



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Ел ІТ

# ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ - 2024**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

**МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ  
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ**

**(Суми, 22-26 квітня 2024 року)**

Суми,  
Сумський державний університет  
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,  
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ :: 2024**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

(Суми, 22–26 квітня 2024 року)

Суми  
Сумський державний університет  
2024

## ***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.*

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

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

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

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

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

### **Секції конференції:**

1. Інформаційні електронні системи.
2. Електронні системи, прилади і засоби кодування інформації.
3. Електротехніка та енергетика.
4. Прикладна фізика та наноматеріали.

Голова оргкомітету

Юрій ВОЛК

## СЕКЦІЯ № 1 «ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ»

Голова секції – д-р. фіз.-матем. наук, проф. Олександр Л.В.  
Секретар секції – канд. фіз.-мат. наук, ст. викл. Тищенко К.В.

**Початок:** 25 квітня 2024 р., онлайн, 13<sup>00</sup>

<https://meet.google.com/oxd-okrc-cbb>

### 1. Monitoring System For Small-Scale Wind Or Solar Power Stations

Authors: Stud. Birkun A.,  
Stud. Krivous D.,  
Stud. Liubivyi D.,  
Assist. Vlasenko O.,  
Assoc. Prof. Buryk I.

### 2. Charge Carrier Transport In Two-Dimensional Field-Effect Transistors

Authors: Stud. Fedchenko Ye.,  
Stud. Olefirenko V.,  
Stud. Matiash I.,  
Assoc. Prof. Buryk I.

### 3. Вплив температури на параметри біполярних транзисторів як елементів електронних систем

Автори: студ. Задорожний В.О.,  
студ. Кудрявцев Д.В.,  
студ. Ткаченко А.М.,  
зав. лаб. Лободюк О.С.,  
асп. Пушкар С.О.,

Керівник – проф. Олександр Л.В.

4. Системи відображення інформації на основі LED  
Автори: студ. Микитченко Д.О.,  
студ. Мещерякова Д.С.,  
студ. Могилевський В.В.,  
проф. Олександрів Л.В.
5. Використання датчиків руху в системах безпеки  
Автори: студ. Яковенко Т.К.,  
доц. Шумакова Н.І.
6. Ідентифікація та моніторинг елементів ІоТ в однорангових мережах  
Автори: студ. Холоденко А.С.,  
студ. Немцов В.А.,  
к.ф.-м.н. Тищенко К.В.
7. Програмні системи візуального аналізу та обробки даних мікрознімків з використанням ImageJ  
Автори: студ. Кривоус Д.В.,  
к.ф.-м.н. Логвинов А.М.
8. Fiber-Optic Strain Sensors In Control And Diagnostic Of Electronic Systems  
Authors: Stud. Symonenko M.H.,  
Postgrad. Stud. Tolstikov D.I.,  
Prof. Odnodvoretz L.V.
9. Sensors In Medical And Sports Electronics  
Authors: Assoc. Prof. Lukavenko I.M.  
Stud. Matuznii V.M.  
Stud. Fatiushin V.V.
10. Холодно-плазмовий метод в ЛОР-хірургії  
Автори: доц. Хижня Я.В.,

студ. Лишенко О.В.,  
студ. Виходцева Т.О.,  
студ. Виходцева А.О.

11. Дослідження ефекту Холла в металевих матеріалах засобами моделювання в LabVIEW

Автори: ст. викладач Вітренко А.М.,  
студ. Прищепа В.В.

## **СЕКЦІЯ № 2 «ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ, ПРИЛАДИ І ЗАСОБИ КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ»**

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

**Початок:** 24 квітня 2024 р., онлайн, 15<sup>30</sup>  
<https://meet.google.com/tpy-govf-bjt>

1. Підвищення швидкості складання двійкових біноміальних чисел

Автори: студ. Забуга А.О.  
Керівник: доц. Кулик І.А.  
асист. Шевченко М.С.

2. Двонаправлений спосіб стиснення інформації на основі двійкових біноміальних чисел

Автори: асп. Гермес М.О.,  
студ. Растворцев Л.Д.  
Керівник: доц. Кулик І.А.

3. Порівняльний аналіз рівноважних та квазірівноважних кодів

Автори: студ. Супрун М.М.  
Керівник: доц. Кулик І.А.  
асист. Шевченко М.С.

4. Генерування рівноважних кодів на основі біноміального арифметичного складання

Автори: студ. Садовничий С.О.  
Керівник: доц. Кулик І.А.  
асист. Шевченко М.С.

5. Переваги перешкодостійких площинних кодів

Автори: студ. Церковицька К.А.  
Керівник: доц. Кулик І.А.  
асист. Шевченко М.С.

6. Бортовий модуль контролю і управління автомобілем на основі Arduino

Автори: студ. Киричко С.В.  
Керівник: доц. Кулик І.А.  
асист. Шевченко М.С.

7. Chat GPT: принципи роботи, ризики та цінності

Автори: студ. Радько Д.Ю.  
Керівник: доц. Кулик І.А.

8. Електроніка для економічного опалення будинку

Автори: студ. Шевцов Б.В.  
Керівник: доц. Новгородцев А.І.

9. Плавний старт імпульсного стабілізатора з ШІМ

Автори: студ. Середа І. М.  
Керівник: доц. Новгородцев А.І.

10. Вплив відпалів на оптичні характеристики гетероструктури CZMTS/ZnO

Автори: асп. Єрмаков Максим  
асп. Бойко Богдан

Керівник: проф. Опанасюк Анатолій  
доц. Пшеничний Роман

11. Лазерний відпал плівок ZnO легованих Cu: оптимізація процесу відпалів

Автори: студ. Чудеса К.В.  
асп. Васильєв В.Р.

Керівник: проф. Опанасюк А.С.  
доц. Пшеничний Р.М.

12. Дворежимне керування інжекційним струмом потужних лазерних діодів

Автор: студ. Лифар І.С.

Керівник: доц. Д'яченко О.В.

13. Оптимізації оптичних та електричних характеристик гетероструктури ZnO/CuO

Автори: асп. Євдокименко В.Ю.

Керівник: проф. Опанасюк А.С.  
доц. Пшеничний Р.М.  
проф. Гнатенко Ю.П.

14. Вплив легування Cu на ширину забороненої зони плівок ZnO для потреб сонячної енергетики

Автори: асп. Єрмаков Максим  
асп. Бойко Богдан  
студ. Лопатін Дмитро

Керівник: проф. Опанасюк Анатолій  
доц. Пшеничний Роман

15. Властивості раманівських спектрів полікристалічний плівок CdZnTeSe

Автори: асп. Лісовенко О. І.  
асп. Пащенко М. В.  
докторант Знаменщиков Я.В.

Керівник: проф. Опанасюк А.С.



доц. Д'яченко О.В.

16. 2D сканер для комбінованого лазерного відпалу тонких плівок широкозонних матеріалів

Автори: асп. Лифар С.І.  
студ. Черноус Я.В.  
Керівник: проф. Опанасюк А.С.

17. Двох екструдерний 3D принтер для друку електроніки

Автори: асп. Шкиря Юрій  
студ. Кривошап Станіслав  
Керівник: проф. Опанасюк Анатолій

18. Технології побудови доступу до Інтернет мережі у селах

Автори: студ. Колесник В. Р.  
Керівник: доц. Д'яченко О.В.  
ст. викл. Протасова Т.О.

19. 3D-друк друкованих плат

Автори: студ. Лопатін Д. О.  
Керівник: доц. Д'яченко О.В.  
ст. викл. Протасова Т.О.

20. Аналіз безпроводних протоколів передачі даних систем обмеженого доступу

Автори: студ. Чхун Ю.С.  
студ. Савков В.І.  
Керівник: доц. Гриненко В.В.

21. Пристрій управління контролем доступу

Автор: студ. Базюра Б. В.  
Керівник: доц. Гриненко В.В.

