma$ . Такая регулировка АЧХ ФНЧ подобна регулировке тембра в звуковых усилителях. Однако результаты математического моделирования показывают, что постоянный спад АЧХ удаётся получить для одного звена только в диапазоне декады. Применив сдвоенный резистор, можно получить синхронную регулировку  $\gamma$  в диапазоне двух декад. Обеспечить синхронную перестройку большего числа резисторов намного сложнее.

Известно, что реальные спектрограммы НЧ-шума часто имеют участки с явно различающимися значениями  $\gamma$ . Если фильтр будет иметь два сдвоенных переменных резистора, то это позволит регулировать значение  $\gamma$  в диапазоне 4 декад. При этом регулировка в двух нижних декадах будет осуществляться независимо от регулировки в двух верхних декадах. Такой регулируемый генератор позволит моделировать сложный спектр реального НЧ-шума.

1. С.Е. Резчиков, *Радиоэл. техн.* No1, 165 (2013).

## **СЕКЦІЯ 5**

**«Електронні системи, прилади і засоби кодування інформації»**

## Оптичні властивості і фазовий склад плівок CZTS, отриманих методом спреї-піролізу колоїдального розчину

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

Останнім часом дослідниками замість традиційних поглинаючих шарів (CdTe, CIGS) тонкопліткових фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії запропоновано використовувати чотирикомпонентну сполуку  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  (CZTS). Цей матеріал має *p*-тип провідності, високий коефіцієнт поглинання світла ( $\alpha \sim 10^4\text{-}10^5 \text{ см}^{-1}$ ), ширину забороненої зони, що відповідає оптимуму Шоклі-Квайсера ( $E_g = 1,5 \text{ eV}$ ). Сполука не містить рідкісних і екологічно небезпечних металів, елементи, що входять до її складу, широко поширені у земній корі, а вартість їх видобутку невисока.

Основною метою даної роботи було вивчення впливу зміни часу нанесення і температури відпалу на фазовий склад і оптичні властивості плівок CZTS, отриманих методом спреї-піролізу. Прекурсор, що розпорошувався, містив синтезовані раніше колоїдальним методом за методикою описаною у [1] частинки чотирикомпонентної сполуки.

Нанесення плівок проводилося при температурі підкладки  $T_s=523 \text{ K}$ . Після цього одна серія зразків відпалювалася при  $T=723 \text{ K}$  на повітрі різний час (2, 5, 10 хв), інша відпалювалася 3 хв при температурі, що змінювалася від 523 до 673 K з кроком 50 K.

Структурні дослідження проводилися на дифрактометрі ДРОН 4-07 у випромінюванні кобальтового анода, оптичні характеристики знімалися з використанням спектрофотометра LI-722.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що зразки відпалені при температурою 723 K протягом 2 хвилин містили найменшу кількість вторинних фаз. Подальше збільшення часу відпалу на повітрі збільшує ймовірність отримання оксидів компонентів сполуки. При відпалі зразків при 623 K 3 хв. кристалічність плівок погіршувалася.

В результаті роботи були визначено оптимальний час і температура відпалу необхідні для отримання однофазних плівок.

1. Y. Yang, W. Que, X. Zhang, X. Yin et al. Appl. Catal., B 200, 402 (2017).

## Оцінка методів ентропійного кодування зв'язності сіткової моделі

Самусь Н.С., аспірант; Ошаровська О.В., доцент

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова, м. Одеса

Кодування даних 3D об'єктів можна класифікувати різними шляхами. Якщо розглядувати зв'язність сіткової моделі таких об'єктів, алгоритми кодування можна розділити на 3 групи:

- 1) методи, в яких кодові символи пов'язані з площинами;
- 2) методи, в яких кодові символи пов'язані з вершинами;
- 3) методи, в яких кодові символи пов'язані з ребрами.

В ході аналізу цих алгоритмів були отримані експериментальні результати (табл.1). Для спрощення обрахунків була вибрана довільна ділянка сіткової моделі, яка складалася з 12 площин, 12 вершин і 23 ребр, а не весь об'єкт.

Таблиця 1 – Порівняння вибраних методів сіткового кодування зв'язності

Назва алгоритму	Edgebreaker	Face Fixer	Valence-based approach
Кількість символів кодової послідовності	12* (=f)	23*(=e)	12*(=v)
Кількість символів при використанні коду Хаффмана	32	45	23
Швидкість цифрового потоку, біт/вершина	2,67	3,75	2,08

де  $f$ ,  $e$ ,  $v$  – відповідає кількості площин, ребер, вершин відповідно.

З таблиці видно, що для довільної вибрано ділянки сіткового 3D об'єкту найефективнішим виявився метод, оснований на вершинах – Valence-based approach.

1. M.Isenburg, J.Snoeyink, *Face Fixer: Compressing polygon meshes with properties. Proc. of SIGGRAPH* (2000).
2. P.Alliez, M.Desbrun, *Valence-driven connectivity encoding for 3D meshes. Proc. of EUROGRAPHICS*, **20.3** (2001).

## **Використання технології тривимірного друку для формування струмознімальних контактів в тонкоплівкових сонячних перетворювачах**

Знаменщиков Я.В., *молодий науковий співробітник*; Кононов О.К., *студент*; Доброжан О.А., *аспірант*; Опанасюк А.С., *професор*  
Сумський державний університет, м. Суми

В процесі виготовлення тонкоплівкових сонячних перетворювачів важливим етапом є утворення струмознімальних контактів на поверхні плівки та їх з'єднання із зовнішніми електричними колами. В порівнянні з традиційними способами отримання контактів, такими як вакуумне термічне напилення, магнетронне розпилення, хімічні методи, технологія тривимірного друку спеціальними струмопровідними чорнилами являється перспективним дешевим методом, що дозволяє за короткий час створити струмознімальні контакти необхідної форми із заданими властивостями.

З метою формування струмознімальних контактів при виготовленні прототипів сонячних перетворювачів нами було створено систему для дозованого нанесення струмопровідних чорнил на основі наночастинок металів. За основу було взято розроблену раніше систему для тривимірного друку струмопровідних доріжок електронних плат, проте дану систему було модифіковано з метою збільшення точності позиціонування друкуючої голівки, зменшення мінімальної дози подачі чорнила, а також з урахуванням параметрів в'язкості чорнила.

Струмопровідні чорнила формувалися на основі синтезованих колоїдних наночастинок срібла з розмірами 2-3 нм та малою розмірною дисперсністю, які були введені до матриці полімерних матеріалів, що виконували функцію зв'язуючої речовини. Оскільки під час синтезу наночастинок срібла застосовувались поверхнево-активні речовини, які є діелектриками, то свіжнанесені контакти піддавалися температурному відпалу, що в свою чергу дозволило зменшити їх електричний опір до прийняттого для використання у приладах.



## Преобразование фибоначчи-восьмеричных чисел в двоичные

Борисенко А.А., профессор; Мальченков С.М., аспирант; Ковган Р.С., студент; Рудь А.А., студент; Геращенко Д.Н., студент  
Сумский государственный университет, г. Сумы

В настоящее время широко используются различные системы счисления для обработки и передачи информации. При этом, обмен информацией между цифровыми устройствами является одной из важнейших задач систем обработки информации. При этом каждое переданное сообщение должно обладать достаточным уровнем достоверности. Для этого применяют помехоустойчивые коды, которое наряду с кодами с искусственной избыточностью, используют естественную избыточность. К таким кодам относятся коды Фибоначчи [1]. Особенностью данных кодов является наличие между двумя единицами кодовых комбинаций не меньше одного нуля. Появление двух рядом стоящих единиц в кодовой комбинации является признаком ошибки. Например, число 7 после преобразования в фибоначчиевую комбинацией будет иметь вид 1010. Обратим внимание, что в этой комбинации нет рядом стоящих единиц. Если бы между двуся единицами появилась еще одна, то ее можно исправить. Это говорит о том, что коды Фибоначчи могут не только обнаруживать ошибки, но часть из них исправлять. Это значительно расширяет область применения чисел Фибоначчи

Однако, так как современные информационные технологии работают преимущественно с двоичными кодами, то возникает задача преобразования фибоначчиевых чисел в двоичные, например, для счетных фибоначчиевых устройств. Решить эту задачу можно используя фибоначчи-восьмеричные числа, которые обладают свойством возможности непосредственного перевода в двоичную систему счисления путем преобразования своих цифр сначала в восьмеричные цифры, а затем в трехразрядные двоичные.

Например, фибоначчиевое число 0101 0010 0100 0001 сначала преобразуется в восьмеричное число 4231, а затем в двоичное число 100 010 011 001. В результате решается задача преобразования фибоначчиево-восьмеричного числа в двоичное число.

1. А. Р. Stakhov, *Acad. Publ.* 1, 305 (2012).

## Чорнила на основі металевих та напівпровідникових наночастинок для тривимірного друку

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

У наш час спостерігається перехід від традиційного способу створення предметів побуту та промисловості, шляхом складання їх з окремих частин, отриманих різанням, литтям чи іншим способом, до адитивного виробництва, в якому об'єкт формується в одному робочому циклі за рахунок пошарового нанесення різноманітних матеріалів (металів, пластмас, скла, тощо) за допомогою 3Д принтеру. В електроніці, особливо перспективною є технологія 3Д друку чорнилами з металевими наночастинками (Ag, Cu, Sn) для створення розводки електричних схем, та чорнилами на основі напівпровідникових матеріалів ( $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ , ZnO) для розробки чутливих елементів фотоперетворювачів, термогенераторів, прозорої електроніки, сенсорів газів та тачпадів. Слід відзначити, що для ефективного та якісного 3Д друку вищезазначених елементів потрібно контролювати фізико-хімічні параметри наночорнил: змочувальну здатність, в'язкість, текучість, швидкість висихання, та адгезію до поверхні нанесення. Вищезазначене обумовило мету роботи, яка полягала у створенні чорнил для 3Д друку на основі наночастинок металевих та напівпровідникових наночастинок з контрольованими властивостями.