22. Плівки Cd1-xMnxTe для напівпровідникових детекторів жорсткого випромінювання: вибір матеріалу та режимів нанесення

- Автор: студ. Растворцев Л.Д  
асп. Писаний О.В
- Керівник: проф. Опанасюк А.С.
23. Оптимізація температури підкладки вкритої шаром ІТО для отримання плівок CZTS для детекторів випромінювання
- Автори: асп. Пащенко Максим  
студ. Радько Данііл
- Керівник: проф. Опанасюк Анатолій  
докторант Ярослав Знаменщиков
24. Метеостанція на базі Arduino Nano з виводом даних з датчиків на телефон
- Автори: студ. Наумов А. Д.
- Керівник: ст. викл. Протасова Т. О.  
доц. Д'яченко О. В.
25. Пристрій керування мультимедійними системами в Smart House
- Автори: студ. Дем'яненко А.А.
- Керівник: ст. викл. Протасова Т. О.  
доц. Д'яченко О. В.
26. Алгоритм віднімання одиниць з біноміальних чисел
- Автори: асп. Хацько А. О.
- Керівник: проф. Борисенко О. А.
27. Стабілітрони у якості малосигнальних діодів з низьким струмом утікання. Захист літій-іонного акумулятора
- Автори: студ. Кролевецький В.В.
28. Вибір ефективної криптографічно стійкої хеш-функції в технології блокчейн для систем Інтернету речей
- Автори: студ. Мазуркевич О.А.
- Керівник: доц. Бережна О.В.

директор Арбузов В.В.

29. Пристрій криптографічного захисту інформації на базі алгоритму подвійної перестановки

Автори: студ. Бивалін Р.А.  
студ. Товстогуз Б.О.  
Керівник: доц. Бережна О.В.

### СЕКЦІЯ № 3 «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА»

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

Секретар секції – канд. техн. наук Дяговченко І. М.

**Початок:** 25 квітня 2024 р., онлайн, 13<sup>30</sup>

<https://meet.google.com/nku-qsai-ptg>

1. Альтернатива «зеленому» тарифу

Автори: асист. Загородня Т. М,  
студ. Рева В. А.

2. Програмний комплекс для автоматизації процесів супроводу споживачів електричної енергії

Автори: асист. Макуха Д. М.,  
доц. Волохін В. В.

3. Дослідження замикань на землю в електричних мережах напругою 6–10 кВ з різними режимами нейтралі

Автори: ст. викл. Лебедка С. М.,  
студ. Шудрець В. А.

4. Reducing LV grid voltage rise caused by solar panels using a step-up transformer and series voltage regulator

Authors: stud. György Gyöngyösi,  
stud. Tamás Vimbó

5. Негативний вплив гармонічних спотворень від частотно-регульованих приводів на електричні мережі

Автори: доц. Дяговченко І. М.,  
студ. Сергієнко С. В.

6. Development of Distributed Energy Resource Management Systems

Authors: stud. Eoghan Duffy  
Supervisor: Prof. Andrew Keane

#### СЕКЦІЯ № 4 «ПРИКЛАДНА ФІЗИКА ТА НАНОМАТЕРІАЛИ»

Голова секції – канд. фіз.-матем. наук Шабельник Ю.М.  
Секретар секції – асп. Долгов-Гордійчук С.Р.

**Початок:** 25 квітня 2024 р., онлайн, 13<sup>00</sup>  
<https://meet.google.com/oxd-okrc-cbb>

1. Розвиток практичних навичок студентів у царині статистичної фізики

Автори: ст. викл. Соляк Л.В.,  
доц. Рудик Б.П.,  
доц. Рибалко А.В.

2. Фазові рівноваги системи  $\text{Ag}_2\text{FeGa}_2\text{Se}_5\text{--Cu}_2\text{FeGa}_2\text{Se}_5$ , встановлені методом ЕРС

Автори: проф. Мороз М.В.,  
пров. наук. співроб. Демченко П.Ю.,  
доц. Прохоренко М.В.,  
проф. Прохоренко С.В.,  
проф. Решетняк О.В.

3. Властивості сполук систем  $Tl_2Se-CdSe-Si(Ge)Se_2$ 

Автори: ст. викл. Селезень А.,  
асп. Іванюк Д.,  
проф. Мирончук Г.,  
проф. Мороз М.,  
проф. Піскач Л.

## 4. Asymptotic theory for the directed transport of suspended ferromagnetic nanoparticles

Authors: Ph.D. Stud. Liutyi A.T,  
Head of the Lab. Bystrik Yu.S.,  
Assoc. Prof. Lyutyi T.V.,  
Princ. Res. Ass. Denisov S.I.

5. *Ab initio* calculations of electronic properties of non-stoichiometric CdTe clusters with spherical form

Authors: Ph.D. Stud. Deva L.,  
Assoc. Prof. Kashuba A.,  
Assoc. Prof. Rudysh M.,  
Assoc. Prof. Semkiv I.,  
Assoc. Prof. Shchepanskyi P.,

## 6. High-sensitivity gas sensors based on metal oxide thin films for industrial applications

Authors: Stud. Fomenko O.,  
Senior Lect. Shvets U.,  
Assoc. Prof. Shpetnyy I.

7. Вплив температури термообробки на магнітні властивості композитних матеріалів на основі Fe та  $SiO_2$

Автори: асп. Долгов-Гордійчук С.Р.,  
ст. викл. Пилипенко О.В.,  
студ. Жаботинський В.І.,  
доц. Пазуха І.М.,  
проф. Шкурдода Ю.О.

8. Електропровідність острівцевих плівок Fe

Автори: асп. Шкарупа Т.В.,  
студ. Загорулько А.С.,  
Керівники: доц. Пазуха І.М.,  
проф. Шкурдода Ю.О.

9. Наноструктури для електроніки на основі двовимірних матеріалів

Автори: магіст. Шевченко В.І.,  
магістр.Поляченко О.С.,  
доц. Шумакова Н.І.

10. Using the additivity principle in the study of electronic properties of high-entropy materials

Authors: Master Krytskyi V.V.,  
Grad. Stud. Rylova A.K.,  
Assoc. Prof. Shumakova N.I.  
Supervisor: Prof. Protsenko I.Yu.

11. Максени як матеріал майбутнього

Автор – студ. Будко Д.

# **СЕКЦІЯ 1**

**«Електронні інформаційні системи»**

## Monitoring System For Small-Scale Wind Or Solar Power Stations

Birkun A., Krivous D., Liubivyi D., *master's degree*,  
Vlasenko O.V., *assistant*; Buryk I., *associate professor*  
Sumy State University

Modern data collection systems are typically built using microcontrollers, industrial controllers, microprocessors, personal computers, and so forth. Signal converters from primary devices (sensors) to microcontrollers themselves, through their input-output modules, perform the conversion of input data. Various options for organizing information channels are then implemented, including the transmission of software variables from the microcontroller program to the computer control system program, and their sending to information display devices. Specialized hardware and software are used for monitoring and dispatching the operation of wind or solar photovoltaic stations. Data from one's own power grid can be displayed graphically using Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems. USB, RS485, K-Bus standards are typically used for serial communication. Usually, SCADA is installed on a personal computer and connected to controllers using special protocols (Modbus, Modbus+, Profibus).

Simulink/Simscape has solar or wind farm models that can be used to capture static or dynamic characteristics as well as performance characteristics of energy storage systems. Detailed SPICE models can be downloaded from the semiconductor manufacturer's website and converted. The accuracy of the models from the manufacturer is very high. You can also create a MATLAB script to automate feature extraction. As for the physical implementation, the stm32 boasts a user-friendly software. Launchpad of the c2000 series from Texas Instruments, in which programming is carried out through Simulink/Simscape, should be noted as a promising direction. In demo models, you can find converters with mppt for solar or wind power. Along with this, AVR is best suited for learning the basics.

This work presents the results of developing a portable sensor monitoring system. Figure 1 shows the schematic diagram of the device. Data is recorded on a microSD card with a 5-second interval in CSV format. The device is based on an 8-bit microcontroller Atmega32, which has 32 KB of Flash memory, 2 KB of SRAM, and rich peripherals. It



operates from an external quartz resonator, and a DS1307 real-time clock chip with an I2C interface is also used. The device contains 8 analog input channels, allowing connection of 8 analog sensors, a 3.3V LDO voltage regulator, a logic level converter chip, and protective elements.

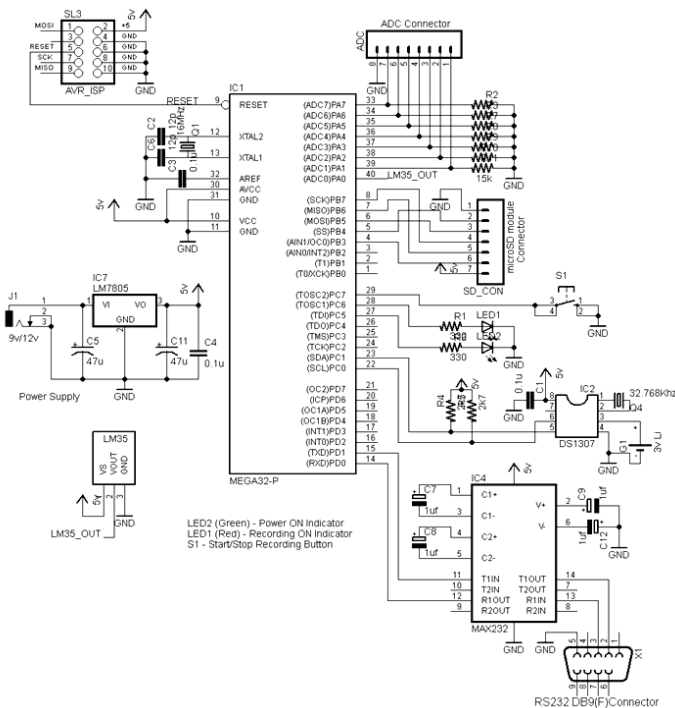


Fig. 1. Schematic diagram of the hardware part of the portable data monitoring system

The main task of the microcontroller is to read ADC data on request and transmit it via the RS232 interface. The operating frequency of the microcontroller is determined by an 8 MHz quartz resonator, but the use of the internal 8 MHz oscillator is also possible. For this system, any AVR microcontroller can be used, but adjustments to the microcontroller program code are required. A specialized MAX232 chip is used to connect the microcontroller to the computer via the serial interface. Data transmission utilizes the built-in USART (universal

synchronous/asynchronous receiver-transmitter) hardware in the microcontroller.

The software part includes the following capabilities for the computer:

- possibility to adjust intervals for data reading;
- real-time graph viewing;
- recording, saving, and opening saved data;
- static reading mode, possibility to print data and graphs;
- manual control of serial data transmission

Data transmission from the hardware part to the computer follows the following protocol: upon initial connection to the controller board after opening the serial port, the computer attempts to establish communication with the controller. The computer sends the symbol ">" (0x3E), and the microcontroller should respond by repeating this command. After the connection is established, commands can be sent to the controller. The command to read ADC data involves the computer sending the symbol "r" (0x72), and the microcontroller's response to the data read command will look like this: "D" + 2 bytes (ADC channel 0) + 2 bytes (ADC channel 1) + ... + 2 bytes (ADC channel 7). In total, 18 bytes will be transmitted.

Let's consider the sequence of operation of the portable monitoring system in data reading mode:

- power on, green LED is activated;
- pressing the start button activates the data reading process, and the red LED is turned on;
- pressing the start button again stops the data reading process, the red LED turns off, and a message about stopping the recording is displayed;
- to view saved data, a computer with an SD card reader device can be used, or data can be obtained via the RS-232 interface in debugging mode

Thus, only one start button and LED indication are used for communication with the device. In case of any errors during access to the SD card, the red LED blinks continuously. In this case, it is necessary to start the debugging mode with a terminal program to view error messages.

## Charge Carrier Transport In Two-Dimensional Field-Effect Transistors

Fedchenko Ye., Olefirenko V., Matiash I., *bachelor's degree*,  
Buryk I., *part-time teacher of the Separate Structural Unit "Classical Vocational College of Sumy State University"*

To address a series of issues related to the scaling of transistor structures, researchers have shown significant interest in graphene-like two-dimensional materials. These materials possess a sheet-like structure with a thickness of one or several atomic layers, although lateral dimensions can reach microscale or even larger. Due to their sub-nanometer channel thickness, charge carriers are confined within a single-atom or multi-atom channel. The application of two-dimensional materials as channels in field-effect transistors is limited by the low carrier mobility, either due to its reduction influenced by the substrate. The paper provides an overview of the operational characteristics of a field-effect transistor with a two-dimensional channel. The basics of modeling such structures using the NanoHub software environment are discussed. The research results demonstrate its higher performance compared to other field-effect transistors. Numerical modeling of the operational characteristics of a field-effect transistor with a 2D-based channel reveals problematic aspects and features of applying two-dimensional materials in electronic device engineering. The obtained results demonstrate acceptable values of electrical parameters and can be applied in studying the peculiarities of computer modeling of device structures in nanoelectronics.

Since the discovery of graphene in 2004, significant progress has been observed in the research of two-dimensional (2D) materials, of which a large number have been obtained to date. Alongside graphene, a separate large class of layered structures composed of chalcogenides (S, Se, Te) and transition metals (Mo, W, Cr, Zr, V, Ti, Nb, Hf, Ta, Pd, Pt) with the formula  $MeX_2$  has emerged. Due to their characteristic sub-nanometer thickness and sheet-like structure, the electronic, optoelectronic, physical, and chemical properties of these materials are extremely attractive and have sparked research interest. Carrier (electron/hole), phonon, and photon transport is strongly confined within the external surfaces of 2D materials. Under the influence of size effects, changes in their electronic, thermal, and

optical properties are observed. This has been noted in several studies dedicated to these issues.

It is worth noting that 2D materials show little change in carrier mobility with decreasing thickness. Additionally, multilayer structures do not compete with bulk materials (such as Si or GaAs), while 2D materials often demonstrate obvious advantages in the sub-3 nm thickness range, which is crucial for extending transistor scaling. The mobility of Si rapidly decreases with thickness below 5 nm, whereas the mobility of 2D materials is less dependent on thickness and significantly higher in this case. 2D transistors also exhibit much less subthreshold swing, which is important for continuously scaling the gate length to below 10 nm. Maintaining high electronic conductivity at the ultimate confinement level ( $< 1$  nm) may allow transistors with gate lengths less than 10 nm to be used, while still maintaining relatively low subthreshold swing and leakage current, which is difficult to achieve using silicon electronics, even with advanced FinFET designs. Thus, the application of atomically thin 2D materials paves the way for 5 nm technology nodes.

In classical theory, to determine the carrier density, generation and recombination coefficients, and other parameters, Poisson's equation and continuity equations are commonly used as the basic equations. For predicting the operational characteristics of field-effect transistors, diffusion-drift transport models with Boltzmann or Fermi-Dirac statistics may be applied. Accounting for the quantum potential of the barrier allows overcoming challenges in their validation when short-channel effects occur. It should be noted that so-called ballistic transistors have a characteristic energy level scheme with a controlled barrier. A small region (Fermi window) with ballistic conductivity is present. The channel current strength is determined according to Landauer's concept. Due to the absence of backscattering (the mean free path increases to the linear size of the channel), such transistors can have distinct characteristics. Additionally, a Schottky barrier forms between the metal electrode and the channel. This has long hindered the development of ballistic transistors. This problem has been successfully addressed by using palladium as the electrode material. Instrumentation software tools that can be used to model 2D FETs include packages such as Silvaco TCAD, Sentaurus TCAD, and others.

For the investigation of nano-sized transistor structures with a channel based on 2D material ( $\text{MoS}_2$ ,  $\text{WSe}_2$  et al.), online resources such as NanoHUB or NanoTCAD ViDES have been utilized. The modeling is

based on solving the systems of Poisson's and Schrödinger's equations within the framework of the Green's function non-equilibrium relation. To solve the Poisson equation, which relates charges and potentials inside the device channel, a three-dimensional problem is used. In this case, the mesh is constructed around each individual element (atom, ion) of the structure. The two-dimensional Schrödinger model determines the possibility of finding charge carriers in the channel cross-sections, and the transport itself is accounted for by a one-dimensional equation.

Ballistic transport can provide high velocities of charge carriers because they do not suffer delays due to scattering. This can lead to higher transistor performance (fig.1). Thus, ballistic transport can give a better result in modeling the operation of two-dimensional transistors compared to the carrier scattering model.