Чорнила створювалися шляхом розміщення колоїдно синтезованих наночастинок в матриці високомолекулярного синтетичного полімеру (ВМП), наприклад полівінілового спирту. За допомогою колоїдного методу були синтезовані наночастинки Ag, Sn, Cu, ZnO  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ , з гідрофільними поверхнево-активними речовинами (ПАР) (полівінілпіролідон, етилен гліколь, іони сірки). Вибір ВМП та ПАР дозволив використовувати як розчинник воду, яка є екологічно безпечною, та проводити температурні відпали, для видалення допоміжних хімічних субстанцій, при помірних температурах,  $T_a < 523$  К. Можливість задання масової частки матеріалу наночастинок, ВМП дозволяє контролювати фізико-хімічні властивості чорнил та функціональні властивості об'єктів 3Д друку.

## Виправлення помилок в лічильниках Фібоначчі

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

В даний час до систем передачі та обробки інформації пред'являються значні вимоги до підвищення рівня достовірності їх роботи. Коди Фібоначчі відносяться до нероздільних перешкодостійких кодів і здатні виявляти асиметричні помилки не тільки в каналах зв'язку, а й в цифрових пристроях, що працюють в них, наприклад, пристроях, побудованих на основі швидкодіючих лічильників Фібоначчі.

Виправлення помилок в лічильниках Фібоначчі підпорядковується наступному твердженню [1]. Якщо у фібоначчівому числі в мінімальній формі є послідовність двійкових символів, що складається з 3 суміжних одиниць, то одиниця, яка перебуває між двома крайніми одиницями, буде помилковою і може бути виправлена перетворенням в нуль.

На рис.1 наведений графік, який показує ріст кількості виправлених помилок з ростом розрядності фібоначчівих чисел.

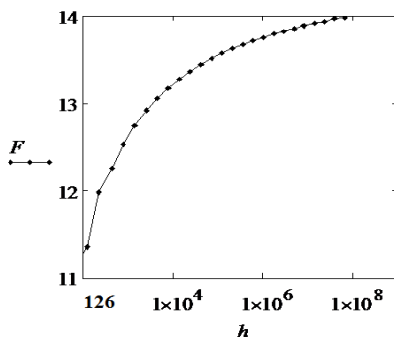


Рисунок 1 – Графік сумарної кількості виправлених помилок

1. А.А. Борисенко, С.М. Маценко, В.Б. Череди́ченко, С.М. Мальченков, А.Н. Савостьян, *Системи обробки інформації*. **4**, 141 (2016).

## Способы адаптации передачи данных к уровню помех в канале связи

Ологунлолува Кехинде, студент; Онориукпе Аджири, студент;  
Кулик И.А., доцент

Сумский государственный университет, г. Сумы

Уровень помех в канале связи имеет случайный характер, приводящий к различной интенсивности потока ошибок. Это приводит или к существенному снижению производительности, или к избыточному использованию ресурсов телекоммуникационных систем, которые, как правило, рассчитаны на заданный уровень шума в канале. Таким образом, реализация способов адаптации в системах связи, позволяющих обеспечивать заданные уровни помехоустойчивости и производительности при изменении уровня помех в канале связи является актуальной задачей.

Одним из предлагаемых способов адаптации заключается в использовании совокупности ошибкообнаруживающих и корректирующих кодов, отличающихся по степени защиты данных от ошибок, но сходных по структуре и методам их построения. Последнее условие позволяет минимизировать затраты при внедрении предлагаемого способа в систему связи. В качестве такой совокупности к примеру можно рассматривать комбинаторную, состоящую из кода с битом паритета, равновесного и плоскостного кодов для передачи в области "малого" и "среднего" уровня помех.

Другим перспективным способом адаптации системы связи, направленным на обеспечение необходимых помехоустойчивости и скорости обмена в области "среднего" и "высокого" уровней помех, является применение ошибкообнаруживающих и корректирующих кодов вместе с мажоритарным принципом передачи. Такой подход позволяет значительно увеличить верность передачи данных и расширить класс обнаруживаемых и исправляемых ошибок без существенных дополнительных аппаратно-программных затрат.

Таким образом, сочетание различных помехоустойчивых кодов и их свойств вместе с разными принципами передачи позволяет разрабатывать новые эффективные с точки зрения обеспечения верности передачи и минимума аппаратно-программных затрат способы адаптации к уровню помех в канале связи.

## Постановка задача оценки сжатия на основе двоичных биномиальных чисел

Хилько Е.В., студент; Титаренко О.А., студент;  
Кулик И.А., доцент  
Сумский государственный университет, г. Сумы

Эффективность любого сжимающего кодирования оценивается, прежде всего, коэффициентом сжатия, который представляет собой отношение длины исходной последовательности к тому количеству разрядов, с помощью которых отображается сжатое сообщение.

При рассмотрении единичной равновесной комбинации  $Y_j$  коэффициент  $K[f_b, Y]$  сжатия  $f_b$  на основе двоичных биномиальных чисел  $X_j$  будет определяться длиной  $r$  соответствующего двоичного биномиального числа  $X_j$ . Для получения более объективной оценки степени сжатия  $f_b$  необходимо рассматривать объемы информации относительно всего исходного  $Y[n, k]$  и получаемого  $X[n, k]$  множеств соответственно равновесных комбинаций  $Y_j$  и двоичных биномиальных чисел  $X_j$ . Тем самым значение переменной  $r$  приобретает смысл средней кодовой длины  $L_{n, k}$  для  $X_j$ .

На практике распространенной является ситуация, когда  $Y[n, k]$  и, следовательно,  $X[n, k]$  являются неполными множествами, что означает оперирование при сжатии  $f_b$  биномиальными числами  $X_j$  неполного или произвольного диапазонов. В этой связи при определении коэффициентов  $K[f_b, Y]$  необходимо рассматривать полный, неполный и произвольный диапазоны для чисел  $X_j$ .

Таким образом, для определения коэффициента  $K[f_b, Y]$  сжатия  $f_b$  на основе двоичных биномиальных чисел  $X_j$  необходимо решение следующих задач – вычисление средней кодовой длины  $L_{n, k}$ : 1) для полного диапазона  $X_j = 0, 1, \dots, C_n^k - 1$ ; 2) для неполного диапазона  $X_j = 0, 1, \dots, \beta$ , где  $\beta < C_n^k - 1$ ; 3) для произвольного диапазона  $X_j = \alpha, \alpha + 1, \dots, \beta$ , где  $\alpha > 0$  и  $\beta < C_n^k - 1$ .

Кроме того, необходимо учесть, что при вычислении степени сжатия в случае обобщенного биномиального сжатия  $f_{bg}$  на основе чисел  $X_j$ , т.е. когда осуществляется сжатие последовательностей  $A_j$ , имеющих одинаковую длину  $n$ , но различное число  $k$  единиц, для однозначного восстановления выделяются  $\lceil \log_2(n+1) \rceil$  разрядов для хранения текущего значения числа  $k$ .

## Система керування малої ГЕС

Гриненко В.В., доцент; Цуканова К.В., студент  
Сумський державний університет, м. Суми

Одним з найбільш економічних рішень енергетичних проблем для територій, що належать до зон децентралізованого електропостачання, які складають 70% території України, є малі гідроелектростанції (ГЕС). Особливо гостро стоїть питання модернізації систем керування для існуючих ГЕС, тому що наявне зношене обладнання знижує надійність експлуатації всієї станції і призводить до високої її аварійності.

У зв'язку з цим, виникла необхідність вивчення механізмів управління та контролю генераторів малих ГЕС. Для цього розглядалися питання підвищення ефективності і надійності системи управління і контролю малої ГЕС, забезпечення безперебійної роботи генератору та постачання споживачам якісної електричної енергії шляхом надання необхідних параметрів вихідної потужності, стабілізації напруги і частоти мережі.

На основі аналізу шляхів стабілізації генерованої ГЕС напруги та частоти було обрано метод з використанням безпосередніх перетворювачів змінної напруги з широтно-імпульсним (ШІМ) регулюванням та запропонована структура перетворювача на основі IGBT транзисторів.

Для обрання параметрів алгоритму керування перетворювачем було проведено моделювання вихідного фільтр призначеного для придушення високочастотних складових напруги навантаження. В програмному пакеті MATLAB була досліджена модель системи управління малої гідроелектростанції на основі мікроконтролера для застосування в пристрої керування та контролю ГЕС. Обрано мікроконтролер, що включає необхідне число програмованих ШІМ-генераторів, які, отримують від процесора інформацію про параметри частоти і шпаруватості, самостійно здійснюють узгоджене управління силовими ключами інвертора.

Результати моделювання показали, що пристрій забезпечує усталені автоколивання заданої амплітуди і частоти. Зміна шпаруватості керованих імпульсів дозволяє регулювати амплітуду вихідної напруги при постійній частоті.

## **The use of gsm-channel in security systems**

Zinchenko I.S., *student*; Protasova T.O., *Sen. Lecturer*  
Sumy State University, Sumy, Ukraine

The opportunities provided by mobile operators are increasingly used in surveillance systems. To date wireless security systems on the basis of GSM is widespread due to their relatively low cost and ease of installation and operation. The use of GSM obviates the need to expand its network of repeaters – repeaters are used by GSM operators. As a result, it is possible to protect objects wherever confidently works GSM network operator.