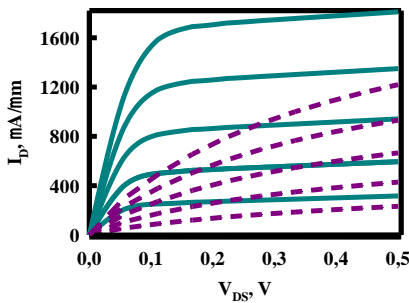


Fig.1. Output I-V characteristics of a MoS<sub>2</sub>-based channel transistor obtained with NanoHUB in the model with carrier scattering (dashed line) and ballistic transport (solid line)

However, it is important to note that in real devices, the ballistic mode of transport may be limited by various scattering mechanisms and imperfections such as background level, material defects, and other effects. Therefore, in some cases the carrier scattering model is still important to accurately describe transistor operation. Using the right combination of models can help achieve a more accurate understanding and prediction of the performance of 2D transistors.

## Вплив температури на параметри біполярних транзисторів як елементів електронних систем

Задорожний В.О., *студент*; Кудрявцев Д.В., *студент*;  
Ткаченко А.М., *студентка*; Лободюк О.С., *зав. лаб.*;  
Пушкар С.О., *аспірант*  
Сумський державний університет, Суми, Україна

Біполярні транзисторні структури широко використовуються в інтегральній електроніці як підсилювачі, генератори, перетворювачі сигналів, логічні елементи, перемикачі постійного, змінного або імпульсного струму. Структура біполярного транзистора (БТ) відрізняється від структури дискретного тим, що має спеціальні ізоляційні області для забезпечення умов його нормального функціонування в одному кристалі, який може налічувати порядку  $10^6$  біполярних транзисторів. Температурна залежність параметрів БТ, яку необхідно враховувати при конструюванні та експлуатації транзисторів обумовлена трьома фізичними факторами: зменшенням потенційних бар'єрів у переходах, збільшенням теплових струмів переходів і збільшенням коефіцієнтів передачі струмів з ростом температури.

У роботі показано, що характер впливу температури на вольт-амперні характеристики залежить від матеріалу і конструкції біполярних транзисторів. Аналіз вхідних та вихідних характеристик високочастотних біполярних транзисторів 2N2925 і BC547B вказує на те, що при роботі в схемі в загальним емітером зміна колекторної напруги від 0 до 15 В призводить до збільшення величини колекторного струму від 0 до 0,25 А. Установлено, що при зростанні температури від 5 до 60 °С та від 5 до 130 °С відповідно відбувається зменшення величини колекторного струму: для транзисторів типу 2N2925 від 87,0 до 80,5 мА (приблизно на 7,5% або 0,26 мА/град) та BC547 від 95,2 до 90,8 мА (приблизно на 4,7% або 0,18 мА/град), що пов'язано із зменшенням потенційних бар'єрів у переходах, збільшенням теплових струмів переходів та більш інтенсивними процесами інжекції носіїв заряду.

Робота виконана в рамках НДР № 0122U000785 (2022-2024 рр.).

**Керівник:** д.ф.-м.н., проф. Олександр Л.В.

## Системи відображення інформації на основі LED

Микитченко Д.О., *студент*; Мещерякова Д. С., *студентка*;  
Могилевський В.В., *студент*; Одноворець Л.В., *проф.*  
Сумський державний університет, Суми, Україна

Системи візуалізації та відображення інформації на основі світлодіодних елементів (LED) знайшли широке використання при аналізі та обробці інформації, моніторингу процесів виробництва та їх керування, перетворенні електричних сигналів в текстову, табличну та графічну інформацію [1, 2]. Їх висока швидкодія і функціональність дозволяють зробити оновлення інформації практично безперервним. До параметрів, які характеризують швидкодію систем та якість відображення, відносять: періодичність зміни інформації на екрані, швидкість поновлення інформації, час накопичення даних для відображення одного кадра, символіка і формат даних [2].

Проведені вимірювання вольт-амперних характеристик світлодіодів поверхневого монтажу SMD (від англ. Surface-mount-device), корпус яких представляє собою світлодіодний модуль, що використовується для встановлення світлодіодних чіпів на друковану плату. Установлено, що для SMD LED синього, блакитного, зеленого та білого кольорів світіння при зростанні напруги від 2,0 до 3,0 В прямий струм експоненціально зростає від 0 до 5,80 – 6,50 мА; для світлодіодів червоного та жовтого кольорів світіння збільшення напруги від 1,8 до 2,5 В призводить до зростання прямого струму від 0 до 2,70 мА, що говорить про більш високу чутливість параметрів (до 2,5 разів) до зміни напруги у LED червоного і жовтого кольорів світіння. З використанням симулятора Multisim 14.2. проведене моделювання схемотехнічних рішень для дослідження вольт-амперних характеристик світлодіодів та визначення залежності яскравості LED від зовнішньої напруги на p-n переході.

1. Jinmin Li., G. Q. Zhang. Light-Emitting Diodes Materials, Processes, Devices and Applications Springer. – Cham, 2019. – 600 p.
2. Gilbert H. Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications. - by Auerbach Publications, 2019. – 192 p.

## Використання датчиків руху в системах безпеки

Яковенко Т.К. *бакалавр*; Шумакова Н.І., *доцент*

Сумський державний університет

У житті людей інтелектуальні системи безпеки стають все більш важливим елементом для захисту майна та безпеки осіб. Для ефективного функціонування таких систем важливо мати надійні датчики, які забезпечують постійний моніторинг об'єкта та швидку реакцію на події. Одним із найпоширеніших компонентів таких систем є датчики руху. Вони реагують на рух в заданому просторі, реєструючи зміни в інфрачервоному випромінюванні або у сигналі ультразвуку. Для використання в інтелектуальних системах безпеки часто використовуються датчики руху на основі мікроконтролерів Arduino.

Найбільш широко використовуються у сучасних охоронних системах інфрачервоні датчики. Принцип їх роботи полягає у фіксації зміни теплового сигналу від об'єкту. Недоліком такого приладу є ймовірність помилкової фіксації сигналу від живих істот або теплових пристроїв. Ультразвуковий датчик моніторє оточуючий простір, використовуючи звукові хвилі, які миттєво реагують на появу стороннього предмету. Також датчик може спрацювати помилково, оскільки реагує тільки на різкі рухи. Мікрохвильовий пристрій виявляє об'єкт за допомогою електромагнітних хвиль, які відбиваються від об'єктів. Як тільки з'являються найменші зміни, спрацює закладена в прилад функція. Перевагами датчика є точність та компактність. Він не підпадає під вплив навколишнього середовища і може виявляти рухомі предмети навіть за незначними перешкодами. Комбінований тип включає в себе одночасно декілька функцій, наприклад, фіксацію інфрачервоного та мікрохвильового випромінювання. Підключення датчика руху можливе у будь-якому приміщенні та за його межами. Сфери застосування: автоматизація систем освітлення з метою економії коштів та забезпечення комфорту; охоронні системи - включення відеоспостереження; передача сигналу тривоги, інформування власника території про несанкціоноване проникнення.



## Ідентифікація та моніторинг елементів IoT в однорангових мережах

Холоденко А.С., студентка; Немцов В.А., студент;  
Тищенко К.В., к.ф.-м.н.

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Динамічний склад та топологія мереж в системах типу Інтернет речей (IoT) ставлять ряд вимог до проектування їх архітектури. Так, більшість традиційних топологій погано підходять для цієї задачі, оскільки містять центральний контролер, який виконує ідентифікацію вузлів та керує комунікацією у мережі.

Одним з найчастіше використовуваних підходів, що забезпечує загальну гнучкість системи, є організація однорангових мереж. За такої архітектури, кожен вузол може комунікувати з довільним іншим, не користуючись послугами центрального вузла. Масштабованість мережі забезпечується її самоорганізацією та ретрансляцією сигналу проміжними елементами, розширюючи площу покриття. Такий підхід дозволяє також забезпечити енергоефективність, оскільки застосовуються бездротові приймально-передавальні пристрої малої потужності і протоколи з малою надлишковістю даних. В IoT набули поширення такі протоколи малого радіусу дії, як *B.A.T.M.A.N.* (Better Approach To Mobile Adhoc Networking), OLSR (Optimized Link State Routing Protocol), LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) та RPL (Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks), кожен з яких має свої переваги і застосовується в залежності від масштабу мережі.

Особливе місце в однорангових мережах, за відсутності центрального вузла, займає ідентифікація пристроїв, найпоширенішими сьогодні є дві технології бездротової ідентифікації, а саме RFID та NFC. Технологія радіочастотної ідентифікації (RFID) використовує ідентифікацію та передачу даних на частотах 125 кГц і 13,56 МГц з радіусом дії від сантиметра до декількох метрів, в залежності від типу живлення передавача. NFC (*near field communication*) також передає дані з частотою 13,56 МГц, але має радіус дії лише кілька сантиметрів, що скоріше є плюсом технології з точки зору безпеки.

## Програмні системи візуального аналізу та обробки даних мікрознімків з використанням ImageJ

Кривоус Д.В. *студент*; Логвинов А.М., *асистент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В останні десятиліття спостерігається стрімкий розвиток методів обробки та аналізу зображень в наукових дослідженнях. Особливо важливим питанням стає використання програмних засобів для візуального аналізу даних мікрознімків у матеріалознавстві, біології, медицині та інших галузях. У цьому контексті саме програма ImageJ є потужним інструментом завдяки своїй безкоштовності, відкритості для модифікацій та великій спільноті користувачів.

Програма має інтуїтивний інтерфейс, що дозволяє швидко оволодіти основними функціями. Завдяки ImageJ можна виконувати різноманітні операції з обробки та аналізу зображень мікрознімків. Серед них фільтрація для покращення якості зображення, сегментація для виділення окремих об'єктів або структур, вимірювання параметрів об'єктів та візуалізація отриманих даних. Окрім стандартних функцій, ImageJ можна розширювати за допомогою різноманітних плагінів. Вони дозволяють виконувати спеціалізовані завдання, такі як тривимірна реконструкція зображень, автоматизований аналіз даних або використання розширених алгоритмів обробки.

Завдяки широкому спектру функцій, ImageJ стає незамінним помічником у наукових дослідженнях. Його практичність використання в різних галузях дозволяє науковцям ефективно аналізувати та обробляти дані, що відкриває нові можливості для наукового прогресу. Програма використовується для вивчення мікроструктури матеріалів, аналізу клітинних структур, дослідження морфометрії тканин та багатьох інших цілей.

Використання програми ImageJ відкриває широкі можливості для візуального аналізу та обробки даних мікрознімків у наукових дослідженнях. Подальший розвиток програмних систем з використанням цього інструменту сприятиме швидкому та точному аналізу зображень, що відкриває нові перспективи для досліджень у різних галузях науки.

## Fiber-Optic Strain Sensors In Control And Diagnostic Of Electronic Systems

Symonenko M.H., *student*; Tolstikov D.I., *postgraduate*;  
Odnodvorets L.V., *professor*  
Sumy State University, Sumy, Ukraine

To ensure safe functioning of buildings, bridges, tunnels and other structures, it is necessary carry out constant monitoring of their condition, i.e. measure voltages, loads, vibrations of structures and materials, changes in their temperature, etc. Recently, for For these purposes, fiber-optic sensors are actively used (see, for example, [1]). Such sensors have high durability to harmful environmental influences; small dimensions and weight; high mechanical strength; resistance to elevated temperatures, vibrations, etc.; high data transfer speed. Additionally, they are chemically inert and have a simple design and high reliability.

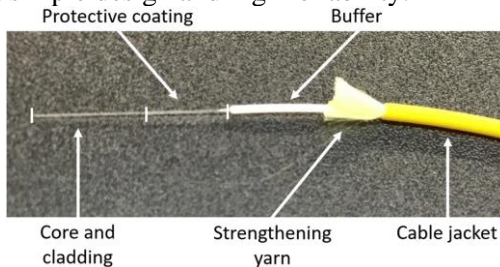


Fig.1. Fiber-optic sensor [1]

Some fiber optic sensors can be used in situations where whose electronic devices either cannot be used at all, or such use accompanied by significant difficulties and costs: for example, measuring temperature in high-voltage electrical apparatus such as alternating current generators, transformers; measurement of current and voltage in high-voltage power lines; quickly measure the temperature in hard-to-reach places.

1. [Bradley Forbes](#), [Nicholas Vlachopoulos](#), [Andrew J. Hyett](#), The application of distributed optical strain sensing to measure the strain distribution of ground support members // *Facets*. – 2018. – V.3, №1. <https://doi.org/10.1139/facets-2017-0093>

## Sensors In Medical And Sports Electronics

Lukavenko I.M., *PhD, Ass.Prof.*; Matuznii V.M., *student*;  
Fatiushin V.V., *student*

Sumy State University, Sumy, Ukraine

Sensors in medicine and sports play an important role in the selection and wide range of physiological parameters of humans. They allow you to monitor your health, detect health, and provide doctors with the necessary information for diagnosis and treatment. They don't understand such functions. Transformation of physiological (electrical, mechanical or optical) signals that can be collected and analyzed by electronic devices. For example, pulse rate sensors use optical methods for measuring changes in light passed through the skin [1].

Sensors vibrate and record data about the physiological parameters of a person. It is possible to measure pulse, pressure, temperature, acidity in the blood and other indicators. The data can be recorded on a special device or sent to a computer for further analysis. Sensors can transmit data about the physiological parameters of the patient to other devices or systems. The collected data from the sensors is collected and analyzed by electronic devices. This can include filtering noise, calculating average values, identifying trends and identifying anomalies. The collected data can be presented to doctors in a manual form for diagnosis and decision making for treatment. In general, the basic principles of sensor operation in medical and sports electronics are related to the transformation of physiological signals, the vibration and recording of data, the transmission of data, their processing and analysis.

In medicine and sports, there are a variety of electronic devices and systems [1].

**Electrocardiography** (ECG). ECG is a device that is used to moderate the electrical activity of the heart. It consists of electrodes that are attached to the patient's skin, and electronics that record and analyze electrical signals from the heart. **Patient monitors** are used for continuous monitoring of important indicators of patient health, such as pulse, pressure, acidity, etc. You need to install sensors that measure the indicators and electronics that analyze and display the data. Patient monitors help doctors keep track of patients and respond to changes in real time. **X-ray machines and scanners**

are used to capture images of the internal organs and tissues of patients. They include electronics that generate x-ray vibrations and other types of vibrations, and sensors that register vibrations that pass through the body and turn them into images.

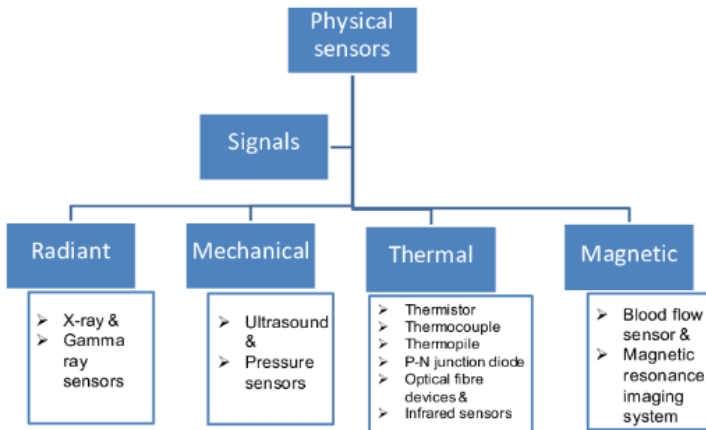


Fig.1. Classification of sensors

The use of electronics in medicine and sports has a number of advantages, which will significantly improve the ability to control the performance of athletes during training and provide more accurate diagnosis and treatment for patients. Electronic sensors allow continuous monitoring of the patient in real time. You can quickly identify any changes in your health and live your daily life. Electronic medical and sports systems are compact and portable, making them handy and comfortable for people.

Mobile devices such as smart phones, fitness bracelets and heart rate monitors are becoming increasingly popular. There are various sensors that can monitor pulse, pressure, acidity in the blood and other indicators of health. Biosensors are devices that can detect and suppress biological signals and speech in the body.