Today in the world practice security services have identified a steady trend on strengthening of a role of technical means. This trend is not accidental: many studies in the field of personal and property safety has shown that the widespread use of technical means allows to exclude or minimize the negative impact of the weak link in the system of protection – man, which is characterized by fatigue, inattention, etc. the organization of protection through technical means, the cost to the consumer much cheaper, but the reliability is much higher. To date wireless security systems on the basis of GSM is widely used due to their relatively low cost and ease of installation and operation. However, a significant drawback of such systems is the low noise immunity, easy suppression of GSM-channel, the operation of GSM networks are not always characterized by high stability and can fail at the most inopportune moment.

Providing high noise immunity in the transmission of information at present remains an urgent task. Today there are quite a large number of different error-correcting codes, among which are codes with error detection used in data transmission systems with repeat request, which today are quite common. The codes used in them though and have sufficient noise immunity, but in some cases have increased the complexity of the encoding and decoding of codewords, especially when they are error packets. As a consequence, the implementation of encoders and decoders in communication systems leads to increased hardware costs and, thus, often do not have the ability of self-control, and therefore can be a source of additional errors. These shortcomings can be addressed by using multivalued binomial codes, important advantage of which when noise stability information transmission is the simplicity of the algorithms, error detection, and the ability of self-control encoders and decoders.

## Разработка аппаратного модуля классификации текстовых документов на базе ПЛИС

Ломотин К.Е., студент; Романова И.И., старший преподаватель  
Национальный исследовательский университет «Высшая школа  
экономики», г. Москва, Россия

В процессе обработки текстов остро встает проблема нехватки производительности. Семантические и статистические модели документов требуют сложных вычислений, которые могут занимать длительное время. Эта проблема является преградой на пути внедрения последних разработок в области классификации текстов.

В данной работе рассматривается проект аппаратного модуля, реализующего классификацию входящих документов по заданным тематикам. Вынесение классификатора в отдельный аппаратный модуль позволит ускорить вычисления и снять нагрузку с центрального процессора рабочего компьютера или сервера [1].

Для классификации используется алгоритм классификации на основе косинусного расстояния, который показал высокую точность рубрикации. Достоинством этого метода является простота вычислений и настройки классификатора для работы с заданными рубриками [2]. Настройка заключается в вычислении шаблонных векторов текстов по каждой из тем и их хранение.

Аппаратный классификатор состоит из следующих компонентов: программируемая логическая интегральная схема, программатор, блок питания, сетевой адаптер для подключения к рабочей станции или серверу, блок долговременной памяти. Подключение к рабочей станции осуществляется с помощью разъема 8P8C RJ45.

Взаимодействие с модулем осуществляется при помощи сетевых протоколов стека OSI/ISO. На вход классификатор получает текст документа или расположение файла для доступа по протоколу FTP/SFTP. Далее модуль возвращает определенную тему текста в выходной поток, либо помещает файл с документом в соответствующий теме каталог.

1. А.Н. Заливин, И.В. Зуев, *Науч. вест. БГУ* **30** No8, 179 (2014).
2. Р.Е. Суворов, И.В. Соченков, *ИИ и принятие реш.* **1**, 33 (2013)



## Оптичні та структурні характеристики шарів MgO, нанесених методом пульсуючого спреї-піролізу

Голиченко О.О., студент; Д'яченко О.В., молодший науковий співробітник; Опанасюк Н.М., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми

У наш час, оксидні матеріали знаходять все більше застосування в електронній техніці. Оксид магнію є однією з найбільш широкозонних сполук групи  $A_2B_6$  ( $E_g = 7,3$  eВ). Він має високу температуру плавлення ( $T_{пл} = 2800$  °С) та великий вихід вторинних електронів при бомбардуванні іонами. Крім того, оксид магнію стабільний на атмосфері. Це зробило перспективним його використання в якості ізоляційного покриття електродів в магніто- та гідродинамічних пристроях, як ізолюючий шар в магнітних тунельних переходах тощо. Завдяки своїм оптичним властивостям, а саме високому коефіцієнту пропускання та низькому коефіцієнту заломлення світла тонкі шари оксиду магнію можуть бути використані в якості буферних шарів сонячних елементів на основі різних абсорбуючих матеріалів, які запобігають відбиванню світла від поверхні приладів.

Хімічні методи мають беззаперечні переваги перед вакуумними, тому для осадження шарів MgO застосовувався метод спреї-піролізу. Цей метод отримання плівок, заснований на термічному розкладанні розчину аерозолу, який містить катіони матеріалу, що синтезується, в стехіометричному співвідношенні.

В роботі проведені оптичні та структурні дослідження шарів оксиду магнію, осаджених на скляні підкладки. Поверхня підкладок була очищена етанолом, після чого поміщена в ультразвукову ванну на 300 с. У якості прекурсорів було використано  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ , розчинений у дистильованій воді. Концентрація прекурсорів у розчині змінювалася від 0,05 моль до 0,3 моль з кроком в 0,05 моль.

Методом рентгеноструктурного аналізу були проведені структурні дослідження зразків. Фазовий аналіз проводився шляхом зіставлення міжплощинних відстаней і відносної інтенсивності від досліджених зразків і еталона за даними JCPDS. Оптичні дослідження напівпровідникових плівок проводилися на спектрофотометрі СФ-26 в якому застосовується двопроменева схема, що дає можливість усунути вплив на кінцеві результати прозорої скляної підкладки.

## Структурні характеристики плівок твердого розчину (Zn, Mg) O, осаджених методом пульсуючого спреї-піролізу

Владзієвська П.А., студент; Д'яченко О.В., молодший науковий  
співробітник; Опанасюк А.С., професор  
Сумський державний університет, м. Суми

Напівпровідникові оксидні сполуки знаходять все більшого застосування в електроніці, однак для цього їх структурні та оптичні властивості повинні чітко відповідати конкретним застосуванням. Для керування фізичними властивостями шарів напівпровідників застосовують введення ізовалентних домішок, при цьому твердий розчин набуває проміжних між вихідними сполуками характеристик.

ZnO – широкозонний матеріал групи  $A_{II}B_{VI}$ , що є перспективним для застосувань в оптоелектронних пристроях, які працюють в ультрафіолетовому діапазоні. Теоретично, легування ZnO магнієм дозволяє змінювати значення ширини забороненої зони матеріалу від 3,37 ( $E_{gZnO}$ ) до 7,80 eV ( $E_{gMgO}$ ). Саме тому твердий розчин (Zn, Mg) O є одним з найбільш перспективних кандидатів для створення пристроїв фотоактивних в короткохвильовій області електромагнітного спектра. Наприклад, фотоприймачі на основі діодів Шотткі з використанням (Zn, Mg) O, охоплюють спектральну область між 270 і 370 нм. Ще однією перевагою цього твердого розчину є високе значення енергії зв'язування екситону (~ 60 меВ). Ці властивості легованих шарів дуже важливі для створення різноманітних оптоелектронних приладів.

Для осадження шарів твердого розчину (Zn, Mg)O було використано прекурсор на основі хлоридів магнію ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) та цинку ( $ZnCl_2$ ). Хлориди були розчинені у суміші 1:4 етанолу та дистильованої води до якої додавалося кілька крапель HCl. На основі аналізу літературних джерел було обрано концентрацію магнію у плівках -  $x=0,3$ . Осадження проводилося на скляні підкладки при температурі від 300 до 425 °C, з кроком  $\Delta = 25$  °C.

Для проведення структурних досліджень зразків застосовувався метод рентгеноструктурного аналізу. Шляхом порівняння міжплощинних відстаней і відносної інтенсивності досліджених зразків і еталона (картки JCPDS) було проведено фазовий аналіз отриманих плівок.

## Создание кода Хэмминга V(9,3) с помощью порождающей матрицы

Роговой П.А., студент; Бондаренко Н.С., студент; Кондратьев А.Д., студент

Витебский государственный университет имени П.М. Машерова,  
г. Витебск, Республика Беларусь

Коды, исправляющие ошибки, широко применяются в системах дальней космической связи и в различных системах телекоммуникации, поэтому детальное изучение таких кодов актуально и своевременно. Рассмотрим принцип построения блочных кодов Хэмминга на основе порождающей матрицы.

В данной работе методы цифровой обработки сигналов рассматриваются на примере блочных кодов Хэмминга V(9,3). В качестве порождающей матрицы кода Хэмминга V(9,3) была выбрана матрица:

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Размерность рассматриваемого кода равна 3, поэтому в качестве информационных слов будет следующий набор из векторов длиной 3: (000), (001), (010), (011), (100), (101), (110), (111).

Кодовые слова можно получить по формуле:  $\mathbf{c} = \mathbf{i} * \mathbf{G}$ . В результате можно получить код Хэмминга V(9,3):

Расстояние кода равно 4. Поэтому код может исправлять одну ошибку и обнаруживать 3 и менее ошибок.

Было создано нормальное расположение для исправления единичных ошибок, вычислена проверочная матрица и составлена таблица синдромов образующих элементов каждого смежного класса.

С помощью генератора случайных чисел в каждом кодовом слове была смоделирована ошибка в одном из регистров, затем с помощью таблицы синдромов выполнена декодирование с исправлением ошибок. Таким образом, рассмотрен принцип построения блочных кодов Хэмминга на основе порождающей матрицы. Подробно исследован алгоритм декодирования на основе синдромов.

Руководитель: Корниенко А.А., доктор физ.-мат. наук, профессор

## Разработка автономного модуля классификации текстов по УДК на базе одноплатного компьютера

Козлова Е.С., *студент*

Национальный исследовательский университет «Высшая школа  
экономики», г. Москва, Россия

Классификация текстов по темам становится актуальной задачей, решением которой занимаются большие компании и коллективы разработчиков. Одной из главных проблем, возникающих при внедрении классификаторов в деятельность предприятий, является необходимость устанавливать программное обеспечение на каждый компьютер. Этого можно избежать, если сделать локальный сервер, который бы решал данную задачу.