1. Roberto De Fazio, Vincenzo Mariano Mastronardi, Massimo De Vittorio·Paolo Visconti, Sensors and Smart Devices to Monitor Rehabilitation Parameters and Sports Performance: An Overview // Sensors. – 2023. – V.23, Iss.4. – P. 10.3390/s23041856.

## Холодно-плазмовий метод в ЛОР-хірургії

Хижня Я.В., *к.мед.н., доцент*; Лищенко О.В., *студент*;  
Виходцева Т.О., *студентка*; Виходцева А.О., *студентка*

Сумський державний університет, Суми, Україна

Холодно-плазмовий метод (кобляція) широко застосовується в ЛОР-хірургії. При кобляції використовують плазму температурою до 70° С, за дією цей метод схожий на плазмову коагуляцію. Кобляція – це принципово новий високочастотний метод біполярного електрохірургічного впливу, що заснований на формуванні в штучно створюваної рідкому середовищі області холодної плазми, в якій створюється висока концентрація іонізованих частинок. Ці частинки бомбардують навколишні молекули біологічної тканини і руйнують молекулярні зв'язки, розбиваючи молекулу на вільні радикали, які в результаті змішуються у вигляді газоподібним чи рідким субстанції і видаляються з області впливу [1].

Хірургічний коблатор – це електронна система, яка дозволяє проводити розсічення та видалення тканин за допомогою вузькофокусованої хмари натрієвої плазми (50-100 мкм) при температурі нижче 55 °С.

Коблатор виконує ряд функцій: плазмове різання, абляція та коагуляція; відсутність карбонізації; виявлення імпедансу; контрольована потужність; технологія автоматичного контролю енергоспоживання; система контролю глибини термічного пошкодження; контроль витоку струму; функція пам'яті для запам'ятовування останньої вибраної настройки потужності; оптимізований вибір режиму роботи; автоматичні розпізнавання електродів та аксесуарів; водонепроникна панель керування.

Ця методика може вважатись універсальною, високоефективною та безпечною. Вона вивела ЛОР-хірургію на якісно новий рівень полегшивши роботу отоларингологів. Електричний струм утворює плазму у розчині електроліта, використання плазми створює можливість дозування впливу.

1. Anirban Dey, Prasad Rasane, Cold Plasma Processing: A review // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research 9(4). – 2016. – P.2981-2984.

## **СЕКЦІЯ 2**

**«Електронні системи, прилади і засоби  
кодування інформації»**

## Підвищення швидкості складання двійкових біноміальних чисел

Шевченко М.С., *асистент*; Кулик І.А., *доцент*;  
Забуга А.О., *ТК-01, студент*  
Сумський державний університет, Суми, Україна

Існуючий алгоритм біноміального арифметичного складання будується на основі матричних моделей двійкових біноміальних чисел та матриці підсумовування вагових коефіцієнтів. Він містить нескладні операції та достатньо просто реалізується на практиці, але негативним фактором його застосування є невелика швидкодія. Тому актуальним є завдання збільшення швидкості виконання операції біноміального арифметичного складання, що у підсумку буде сприяти підвищенню продуктивності інформаційно-комунікаційних технологій з обробки даних, в основі яких покладені двійкові біноміальні системи числення.

Однією з витратних операцій матричного алгоритму біноміального арифметичного складання є пошук в  $(0,11\dots 1)$ -матриці додавання комірок  $(\alpha_s, \Delta_s)$ , якими можна оперувати для організації переносу з одного біноміального розряду до іншого під час формування результату біноміальної суми. Даний пошук відбувається серед комірок, значення параметрів яких задовольняють умові:

$$((0 \leq \alpha_s \leq \alpha_t - 1) \wedge (0 \leq \Delta_s \leq \Delta_t + 1)) \vee ((\alpha_t \leq \alpha_s \leq k) \wedge (0 \leq \Delta_s \leq \Delta_t - 1)),$$

де  $\alpha_s$  і  $\Delta_s$  – параметри перетвореної комірки;  $\alpha_t$  і  $\Delta_t$  – параметри комірки, яка бере участь у формуванні одиничної строки або підстроки  $(0,11\dots 1)$ -матриці складання. Недоліком такої операції є вимушеність провадити пошук не тільки серед одиничних комірок  $(\alpha_t, \Delta_t)$  матриці складання, але й серед нульових, тобто таких, за якими відсутні сформовані біноміальні коефіцієнти.

Щоб знизити час виконання операції арифметичного додавання двійкових біноміальних чисел пропонується перейти від двомірної матричної моделі біноміального складання до одновірної у вигляді динамічного масиву, в якому будуть розміщуватися тільки наявні біноміальні та/або вже сформовані вагові коефіцієнти. Тоді пошук затребуваних елементів  $(\alpha_s, \Delta_s)$  буде здійснюватися тільки серед вже існуючих, які містяться в динамічному масиві, що значно скоротить тривалість знаходження необхідних біноміальних коефіцієнтів.



## Двонаправлений спосіб стиснення інформації на основі двійкових біноміальних чисел

Кулик І.А., доцент; Гермес М.О., аспірант;  
Растворцев Л.Д., ЕС.м-31, студент

Сумський державний університет, Суми, Україна

Стиснення двійкової інформації на основі біноміальних чисел має досить значну перспективу внаслідок великої швидкодії проведення операції та простоти реалізації. При цьому можливим є постійний контроль за правильністю інформаційних перетворень та забезпечення певного рівня завадостійкості стиснутих повідомлень. Хоча коефіцієнти стиснення, які отримуються при застосуванні двійкових біноміальних чисел, характеризуються достатньо високими значеннями, але завжди актуальним буде завдання підвищення ступеню інформаційного стиску при збереженні необхідної швидкодії.

Стиснення кодових  $n$ -розрядних послідовностей загального виду при відомих значеннях числа  $k$  одиниць базується на системах кодоутворюючих обмежень:

$$((l = n - k) \wedge (x_r = 0)) \vee ((q = k) \wedge (x_r = 1)),$$

де  $l, q$  – числа двійкових нулів і одиниць відповідно;  $x_r, r$  – значення останнього справа розряду і довжина двійкового біноміального числа відповідно. До отриманих біноміальних чисел, що відповідають вихідним послідовностям, додається службове слово  $\text{Bin } k$  для однозначного відновлення, розрядність якого складає  $\lceil \log_2(n + 1) \rceil$ . Економічне представлення за допомогою двійкових біноміальних чисел обумовлене тим, що у багатьох випадках  $r + \lceil \log_2(n + 1) \rceil < n$ .

Але можна спостерігати, що при  $k \leq n/2$  стиснення є помітним, якщо двійкові одиниці зосереджуються у лівій старшій частині інформаційної послідовності, і, навпаки, для випадку, коли  $k > n/2$ , у правій частині. Врахування цього факту шляхом стиснення через ліву старшу частину вихідної комбінації, а не тільки праву молодшу, як це було раніше, дозволить підвищити коефіцієнт стиснення. Очевидно, що до службового слова  $S_w = \text{Bin } k + d$  додається додатковий розряд, значення якого буде означати напрям стиснення на основі двійкових біноміальних чисел, наприклад,  $d = 1$  справа або  $d = 0$  зліва.

## Порівняльний аналіз рівноважних та квазірівноважних кодів

Кулик І.А., доцент; Шевченко М.С., асистент;  
Супрун М.М., ТК-11, студент  
Сумський державний університет, Суми, Україна

Рівноважні коди широко використовуються в телекомунікаційних системах та мережах для забезпечення завадостійкості передачі даних та відмовостійкості роботи цифрової апаратури. Особливу ефективність вони мають при застосуванні для передачі в асиметричних каналах зв'язку, в яких ймовірність помилкового переходу виду  $1 \rightarrow 0$  або  $0 \rightarrow 1$  суттєво перевищує зворотний. До негативних факторів рівноважного кодування відносяться, по-перше, складність формування кодових комбінацій, а, по-друге, відносна невелика інформаційна потужність рівноважного коду.