Для решения задачи было предложено использовать одноплатный компьютер. На нем находится локальный сервер, на который отправляются тексты. После получения текста сервер проводит вычисления в порядке очереди, отправляя ответы на запросы последовательно по адресам соответствующих компьютеров в локальной сети. На одноплатном компьютере функционирует операционная система ТС Linux. Это обеспечивает стабильную работу системы. Помимо этого данная операционная система отличается относительно небольшими требованиями по количеству оперативной памяти, что обосновывает ее выбор для данной задачи [1].

На текущем этапе проекта ставится задача получения кода УДК первого уровня. Использование нейронных сетей [2] в качестве классификаторов позволяет достигнуть доли правильных ответов до 0.71. Реализация нейросетевых алгоритмов на языке программирования C++ позволяет получать результаты условиях невысокой частоты процессора и малого объема оперативной памяти. Полученный автономный модуль может быть легко внедрен в деятельность организации за счет низкой стоимости и использования локальной сети для ответа на запросы нескольких устройств.

Руководитель: Романов А.Ю., *к.т.н., доцент*

1. А.Б. Колкер, *A&SE*, **1**, 84 (2012).
2. А.К. Джейн, Ж.Мао, К.М. Моиуддин, *Computer*, **29**, 31 (1996).

## Опромінення за допомогою ND: YAG лазера тонкої спреї-піролізної плівки CZTS для заліковування структурних дефектів

Шамардін А.В., *аспірант*; Істратов М.Є., *студент*;  
Рекунов Є.М., *студент*; Курбатов Д.І., *старший науковий співробітник*; Опанасюк А.С., *професор*  
Сумський державний університет, м. Суми

Кестеріт сполука CZTS ( $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ ) являє собою потенційний напівпровідниковий поглинаючий матеріал для сонячних перетворювачів в якості альтернативи існуючим CIGS і CdTe завдяки підходящій ширині забороненої зони (1,5 eВ) з великим коефіцієнтом оптичного поглинання ( $\alpha > 10^4 \text{ см}^{-1}$ ) і р-типу провідності. Складові елементи сполуки недорогі, екологічно нешкідливі і їх в достатку в земній корі. Розрахунки за фотонним балансом Шоклі–Квайсера показують теоретичну ефективність перетворення одноперехідних сонячних елементів на основі CZTS близьку до 32,2%. На даний момент для цієї сполуки вже досягнута ефективність перетворення енергії у 12,6%, але є місце для вдосконалення.

Тонкі плівки CZTS розпиляли на підігріту до  $T = 623 \text{ К}$  скляну підкладку методом пульсуючого спреї-піролізу. Товщина плівки становила 1,1 мкм. Після цього зразок опромінювали в атмосфері повітря за допомогою Nd:YAG лазера з використанням другої гармоніки  $\lambda = 532 \text{ нм}$  з інтенсивністю  $I = 17,5 \text{ МВт/см}^2$  в скануючому режимі. Для вивчення фазового складу до і після лазерного відпалу використовували метод рентгенівських дифракцій і спектроскопію комбінаційного розсіювання світла. Морфологія поверхні та поперечного перерізу зразка були досліджені за допомогою атомно-силової мікроскопії і скануючого електронного мікроскопа.

Було встановлено, що отриманий зразок має однофазну сполуку CZTS без домішок вторинних фаз. Після опромінення на спектрах комбінаційного розсіювання світла і рентгенограмах спостерігалось зменшення напівширини піків і збільшення їх інтенсивності, що говорить про покращення кристалічної якості матеріалу.

## Устройство генерирования квазиравновесных кодов

Скордина Е.М., ассистент; Васильев Е.О., студент  
Сумский государственный университет, г. Сумы

Генерирование случайных последовательностей с заданным числом единиц  $k$  является актуальной практической задачей. Генераторы равновесных кодов находят эффективное применение в реконфигурируемых компьютерах, в перечислении бент-функций (используется в криптоанализе), в технологиях энергосбережения для Ethernet, передаче данных в VLSI и т.д [1].

Рассматриваемые в работе квазиравновесные коды, являются наиболее близким классом к равновесным кодам, их отличие состоит в том, что число единиц в комбинациях квазиравновесного множества может принимать два значения  $k_1$  или  $k_2$ . При этом данный класс кодов обладает значительно большей мощностью кодового множества при той же длине кодовой комбинации  $r$ . Это преимущество позволяет предложить схему генератора квазиравновесных кодов, который основан на свойствах рассматриваемого кода, а именно, что данный класс квазиравновесных кодов получен на основе биномиальных кодовых комбинаций.

Принцип работы предлагаемого генератора квазиравновесных кодов, состоит в следующем: преобразование двоичного номера (индекса) в соответствующую квазиравновесную комбинацию разрядностью  $r = n - 1$  и числом единиц  $k_1$  или  $k_2$ . Т.е. индексу от 0 до  $C_n^k - 1$  ставится в однозначное соответствие квазиравновесная кодовая комбинация.

На практике генераторы кодовых последовательностей находят применение в кодировании информации. Данное устройство позволяет генерировать квазиравновесные комбинации не только в лексикографическом порядке, но и случайном. При генерировании в случайном порядке, может быть применён метод Монте-Карло для генерирования индексов, которые подаются на вход устройства. Данное устройство генерирует одну квазиравновесную комбинацию за 1 такт.

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

## Пристрій маршрутизації передачі даних в мережі Ethernet

Лопатченко Б.К., доцент; Коваленко Б.О., студент  
Сумський державний університет, м. Суми

У зв'язку зі збільшенням кількості комп'ютерів і зростанням популярності комп'ютерних мереж в суспільстві передбачується проблема пошуку мережевого обладнання маршрутизації пакетів за оптимальною ціною. Пристрій що проектується буде володіти високою продуктивністю, простотою виконання і низькою ціною.

Для цього в роботі були розглянуті протоколи маршрутизації. RIP - один з найпростіших протоколів маршрутизації. Оскільки, згідно завдання до проекту необхідно побудувати невелику комп'ютерну мережу, то пропонується використати такі його переваги як динамічне оновлення маршрутної інформації (напрямок і дальність) .

Протокол маршрутизації OSPF - протокол динамічної маршрутизації, заснований на технології відстеження стану каналу і використовує для знаходження найкоротшого шляху алгоритм Дейкстри. Протокол OSPF призначений для обміну інформацією про маршрутизації в великих об'єднаних. Він мало завантажує мережу своїм трафіком.

В дипломному проекті пропонується використовувати алгоритм маршрутизації з урахуванням стану ліній. Основною характеристикою даного алгоритму є середня величина затримки для тестового пакета, що показує довжину маршруту і завантаження каналу. На практиці цей алгоритм реалізується за допомогою протоколу OSPF.

Для прийому і передачі даних в мережу Ethernet, використовується спеціальний мережевий контролер CP2201, який є одним з найменших і доступних Ethernet - контролерів і забезпечує доступ до Ethernet мережі в будь-яким мікроконтролерам або хост - процесорам.

Розроблено пристрій маршрутизації і передачі пакетів в мережі Ethernet. Отриманий пристрій володіє основними характеристиками, властивими сучасним маршрутизаторам: високою продуктивністю і надійністю, простотою виконання, досить низькою ціною.

## Бортовий комп'ютер

Лопатченко Б.К., доцент; Шандиба М.С., студент  
Сумський державний університет, м. Суми

У випускній роботі магістра пропонується розробка бортового комп'ютера транспортного засобу, який призначений для виведення і подальшого аналізу даних про всі елементи і системи автомобіля. Автомобільні комп'ютери попереджають і миттєво повідомляють про знайдені неполадки або проблеми. При експлуатації будь-якого сучасного автомобіля надійна і безвідмовна робота неможлива без точного системного контролю всіх процесів.

В науково дослідній роботі були проаналізовані існуючі аналогічні системи, зроблений порівняльний аналіз, в результаті якого були виділений найбільш доцільний і ефективний підхід до реалізації бортового комп'ютера згідно постановки задачі на науково-дослідну роботу і проектування.

У випускній роботі магістра розроблена схема електрична принципова голосового аналізатора стану вузлів, агрегатів і режимів роботи автомобіля. Запропонована розроблена система включає в себе основні блоки, які реалізовані на мікросхемах: стабілізатори напруги LM1117 та LM7808, 8-розрядний мікроконтролер ATmega32L, мовний записуючий пристрій на базі MC ISD4004, підсилювачі LM324 та LM4860M, логічні елементи на базі CD4011, також розглянуті особливості цих мікросхем. Розроблена система має такі параметри: габаритні розміри - 120 × 110 × 35 мм; тактова частота до 16МГц, мовне оповіщення про несправності через динамік потужністю 0,3 ... 3Вт.

Також в роботі розглянуті характеристики матеріалу друкованої плати, спосіб виготовлення друкованого підстави, розраховані габарити друкованої плати -107 на 114 мм і розроблений проект трасування двосторонній друкованої плати у системі автоматизованого проектування електроніки - P-CAD.

В результаті роботи було розроблено систему для реалізації бортового комп'ютера транспортного засобу, яка відповідає всім технічним характеристикам згідно завдання на проектування.



## **Об особенностях построения биномиальных измерительных каналов с повышенной точностью измерения**

Бережная О.В., *доцент*; Безгинский В.В., *студент*;  
Ковалева Т.С., *студентка*; Хоруженко Н.В., *студентка*;  
Клок А.В., *студент*  
Сумский государственный университет, г. Сумы

В настоящее время применение биномиальной системы счисления позволяет разрабатывать с минимальными затратами универсальные аналого-цифровые преобразователи с функциями самоконтроля и помехоустойчивого кодирования, обладающего высоким быстродействием, повышенной надежностью и достоверностью при передаче цифровой измерительной информации.