Виходячи з того, що в основі структури рівноважних кодів знаходяться двійкові біноміальні числа, то завдання генерування рівноважних комбінацій достатньо ефективно і просто вирішується із застосуванням двійкових біноміальних систем числення. Для усунення другого недоліку пропонується за виправданих обставин перехід від множини  $Y[n, k]$  рівноважних  $n$ -розрядних комбінацій з числом  $k$  одиниць до множини  $Y[n-1, k, k-1]$  квазірівноважних комбінацій, які мають вже дві позиції кількостей двійкових одиниць –  $k$  та  $k-1$ . Квазірівноважний код виду  $Y[n-1, k, k-1]$ , з одного боку, при меншій розрядності має таку ж саму інформаційну потужність, тобто кількість кодових комбінацій, що і рівноважний код  $Y[n, k]$ , а з другого боку, при відносно великих значеннях  $n$  має ступінь завадостійкості дуже близький до завадостійкості рівноважного коду  $Y[n, k]$ . Очевидно, при збереженні довжини  $n$  комбінацій квазірівноважний код буде більш інформаційно потужним, чим відповідний йому рівноважний  $Y[n, k]$ . Крім того, наявність декількох кількостей двійкових одиниць дозволяє йому бути адаптивним шляхом зміни помилковиявляючої здатності відповідно до вибору значень  $k$  та  $k-1$ .

Вибір між квазірівноважним та рівноважним кодами залежить від потреб самої телекомунікаційної системи. Необхідно при цьому враховувати помилковиявляючу здатність кодів, їх інформаційну потужність та обсяг апаратно-програмних витрат при генеруванні.

## Генерування рівноважних кодів на основі біноміального арифметичного складання

Шевченко М.С., асистент; Кулик І.А., доцент;  
Садовничий С.О., ЕС.м-31, студент  
Сумський державний університет, Суми, Україна

Рівноважні коди  $Y[n, k]$  представляють собою клас нероздільних кодів, помилковиявляюча здатність яких полягає у контролі постійного значення числа  $k$  двійкових одиниць в  $n$ -розрядних кодових комбінаціях. Одним з недоліків рівноважних кодів є складність їх формування, що призводить до суттєвих витрат при практичній реалізації пристроїв або програмного забезпечення генерування кодів.

Сучасні методи генерування рівноважних кодів будуються на застосуванні двійкових біноміальних чисел  $X_j$ , які лежать в основі структури кодів з постійною вагою  $Y[n, k]$ . Відповідно, спочатку формуються двійкові  $(n, k)$ -біноміальні числа  $X_j = x_1x_2\dots x_r$ ,  $r < n$ , з параметрами  $n$  і  $k$  згідно систем кодоутворюючих обмежень:

$$((l = n - k) \wedge (x_r = 0)) \vee ((q = k) \wedge (x_r = 1)),$$

де  $l, q$  – числа двійкових нулів і одиниць відповідно,  $j = 1, 2, \dots, C_n^k$ .

Далі, до останнього розряду  $x_r$  двійкового біноміального числа  $X_j$  додаються серія одиниць, якщо  $x_r = 0$ , або нулів, якщо  $x_r = 1$ , поки загальна кількість розрядів рівноважної комбінації  $Y_j$  не буде дорівнювати  $n$ . Даний метод характеризується регулярністю й достатньо просто масштабується на інші значення  $n$ . Але зі збільшенням кількості розрядів  $n$  потребуються все більше і більше апаратно-програмних та часових витрат. Крім того, не має змоги формувати рівноважний код  $Y[n, k]$  із заданим кроком, що суттєво обмежує функціональні можливості систем рівноважного кодування.

Перспективним напрямом розвитку методу генерування рівноважних кодів із застосуванням біноміальних систем числення є використання біноміального арифметичного складання, коли до одного двійкового біноміального числа  $X_1$ , яке є вихідним, додається інше біноміальне число  $X_2$ , яке є кроком, з метою отримання біноміальної суми  $X_3 = X_1 + X_2$ , на базі якої формуються наступна генерована рівноважна комбінація  $Y_j \in Y[n, k]$ .

## Переваги перешкодостійких площинних кодів

Кулик І.А., доцент, Шевченко М.С., асистент;  
Церковицька К.А., ТК-31, студент

Сумський державний університет, Суми, Україна

Важливою складовою багатьох інформаційно-комунікаційних технологій є методи забезпечення завадостійкості оброблюваної інформації. Тому завжди актуальним є питання впровадження нових підходів до формування перешкодостійких кодів з метою підвищення ефективності різноманітних телекомунікаційних систем та мереж.

Перспективним для збільшення вірності передачі даних є застосування методів комбінаторного кодування, зокрема площинного кодування. Простота формування площинних кодів та виявлення помилок в них, достатньо велика помилковиявляюча здатність при незначній кількості перевірочних розрядів, адаптивні властивості до рівня завад в каналі зв'язку – це ті позитивні фактори, що обумовлюють поширене використання площинних кодів для передачі даних. Адаптивний механізм площинного кодування полягає в зміні охоплення кількості інформаційних розрядів перевіркою комбінаторною частиною коду в залежності від затребуваних вимог щодо рівнів вірності повідомлень та швидкості передачі інформації.

Для збільшення ефективності застосування площинних кодів та підсилення адаптивних властивостей систем передачі даних, що їх використовують, пропонується застосовувати сумісно з площинним кодуванням методи формування інших завадостійких кодів, зокрема рівноважних, квазірівноважних або біноміальних. Перелічені коди також будуються за комбінаторними принципами, тому їх впровадження у систему площинного кодування не призводить до додаткових апаратно-програмних витрат.

Вищенаведений підхід надає більше можливостей щодо точнішого та економічного підлаштування під рівень завад у каналі зв'язку та розширить клас помилок, які будуть виявлятися в інформаційних послідовностях. Також, з урахуванням того, що в структурі багатьох комбінаторних кодів містяться біноміальні числа, можливим є проведення додаткових обчислювальних процедур з обробки даних, наприклад арифметичних дій, порівняння кодових комбінацій тощо.

## **Бортовий модуль контролю і управління автомобілем на основі Arduino**

Кулик І.А., доцент, Шевченко М.С., асистент;  
Киричко С.В., ЕС-01, студент

Сумський державний університет, Суми, Україна

На сьогоднішній день актуальним є питання підвищення відмовостійкості, якості та багатofункціональності управління транспортними засобами, зокрема автомобілем. З цією метою пропонується до розгляду проектування та впровадження бортового модуля для контролю і управління автомобілем на базі поширеної платформи Arduino. Застосований модуль є спеціально адаптованим для використання з k-line шинами, які є стандартом у багатьох бюджетних та старих моделях автомобілів. Головними завданнями використання модуля для контролю і управління автомобілем на базі платформи Arduino є забезпечення підключення до шин автомобіля, здійснення моніторингу показань датчиків, можливість скидання помилок та ряд інших необхідних операцій для якісного управління.

Принцип роботи бортового модуля для контролю і управління автомобілем на базі платформи Arduino полягає у взаємодії з k-line шинами автомобіля для отримання даних від різних систем транспортного засобу. Bluetooth модуль HC-05 призначений для зв'язку з ELM сканером. Бортовий модуль для контролю і управління автомобілем на базі платформи Arduino попередньо програмується для налагодження з'єднання з ELM, що дозволяє отримувати дані від електронного блока управління автомобіля.

Для встановлення з'єднання та можливості отримання інформації від електронного блока управління автомобіля, бортовий комп'ютер повинен надіслати наступні команди: ATZ, ATSP5, ATSH8110F1, ATFI, 2101. Після отримання відповіді від ELM у вигляді рядка даних у шістнадцятковій системі числення Bluetooth модуль HC-05 передає ці дані на блок управління. Платформа Arduino, в свою чергу, декодує рядок даних, перетворює його у десяткову систему числення та виводить на екран LCD 1602. Цей процес повторюється з максимальною швидкістю, щоб забезпечити мінімальну затримку та миттєвий доступ до інформації щодо стану керованого автомобіля.