Наличие в структуре измерительного канала биномиального счетчика приводит к линейному росту аппаратурных затрат на его построение с увеличением разрядности биномиальной комбинации и всего лишь к экспоненциальному росту ее помехоустойчивости. Данная особенность биномиальных счетчиков сужает возможности построения биномиальных измерительных каналов с повышенной точностью измерений и требует поиска других проектных решений.

Исследования показали, что вместо биномиального счета для установлении соответствия между измеряемой аналоговой величиной и формируемой двоичной биномиальной комбинацией возможно применение таблицы соответствия. Такое изменение алгоритма работы биномиального измерительного канала позволяет отказаться от биномиального счетчика в пользу применения различных запоминающих устройств в составе соответствующих стандартных автоматов, например автоматов Уилкса или Мура, путем составления соответствующей «карты прошивки».

Таким образом, при построении биномиальных измерительных каналов с повышенной точностью целесообразно применять стандартные автоматы, построенные на основе регистров, постоянных запоминающих устройств, программируемых логических матриц и/или программируемых логических интегральных схем, которые характеризуются меньшей зависимостью роста аппаратурных затрат при повышении точности измерения, а также простотой и дешевизной разработки.

## Пристрій шифрування даних на основі подвійної перестановки

Бережна О.В., доцент; Качан Ю.Ю., студентка;  
Гермес М.О., студент; Неклець Г.Г., студент;  
Гребенюк Б.Ю., студент  
Сумський державний університет, м. Суми

В сучасних інформаційних системах вкрай актуальним є захист інформації від несанкціонованого доступу. Для вирішення задач захисту інформації в автоматизованих системах та підвищення криптостійкості систем використовують криптографічні методи, що часто реалізуються за допомогою мікропроцесорних пристроїв та операційних систем. Але для цілого ряду об'єктів, що потребують організації технічного захисту інформації, необхідно забезпечити не підвищену криптостійкість, а лише її достатній рівень. У якості апаратної платформи для таких об'єктів бажано не використовувати мікропроцесорні пристрої та операційні системи у зв'язку їх вразливості для стороннього втручання.

Дослідження показали, що для забезпечення достатнього рівня захищеності доцільно замість криптографічних методів захисту використовувати методи перестановок, які відносяться до методів шифрування, суть яких полягає в перестановці місцями символів вхідного тексту по деякому правилу [1]. Вони не є універсальними, проте їх перевага у доволі простому алгоритмі шифрування, який можна ускладнювати за рахунок збільшення кількості перестановок, зміни довжини ключів до них та різної кількості циклів шифрування. Простота алгоритму дає можливість відмовитись від використання мікропроцесорної архітектури на користь комбінаційно-логічних схем із використанням запам'ятовуючих пристроїв та лічильників.

За результатами досліджень було доведено, що метод шифрування подвійною перестановкою зі змінною довжиною ключів для кожного циклу має достатній рівень криптостійкості та може бути доволі ефективно використаний для шифрування інформації за допомогою немікропроцесорних пристроїв, що значно знижує вразливість пристрою шифрування від стороннього втручання.

1. А.В. Яковлев, А.А. Безбогов, В.В. Родин, В.Н. Шамкин,  
*Криптографическая защита информации* (Тамбов: ТГТУ: 2006).

## Система заряду електромобіля

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

Для вирішення задачі заряду літій-іонної акумуляторної батареї (АКБ), котра установлена у більшості сучасних електромобілів, виникає необхідність побудови конвертора для зміни напруги до необхідного рівня.

При низькому заряді АКБ, коли напруга батареї може бути менше, ніж на вході конвертора, схема буде працювати у понижуючому режимі, одночасно з регулятором скважності для підтримки постійної напруги живлення. Як тільки заряд АКБ збільшується, напруга стає вище рівня напруги на вході, застосовується перетворювач у режимі підвищення напруги.

Таку задачу вирішує понижуючи-підвищуючий (Buck-Boost) перетворювач (конвертор). Конвертор Buck-Boost, це імпульсний блок живлення, який поєднує у собі принципи понижувального і підвищувального типу в одному контурі. Як і інші конструкції імпульсних блоків живлення, він забезпечує регульовану вихідну напругу постійного струму.

Для того щоб заряд був ефективним, електромобілі обладнані інтерфейсом за допомогою якого відбувається обмін даними з процесором зарядної станції. Через протокол CAN бортовий комп'ютер повідомляє про необхідність заряду, та потрібне значення струму у даний момент часу, а в аварійних випадках, видає команду «СТОП».

Данна система складається з понижуючи-підвищуючого (Buck-Boost) перетворювача, акумуляторної батареї та вузла комутації, що дозволяє заряджати її, або використовувати накопичену енергію.

За рахунок власної батареї можна користуватися нічним тарифом на електроенергію, накопичуючи енергію вночі, та використання цієї енергії вдень.

Також пристрій дозволяє ефективно використовувати “зелену” енергію за рахунок використання сонячних батарей, а також за рахунок електромережі, за її наявності.

Вибір джерела живлення здійснює оператор зарядної станції.

## Метод векторного керування перетворювачем частоти

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

Регулювання частоти і амплітуди трифазної напруги для асинхронного електроприводу, виконується шляхом зміни частоти і шпаруватості керуючих силовими ключами імпульсів, які генеруються системою керування. Силовим блоком перетворювача є автономний інвертор напруги. Термін «векторне керування» обумовлений тим, що при керуванні моментом на валу двигуна необхідно змінювати як амплітуд так і фазу статорного струму, що означає зміну вектора магнітного потоку у двигуні.

Цей метод використовується у даному перетворювачі і оснований на тому, що вектор магнітного потоку у статорі ротора на протязі одного обертання послідовно займає положення від нуля до 300 градусів. Це явище досягається за рахунок певної послідовності комутації силових ключів.

Кожний із шести ключів замкнутий на протязі більшої частини половини періоду, але розмикається за деякий час до замикання ключа, який знаходиться між тим же виводом двигуна і протилежним полюсом напруги. Цим попереджається протікання наскрізного струму через одночасно замкнуті ключі, коли один із них не успів ще розімкнутися, а другий уже замкнувся.

Векторне керування дозволяє суттєво розширити інтервал зміни частоти, забезпечити точність регулювання, підвищити швидкість реакції електропривода на керуючу дію. Зміна ефективного значення трифазної напруги. Відповідно зміни частоти, виконується за допомогою тих же ключів. Для цього імпульси, які слідкують за частотою обертів, підлягають ШІМ – додатково модулюванню більш високочастотними імпульсами змінної шпаруватості.

## **СЕКЦІЯ 6**

### **«Електротехніка»**

## Причини порушення обліку електроенергії та їх виявлення

Захарченко В.В., студент; Дяговченко І.М., аспірант  
Сумський державний університет, м. Суми

Для контролю правильності обліку складається баланс електроенергії. Порушення балансу, тобто нерівність між кількістю спожитої електроенергії та тієї, що надійшла від шин електростанцій, свідчить про порушення обліку. Неправильний облік може бути виявлений і за іншими ознаками: значне відхилення фактичного питомого споживання електроенергії (на одиницю продукції, що випускається) від норм, значна зміна добової витрати, невідповідність показів лічильників, встановлених на кінцях лінії.

Розрахунковий небаланс  $НБ_{розр.}$  визначається за показами лічильників як відношення різниці між прибутковою і видатковою частинами балансу до прибуткової частини, виражене у відсотках. Він не повинен перевищувати допустимого небалансу  $НБ_{доп}$ , тобто

$$НБ_{доп} > НБ_{розр} \quad (1)$$

Допустимий небаланс визначається за формулою:

$$НБ_{доп} = \sqrt{\frac{\delta_{np}^2}{n_{np}} + \frac{\delta_{вит}^2}{n_{вит}}} \cdot 100, \quad (2)$$

де  $\delta_{np}$  – середнє значення відносних похибок прихідних лічильників, від. од.;  $\delta_{вит}$  – середнє значення відносних похибок для витратних лічильників;  $n_{вит}$  – кількість лічильників на лініях, що відходять;  $n_{np}$  – кількість лічильників на вводі.

Причина порушення обліку повинна бути виявлена і усунена, а зроблена помилка при вимірюванні витрат електроенергії виправлена шляхом внесення поправок, визначених розрахунковим шляхом.

Порушення обліку можуть бути викликані наступними причинами: недотримання нормальних умов роботи лічильника; несправність лічильника; несправність вимірювальних трансформаторів; підвищене навантаження вимірювальних трансформаторів; підвищене падіння напруги в колах напруги; неправильна схема включення лічильника; несправність елементів вторинних кіл.

## **Предпосылки создания электродвигателей 6 кВ циркуляционных насосов с контролем изоляции**

Пузанков А.Н., *старший электромонтер*  
ЧАО «МК «Азовсталь», ЭПП ГВУЗ «ПГУ», г. Мариуполь

Как известно, электрические станции являются объектами повышенной важности, опасности. В связи с этим к работе электрооборудования предъявляются повышенные требования к надежности всего действующего оборудования, в частности циркуляционных насосов отдельных турбоагрегатов.

В процессе эксплуатации, случаются ситуации, при которых необходимо в кратчайшие сроки измерить сопротивление изоляции двигателей циркуляционных насосов и на основании измерений дать разрешение персоналу турбинного цеха на пуск электродвигателя или введение его в АВР.

При условиях работы электродвигателей 6 кВ (повышенная влажность воздуха) сопротивление изоляции может значительно снижаться до недопустимых значений (около 1–2 МОм) что в свою очередь может создавать аварийные ситуации с остановкой турбоагрегатов. Для повышения значения сопротивления изоляции производственные работники в лице эксплуатации электроцеха применяют дополнительную сушку электродвигателей лампами накаливания, печами сопротивления. Но данными методами не всегда возможно в сроки подготовить электродвигатель к пуску.

Для надежности работы всех турбоагрегатов необходимо, чтобы сопротивление изоляции электродвигателей поддерживалось всегда на уровне 100–200 МОм. Для этого необходимо чтоб электродвигатели, находящиеся в резерве, подготавливались к пуску за счет нагрева их статорной изоляции специальными печами сопротивления, вмонтированными в корпус двигателя. А значения сопротивления изоляции выводить на табло машиниста турбоагрегата, что позволит производить пуски циркуляционных насосов без участия персонала электроцеха в любой производственной ситуации.

## Експериментальний пошук точки максимальної потужності сонячної батареї для ефективної роботи трифазного інвертора напруги

Срмоленко А.С., студент; Гришко С.П., студент;

Петровський М.В., доцент

Сумський державний університет, м. Суми

Сонячна енергетика – це перспективна гілка альтернативної електроенергетики України. Проте, вона потребує ефективних систем управління та синхронізації сонячних батарей (СБ) з загальної енергосистемою.

Існує безліч алгоритмів пошуку точки максимальної потужності (ТМП) СБ для ефективної роботи інвертора напруги і кожен з них має свої переваги та недоліки. Застосування оптимального алгоритму для заданих умов та локальна модифікація дозволили збільшити «відбір» потужності від СБ до максимально можливих значень.

На основі методів пошуку коефіцієнту максимальної потужності «Постійна напруга» та «Постійний струм» синтезовано метод «Коефіцієнту максимальної потужності», який має високу точність визначення ТМП  $\pm 2,5\%$ . Встановлено залежність параметрів  $I_{к.з.}$ ,  $U_{х.х.}$  та  $P_{max}$  (1) через емпірично знайдений коефіцієнт  $k_{м.п.}$  (2).

$$P_{max} = k_{м.п.} U_{х.х.} I_{к.з.}, \quad (1)$$

де

$$k_{м.п.} = (0,65 \dots 0,7). \quad (2)$$

Розроблений метод «Коефіцієнту максимальної потужності» має переваги над найбільш розповсюдженими методами «Збудження та спостереження» та «Зростаюча провідність». А саме, відсутні коливання потужності біля ТМП.

Запропонований метод отримання максимальної потужності від сонячної батареї об'єднує простоту та високу точність, та являється оптимальним для невеликих сонячних електростанцій. Подальші напрями досліджень: синтез та програмна реалізація регулятора, який зможе в автоматичному режимі відстежувати точку максимальної потужності за методом «Коефіцієнту максимальної потужності» та подавати керуючі сигнали на інвертор напруги.



## Методи оцінки втрат електричної енергії в електричних мережах

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

Значна частина мереж об'єднаної енергетичної системи України збудована за часів існування СРСР в період тотальної електрифікації всіх сфер народного господарства. За довготривалий час експлуатації мережі зазнали значного електричного, механічного та морального зношення, внаслідок чого в процесі передачі електроенергії застарілими мережами виникають її понаднормативні втрати.

Шляхом аналізу літературних джерел було досліджено явище втрат електроенергії в електричних мережах та встановлено найефективніші методи їх скорочення.

За природою виникнення втрати умовно можна розділити на технологічні та комерційні. До структури технологічних втрат належать втрати в елементах мережі, втрати на власні потреби станцій та підстанцій. Втрати, що пов'язані з похибкою приладів обліку, крадіжками, точністю розрахунків зі споживачами електроенергії є складовою комерційних втрат.

Встановлено, що залежно від повноти інформації про навантаження на елементах мережі використовують різні методи розрахунку втрат: метод поелементних розрахунків, метод характерних режимів, діб, метод числа годин найбільших втрат, метод середніх навантажень, статистичні методи.

Використання програмних комплексів дозволяють розрахувати технічні втрати потужності і електроенергії, нормативні втрати у розімкнутих електричних мережах 0,38-220 кВ, провести розрахунок допустимих і фактичних небалансів. Найпоширеніші програмні комплекси: EnergyCS, АСКОЕ та РТП 3.

Широкі можливості сучасних засобів програмного забезпечення та методів розрахунку дозволяють успішно вирішувати проблеми визначення та аналізу втрат електроенергії в електричних мережах, роблячи їх точними та прозорими. Можливість врахування зміни конфігурації та параметрів розрахункової схеми в певний проміжок часу, дає змогу оперативно оцінити їх вплив на величину електроспоживання та значення втрат електроенергії в електромережі.

## **Порівняльний аналіз нормативно-правової бази з питань регулювання енергозбереження та освітлення в Україні та країнах ЄС**

Гречишкіна П.Б., студент; Кіях І.А., студент;  
Лебединський І.Л., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми

На сьогоднішній день, разом із підвищенням тарифів на електричну енергію, проблема енергозбереження та енергоефективності в Україні стає все гостріше. Країни Європейського Союзу починаючи ще з 2000-х років почали активну боротьбу за енергію, про що свідчить нам їх обширна нормативно-правова база та безліч розробок енергоефективних приладів (наприклад, LED лампи). Дану роботу присвячено саме аналізу відповідності українських стандартів європейським.

Зроблено детальний порівняльний аналіз нормативно-правової бази України та ЄС з питань регулювання енергозбереження та проектування освітлення який показав, що законодавча база України потребує значних і чисельних доробіток у цій сфері.

Для більш предметного розуміння питань енергозбереження у освітленні виконано порівняльний аналіз економічності використання ламп розжарювання, люмінесцентної, енергозберігаючої та світлодіодної у комунальних установах при безперервній роботі та у режимі датчику руху (30 комутацій на годину). Аналітично виявлено, що при безперервному режимі роботи найекономічнішою є світлодіодна лампа, а при режимі датчику руху – лампа розжарювання.

Також у роботі авторами розглянуто пристрої для вимірювання спожитої електричної енергії – однофазні та трьохфазні, однотарифні та багатотарифні лічильники. Як приклад показано метод економії електроенергії для середньостатистичного комунального споживача: перехід із однотарифного лічильника на двотарифний та деякі способи економити енергію на опаленні та підігріві води.

Результатом роботи стало визначення слабких місць у українській нормативно-правовій базі щодо освітлення та енергозбереження, визначення найбільш економічних ламп та приклад методу економії на електроенергії за допомогою приладу обліку.

## Smart Grid як крок до модернізації енергосистеми

Волохін В.В. *доцент*; Нечипуренко А.В. *студент*;  
Коваленко О.С. *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми

На даний момент в Україні, як і в усьому світі, гостро стоїть проблема вичерпності природних енергоресурсів. Згідно статичних даних, запасів палива вистачить приблизно на 60-80 років. На сьогодні існує декілька напрямків, які спрямовані на створення електричної енергії з відновлювальних джерел та перспектив найбільш економічно-вигідного її використання. Однією з яких є Smart Grid.

Для Smart Grid (інтелектуальна мережа) на даний час немає єдиного визначення і більшість спеціалістів розуміють і трактують його по-своєму. Дати приблизне визначення інтелектуальним мережам можна, виходячи з мети створення мереж та технологій, які підлягають під поняття інтелектуальна мережа. Технологічна основа

Smart Grid базується на аналізі розвитку енергетичної галузі і вирішенні найактуальніших проблем, які існують на даний час. Тому можна виділити такі складові частини, які визначають напрямок розвитку інтелектуальних мереж:

- ведення обліку електроенергії;
- автоматизація розподільчих мереж;
- управління станом електротехнічного обладнання та моніторинг робочих процесів в електричній мережі.

Отже, головним завданням «розумної» мережі буде реагування системи на будь-які зміни її параметрів, виявленні пошкоджень в мережі та крадіжки електроенергії, і як результат передачі цифрового сигналу для швидкого усунення проблем. Це дозволить збільшити об'єм передачі електроенергії без будівництва додаткових мереж, а також ефективно використовувати електроенергію, зменшити втрати електроенергії та час аварійного відключення.

Сьогоднішня енергосистема потребує змін, хоча процес модернізації є об'ємним і має високу собівартість. Проте наведена вище альтернатива має низку переваг і є кроком до створення ефективної, економічної та саморегулюючої системи.

Smart Grid – це рішення для нового етапу розвитку держави, а не просто однієї компанії.

## Моделювання роботи активного фільтра гармонічних складових

Волохін В.В., *доцент*; Ключко О.О., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми

За прогнозами, протягом наступних двадцяти років споживання електроенергії в світі збільшиться на 25%, що створить більше гармонічних складових у мережі.

Вплив гармонічних складових на енергомережу: додаткові втрати в енергосистемі, знижують ефективність використання енергії, спричиняють перевантаження трансформаторів і проводів, впливають на нормальну роботу всіх видів електрообладнання, створюючи вібрації, шуми, перенапругу в двигунах і додаткові втрати.

Одним із методів рішення цих проблем є використання активного фільтра гармонічних складових. Паралельний активний фільтр гармонік, схема якого представлена на рис. 1а, постійно виробляє гармонійні струми, які точно відповідають гармонійним компонентам, що генеруються навантаженням рис. 1,б-1. В результаті струм джерела залишається синусоїдальним. Було змодельовано роботу активного фільтра гармонічних складових.

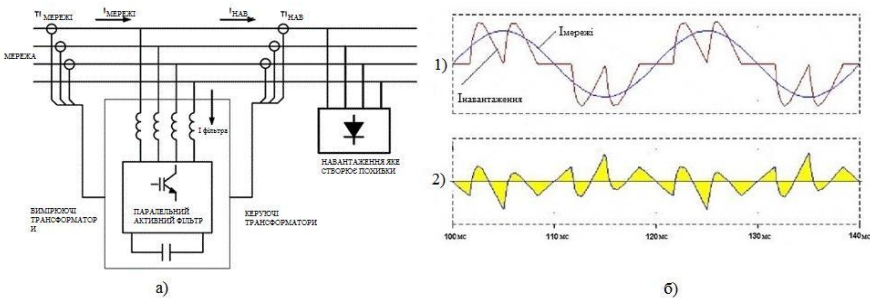


Рисунок 1 – схема підключення (а); струм навантаження і мережі після компенсації (б-1); реактивна енергія створена пристроєм, (б-2).

В результаті дійшли висновку, що фільтр компенсує гармонічні складові, виправляючи синусоїду майже до ідеальної форми. Це дозволяє уникнути проблем які описані вище. Даний пристрій дозволяє покращити якість електроенергії в межах великого підприємства. Недоліком є вартість приладу, оскільки це нова технологія.

## Портативний індукційний нагрівач

Волохін В.В., *доцент*, Гаврилюк В.С., *студент*,  
Гришко С.П., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми

Теоретичні основи техніки індукційного нагріву були закладені ще в минулому столітті, на сучасному етапі в промисловості метод індукційного нагріву стає все більше й більше використовуваним. Він слугує для чистого безконтактного плавлення, спаювання і зварювання металу, згину та термообробки деталей машин і дрібних деталей, які можуть пошкодитись при газовому чи дуговому зварюванні, поверхневого загартування й термообробки деталей складної форми, ювелірної справи, знежирення медичних інструментів.

У роботі була розроблена та досліджена схема портативного індукційного нагрівача (рис. 1 а). Схема являє собою простий двотактний автогенератор, в якому задіяний принцип паралельного резонансу. Усі компоненти, зображені на схемі, були встановлені на друкованій платі (рис. 1 б).

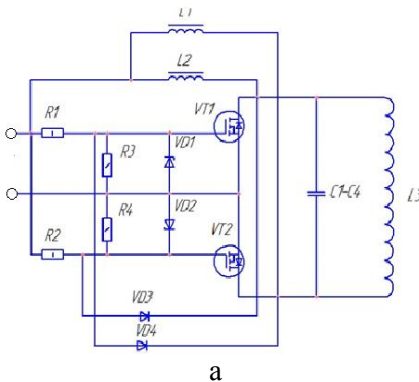


Рисунок 1 – Схема портативного індукційного нагрівача (а), установка індукційного нагріву в комплектії (б)

Використання індукційних нагрівачів має ряд переваг: швидкий розігрів та плавлення будь-якого електропровідного матеріалу; комфортність експлуатації (індуктор можна виготовити будь-якої форми та розміру); відсутність забруднення повітря; та недоліків: потрібна велика потужність на нагрів та потужне джерело струму.

## **Система прогнозування витрат енергоресурсів для бюджетних установ на основі нейромережових технологій**

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

Існуючі системи планування витрат на енергоресурси (ВЕ) в цілому враховують середню кількість енергії яка була використана державними установами за попередній період. Найбільшим недоліком такого підходу є те, що установи, які вже впровадили у себе технології енергозбереження і мають збалансовані обсяги споживання енергоресурсів заздалегідь виявляються в гірших умовах. При суттєвому зростанні ставок тарифів на енергоносії для бюджетних організацій (БО), а також при посиленні договірних відносин з енергопостачальними організаціями значно підвищуються вимоги до рівня планування ВЕ. Тому виникає потреба в нових підходах до планування, які можуть забезпечити достатню точність при прогнозуванні ВЕ. Для вирішення цієї задачі була апробована можливість застосування штучних нейронних мереж (ШНМ) при прогнозуванні витрати електричної енергії (ЕЕ) БО. З усіх БО структура витрат ЕЕ в вищих навчальних закладах аграрного спрямування найбільш складна, це пов'язане із великою кількістю різноманітних структурних підрозділів (теплиці, віварії, автопарк, житловий сектор та інше). Задача планування і прогнозування ВЕ з використанням ШНМ в загальнішому варіанті ставиться таким чином: необхідно розрахувати плановане споживання енергії організацією на майбутній рік таким чином, щоб цієї кількості енергії гарантовано вистачило повністю. Тобто плануватися повинна не максимальна витрата організацією цієї енергії, а саме та частина, яка незначно перевищує найбільш ймовірне її споживання. Для розрахунку витрати ЕЕ в якості вхідних параметрів необхідно використовувати такі показники, як фактичні річні витрати ЕЕ будівлею, організацією; проектна потужність будівлі; кількість відвідуваність для організацій освіти; питома електричне навантаження (кВт/місце); кількість годин використання ЕЕ на добу (рік); загальна площа будівель організації, включаючи окремі структурні підрозділи та прилеглі території. Вихідними параметрами моделі є розрахункові річні і місячні витрати ЕЕ організацією (або будівлею) бюджетної сфери.

## Інформаційне забезпечення нижнього рівня управління газотурбінної електростанції

Толбатов А.В.<sup>1</sup>, доцент; Толбатов В.А.<sup>2</sup>, доцент

<sup>1</sup> Сумський національний аграрний університет, м. Суми

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

У газотурбінній електростанції (ГТЕ) нижній рівень (контролера) функціонує під керуванням програми "Logic Master", призначеної для роботи в контролерах з операційною системою М8-В8. Програма "Logic Master" використовується для адаптації до структури системи, розроблення прикладного ПЗ логічного управління, вимірювань, формування захистів, сигналізації і т.п. відповідно до технологічних вимог для даного типу устаткування. Програма управління виконує функції автоматичного управління за циклами. У кожному циклі за допомогою цієї програми виконуються такі дії: збір та обробка даних вимірювань із блоків контролю; виконання програм автоматичного регулювання режимів роботи технологічного обладнання; передача команд управління локальним системам, що належать до даного циклу; обмін даними по мережі; беззупинний чи за викликом оператора процес вимірювань значень технологічних параметрів і подання їх на відеоконтрольний пристрій комп'ютера; індикація стану виконавчих механізмів і пристроїв на мнемосхемі; відображення стану об'єкта на мнемосхемі; сигналізація відхилень значень технологічних параметрів для заданих граничних значень; сигналізація про спрацьовування блокувань і захистів оператору; обчислення розрахункових технологічних параметрів; запам'ятовування сигналів, що викликали аварійну зупинку; фільтрація відповідних інформаційних сигналів із метою формування достовірних інформаційних масивів технологічних параметрів; формування масивів ретроспективної інформації у вигляді беззупинно обновлюваних баз даних, а також файлів даних при аварійних зупинках; контроль технічних засобів до рівня змінного блока з поданням інформації оператору про виникнення неполадок; перевірка виконання режимів передпускової готовності, автоматичний пуск, нормальна та аварійна зупинки ГТЕ; дистанційне керування виконавчими механізмами і пристроями ГТЕ.

## Комплексне випробування двигунів змінного струму після ремонту

Василега П.О., *доцент*; Гайворонський М.С., *студент*;  
Гвоздак С.С., *студент*; Зябко А.С., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми

Усі електродвигуни після середнього та капітального ремонту повинні проходити випробування при роботі під навантаженням. Такі випробування, як правило, потребують використання спеціального обладнання та пов'язані зі значними фінансовими затратами.

Був розроблений і запатентований спосіб випробування асинхронних двигунів, при якому подають напругу промислової частоти від регульованого джерела живлення на обмотку статора двигуна з незагальмованим ротором в режимі холостого ходу. При цьому випробуванні здійснюють підвищення напруги на обмотках статора доти, поки величина струму в них не дорівнюватиме його номінальному значенню. Аналіз теплового режиму двигуна дозволяє зробити висновки стосовно стану його електричної частини (відсутність місцевих дефектів ізоляції, правильність схеми з'єднання обмоток статора, тощо).

Однак, як показує практика, для забезпечення подальшої надійної роботи двигунів змінного струму після виконання ремонту необхідно перевірити справність не лише їх електричної, а і механічної частини.

Був розроблений новий комплексний метод, що передбачає два етапи випробування електродвигунів змінного струму.

На першому етапі на обмотки статора двигуна подається підвищена напруга промислової частоти, за умови, щоб по них протікав струм, величина якого дорівнює номінальному значенню. А на другому етапі випробувань напругу понижують до номінального значення, а здійснюють підвищення її частоти, завдяки чому збільшують частоту обертання ротора. Сигнали від вібродатчиків, які встановлюються на підшипниках двигуна дають можливість проаналізувати величину вібрацій і зробити висновки стосовно стану його механічної частини, зокрема підшипників.

Такий спосіб дозволяє зробити висновки стосовно стану як електричної, так і механічної частини двигуна після ремонту.



## Гармонічний аналіз періодичних несинусоїдних струмів і напруг у програмному середовищі LabVIEW

Петренко Н.С., *студент*; Лебединський І.Л., *доцент*;  
Шовкопляс О.А., *старший викладач*  
Сумський державний університет, м. Суми

У даній роботі наведена реалізація в програмному середовищі LabVIEW алгоритму гармонічного аналізу періодичного струму або напруги, які відносяться до областей якості електроенергії.

Аналіз спектра вищих гармонік у системі електричних мереж, пов'язаний з проблемою якості електроенергії у системах електропостачання промислових підприємств, протягом достатньо тривалого часу залишається однією з найважливіших проблем, що визначає надійність та ефективність електропостачання споживачам. Ця проблема має декілька складових, однією з яких є проблема гармонічних складових (вищі гармоніки).

Джерелами вищих гармонік є промислові споживачі з елементами, що мають нелінійні вольт-амперні характеристики, наприклад, напівпровідниковим діодом, стабілітроном, тиристором. А також окремі прилади, що мають широке використання у багатьох сферах життєдіяльності сучасної людини, які, однак, різко погіршують якість електричної енергії. Вищі гармоніки, залежно від їх характеру, інтенсивності та тривалості, негативно впливають на роботу систем автоматики й телемеханіки, знижують економічність та надійність роботи електричних мереж, зменшують термін експлуатації електрообладнання та призводять до багатьох інших негативних наслідків.

Метою роботи є проведення аналізу гармонічного вмісту за різних навантажень із використанням програмного середовища LabVIEW, який пов'язаний з платою NI DAQ (рис. 1). Зазначений пристрій збору даних отримує сигнали від джерела для їх запису у відповідний файл для подальшої обробки.

Щоб відфільтрувати високі гармоніки та білий шум, а також для відокремлення синусоїдальних та косинусоїдальних компонент з сигналу, використаний алгоритм Фур'є. У результаті отримуємо тригонометричний ряд Фур'є.

## Керування генератором сигналів



Рисунок 1 – Блок-схема для аналізу сигналу

У роботі досліджений коефіцієнт нелінійних спотворень – показник, що характеризує ступінь відмінності форми вихідного сигналу від синусоїдальної (THD). Його значення нормується згідно ГОСТ 13109-97 і виражається у відсотках. Установлено, що значення THD збільшується від 26,49% до 40,36% пропорційно до кількості обраних гармонік (до десяти), а при обранні десяти і більше гармонік показник не змінює свого значення і становить близько 40%. На рис. 2 показаний результат програмної обробки вихідного сигналу: значення амплітуд обраних гармонік та THD.

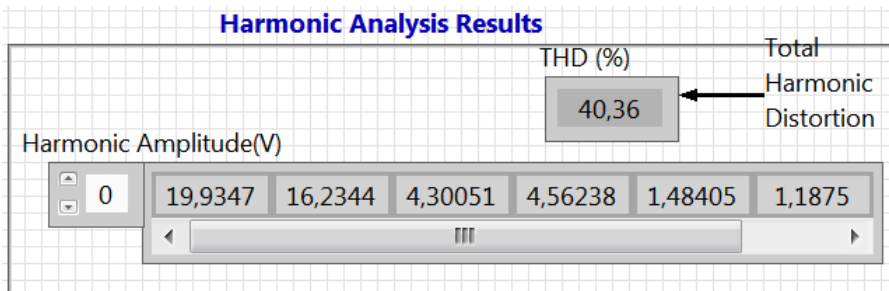


Рисунок 2 – Гармонічний аналіз періодичного сигналу в програмному середовищі LabVIEW

Дослідження доводить, що даний алгоритм є найбільш ефективним для оцінки сигналу. Результат підтверджує, що важливими є непарні гармоніки, які і впливають на якість сигналу.

1. Е. Ф. Щербаков, *Физические основы электротехники: учеб. пособие* (Ульяновск: УЛГТУ: 2012).
2. В. П. Федосов, А. К. Нестеренко, *Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб. пособие* (М.: ДМК Пресс: 2007).

## Вибір режиму роботи нейтралі в мережах напругою 20 кВ

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

В Україні минулого року прийнята концепція переходу від триступеневої системи передачі та розподілу електричної енергії 110-35-(6)10 кВ на двоступеневу систему 110-20 кВ. Таким чином, необхідно здійснити переведення мереж напругою 6(10)-35 кВ на напругу 20 кВ.

За мету цього заходу ставлять підвищення ефективності роботи електричних мереж та зменшення втрат електроенергії. Одночасно з цим передбачається зміна конфігурації мережі та підходів до автоматизації розподільчої мережі.

Основними перевагами передачі електроенергії на напрузі 20 кВ порівняно з напругою 6(10) кВ вважають наступні: більшу пропускну спроможність; зниження технологічних витрат електроенергії; використання нового обладнання у габаритах старого; підвищення надійності електропостачання; покращення показників якості електроенергії.

В той же час, одним із актуальних технічних завдань є вибір режиму заземлення нейтралі мереж напругою 20 кВ.

Зараз в Україні більшість мереж 6–35 кВ працюють з ізолюваною нейтраллю або з компенсацією ємнісного струму однофазного замикання на землю (ОЗЗ), хоча Правилами улаштування електроустановок віднедавна допускається заземлення нейтралі через резистор.

Розрізняють низькоомне та високоомне резистивне заземлення нейтралі.

Якщо ОЗЗ має бути селективно вимкнене на протязі мінімально можливого часу, доцільним є низькоомне заземлення нейтралі, що дозволяє знизити рівні перенапруг в мережі та виконати простий і ефективний захист від ОЗЗ.

У випадку, коли мережа повинна мати можливість довготривалої роботи в режимі ОЗЗ до моменту виявлення місця замикання і усунення пошкодження, рекомендується високоомне заземлення нейтралі та робота пристроїв РЗА на сигналізацію.

## **Розвиток малої енергетики на базі автономних газотурбінних електростанцій**

Толбатов А.В., *доцент*; Смоляров Г.А., *доцент*  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми

Розвиток теоретичних і методологічних основ та інструментальних засобів створення і використання інформаційних технологій, розроблення методів і моделей прийняття рішень в системах моніторингу технологічних та енергетичних комплексів є однією з найважливіших науково-технічних проблем. В умовах світової енергетичної кризи величезну значимість набувають проблеми енергетики, до яких відносяться, зокрема, задачі ефективного управління процесами функціонування енергогенеруючих об'єктів. Використання Закону України "Про електроенергетику" (ст. 5 Закону) створює умови для проведення перспективних наукових досліджень з метою вирішення проблем енергетики. В останній період у вирішенні проблем енергетики все більшу роль відіграють об'єкти малої енергетики – автономні електростанції малої потужності. Розвиток таких електростанцій відбувається більш інтенсивніше у порівнянні з розвитком традиційних потужних електростанцій. Це обумовлено рядом факторів, а саме: більш високим коефіцієнтом корисної дії, більш короткими часовими термінами будівництва, використанням типових компактних конструкцій та модулів при створенні електростанцій, кращими екологічними показниками та ін. Потужність таких електростанцій становить порядку десятків МВт, а в якості палива використовується газ. Інтенсивне поширення автономних газотурбінних електростанцій (ГТЕ) у всьому світі, що спостерігається цим часом, обумовлено можливістю використання додаткових енергоресурсів, таких як супутній газ нафтопромислів та біогази (на базі потужного АПК України). Використання автономних ГТЕ економічно вигідно для забезпечення електроенергією малих населених пунктів, підприємств і технологічних установок, віддалених від потужних джерел електроенергії, на сміттєпереробних підприємствах, нафтопромислах, в місцях видобування природного газу, на газоперекачуючих станціях газотранспортних систем та в АПК з використанням відновлюваного палива (останнє особливо актуально для розвитку АПК та енергоне залежності України).

## **Впровадження інформаційних технологій управління газотурбінною електростанцією в різних режимах функціонування**

Толбатов А.В.<sup>1</sup>, доцент; Смоляров Г.А.<sup>1</sup>, доцент; Толбатов С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сумський національний аграрний університет, м. Суми

<sup>2</sup> NetCracker, м. Суми

Розв'язання задач впровадження інформаційної технології (ІТ) забезпечується на основі використання інформаційного забезпечення (ІЗ), включаючи формування відповідних інформаційних сигналів (ІС), вимірювання їх параметрів та характеристик. ІС є фізичним носієм ІЗ. Результатом дії ІС є бази цих вимірів, контролю і діагностики результати обробки, протоколи випробувань, проектна і робоча документація. Носіями ІЗ можуть бути електромагнітні, електричні, вібраційні, акустичні, сейсмічні і інші сигнали. Для їх опису використовуються математичні моделі детермінованих і випадкових функцій, як одновимірні, так і багатовимірні. При цьому вся множина ІС поділена на два класи. До першого класу відносяться сигнали, які забезпечують виконання задач: обробки технологічної інформації; оперативного представлення інформації; формування бази даних вимірюваних значень і стану технологічних параметрів виконавчих механізмів, архіву; передачі інформації на центральний диспетчерський пункт електричних мереж. До другого класу відносяться сигнали, які забезпечують виконання задач: оперативного контролю і керування основними і допоміжними системами; автоматичного регулювання основних технологічних параметрів ГТЕ; автоматичного пуску установки по сигналах оператора; аварійної зупинки установки як по сигналам захистів, так і по команді оператора; автоматичної підтримки заданих режимів роботи генератора. Технічні та програмні засоби забезпечують беззупинний режим функціонування системи автоматичного управління (САУ) з періодичними оглядами і регламентними роботами в період зупинок технологічного устаткування. Основною функціональної складової САУ є система регулювання двигуна. Для забезпечення точності в різних режимах функціонування ГТЕ, регулювання на сталих режимах і швидкодії впровадимо сучасні ІТ, у т.ч. управління регулятором подачі газу.

Наукове видання

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ :: 2017**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

(Суми, 17–21 квітня 2017 року)

Відповідальний за випуск  
декан ф-ту ЕлІТ

проф. **С. І. Проценко**

Комп'ютерне верстання  
Дизайн обкладинки

асист. **Ю. М. Шабельника**  
асист. **Ю. М. Шабельника**

Відповідальний редактор

асист. **Ю. М. Шабельник**

Стиль та орфографія авторів збережені.

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 10,82 Обл.-вид. арк. 11,94 Тираж 100 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.