## **Chat GPT: принципи роботи, ризики та цінності**

Радько Д.Ю., *ЕС.м-31, студент*; Кулик І.А., *доцент*  
Сумський державний університет, Суми, Україна

Chat GPT – це велика мовна модель, створена на базі технологій штучного інтелекту та навчена за допомогою керованого та підсилювального навчання, яка може спілкуватися з людьми різними мовами та на різні теми. Штучний інтелект являє собою галузь науки та технології, що зосереджується на розробці програм та машин, здатних імітувати інтелектуальну діяльність людини, таку як мовлення, навчання та розв'язання проблем.

Бот Chat GPT, використовуючи штучний інтелект, дозволяє генерувати текстову інформацію, яка є структурованою і відображує у якісному форматі контент, фактаж і дискусію щодо затребуваної проблеми. Чат-бот може генерувати студентські роботи, такі як курсові та кваліфікаційні роботи, а також відповіді на іспитові білети. Це негативно впливає на самостійність виконання здобувачами освіти індивідуальних завдань, що потребує переосмислення освітнього процесу та критеріїв оцінювання його провадження. Таким чином, окрім нерелевантності відповідей чи неправдивості даних, однією із найбільших загроз є недоброчесна поведінка.

На думку експертів Chat GPT вже впливає на попит фахівців, що займаються інформаційними технологіями. Не зважаючи на усі перестороги щодо штучного інтелекту, він вже став принципово новим інструментом для осучаснення та підвищення якості освіти. Нейромережі можуть стати цінними помічниками, заощадивши час та зусилля на рутинну роботу як у навчанні, так і в професійній діяльності. Chat GPT у вищій освіті може бути корисним для пошуку першоджерел, підбору фактичного матеріалу для статей і лекцій, здійснювати аналітичне представлення інформації.

Очевидно, що не варто відмовлятися від засобів та технологій штучного інтелекту, які дозволяють зосередитись на головному в освітньому процесі, можуть спростити професійну діяльність в електронній інженерії та телекомунікаціях, покращити якість проєктів. Але, працюючи з цими інструментами, необхідно слідувати трьома ціннісними критеріям – чесності, обережності та відповідальності.

## Електроніка для економічного опалення будинку

Новгородцев А.І., *доцент*; Шевцов Б.В., *студент гр. ЕС-01*  
Сумський державний університет, м. Суми

Для опалення невеликого дерев'яного будинку площею 50-60 кв. метрів, можна застосовувати комбіновану систему, що складається з недорогої газогенераторної пічки та набору електроконверторів або інфраревоних обігрівачів - по одному в кожен кімнату. Електронагрівачі можна використовувати для підтримки температури вночі або в інший час, коли піч не використовується.

Відповідно до розрахунків на 1м<sup>2</sup> опалювальної площі необхідно 100W енергії. Таким чином, на опалення будинку 50м<sup>2</sup> потрібно 5000W. За місяць виходить дуже велика сума.

Для підтримання заданої температури за допомогою терморегуляторів, розташованих у кожній кімнаті, можна вийти на режим, коли система обігріву включатиметься лише на кілька хвилин. Але при цьому виникає проблема. Пікове навантаження такої системи складе 5000W. Може вийти так, що пікове навантаження на мережу перевищить допустиме значення виділеної для будинку потужності.

Щоб уникнути перевантаження мережі, пропонується не включати всі обігрівачі одночасно. У кожній кімнаті встановлений електрообігрівач, підключений через встановлений терморегулятор, який розташований на протилежній стіні від місця нагрівача.

Логічний блок для терморегуляторів загальний на весь будинок. Він послідовно перемикає виходи терморегуляторів, виключаючи можливість їхнього одночасного включення.

Стан управління кожного нагрівача також можна змінювати. Існує три режими роботи нагрівача «завжди», «черга» та «вимкнути». У положенні "завжди" на роботу даного терморегулятора таймер ніяк не впливає. Це приміщення отримує позачерговий обігрів. У положенні "черга" терморегулятор включиться згідно з черговістю, яку створює таймер. У положенні "викл." - цей терморегулятор, а разом з ним і нагрівач, вимкнено.

У терморегуляторі передбачена гальванічна розв'язка із мережею. Його можна використовувати і у приміщеннях з підвищеною вологістю. Терморегулятор можна налаштувати на підтримку температури в межах від 0 до 70<sup>0</sup>C з похибкою не більше 2 градусів.

## Плавний старт імпульсного стабілізатора з ШІМ

Новгородцев А.І., доцент; Серета І. М., студент гр. ЕС-01

Сумський державний університет, м. Суми

Імпульсний стабілізатор напруги в порівнянні з лінійним стабілізатором має менші втрати енергії на нагрівання регулюючого елемента, що підвищує ККД стабілізатора і дозволяє застосовувати регулюючий елемент меншої потужності, а радіатор - менших розмірів та маси.

Імпульсний стабілізатор напруги є системою автоматичного регулювання. Параметром для контуру регулювання служить опорна напруга, яка порівнюється з вихідною напругою стабілізатора. Залежно від сигналу неузгодженості пристрій керування змінює співвідношення тривалостей відкритого та закритого стану ключа.

За типом ланцюга управління розрізняють три схеми перетворювачів. З тригером Шмітта, з широтно-імпульсною модуляцією та з частотно-імпульсною модуляцією.

У перетворювачі з широтно-імпульсною модуляцією в процесі роботи накопичувач енергії або підключений до вхідної напруги, або передає накопичену енергію навантаженню. В результаті на виході є деяке середнє значення напруги, яке залежить від вхідної напруги та шпаруватості імпульсів керування ключем.

Компаратор на операційному підсилювачі порівнює вихідну напругу з опорною напругою та посилює різницю, яка надходить на модулятор. Якщо вихідна напруга менша за опорну, то модулятор збільшує відношення часу відкритого стану ключа до періоду тактового генератора. При зміні вхідної напруги або струму навантаження шпаруватість імпульсів керування ключем змінюється таким чином, щоб забезпечити мінімальну різницю між вихідною та опорною напругою.

Схема зібрана на основі традиційної напівмостової топології. Ця топологія ідеально підходить для подібних джерел живлення, тому



що в ній конструктивно обмежені сплески напруги на силових польових транзисторах, що дуже важливо для схем, які живляться безпосередньо напругою від мережі та розраховані на велику вихідну потужність.

Перетворювач напруги, який розглядається, побудований на основі ШІМ-контролера K1156EУ2. Для керування польовим транзистором верхнього плеча напівмоста, застосовано спеціалізований драйвер IR2125.

Контролер формує широтно-модульовані імпульси для відкриття силових ключів. Чим менше напруга на виході, тим більше часу силові ключі відкриті. У міру збільшення напруги ключі починають відкриватися на менший час. Власне це забезпечує стабілізацію вихідної напруги.

У схемі реалізовано захист від навантаження струмом, тобто обмеження максимально можливого вихідного струму. Це реалізовано за допомогою датчика струму. Якщо струм через силові польові транзистори перевищує певну величину, то напруга на ніжці 9 мікросхеми K1156EУ2 перевищує 1В, що призводить до закриття силових ключів і обмеження струму.

Для обмеження струму під час заряджання конденсаторів вихідного фільтра стабілізатора напруги, пропонується до виводу 8 ШІМ-контролера, під'єднати конденсатор, що забезпечує плавний старт. Максимально можливий час, на який відкриваються силові ключі на транзисторах IRFP540, поступово збільшується в міру зарядки цього конденсатора.

Напруга з виходу силових ключів згладжується LC- фільтром і надходить у навантаження. Якщо напруга на виході перевищить номінальну величину, то за рахунок зворотного зв'язку, генерація ШІМ перерветься. При зниженні напруги від номінальної величини, за тим же зворотним зв'язком, генерація відновиться. Частота роботи контролера ШІМ задається відповідними радіoeлементами R і C.

## Вплив відпалів на оптичні характеристики гетероструктури CZMTS/ZnO

Срмаков Максим, *аспірант*; Бойко Богдан, *аспірант*;  
Пшеничний Роман, *доцент*; Опанасюк Анатолій, *професор*  
Сумський державний університет, Суми, Україна

На цей час залишається актуальним пошук екологічно безпечних матеріалів для створення сонячних елементів (СЕ) на основі гетеропереходів. З цією метою в останні роки активно досліджуються сполука  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  яка є напівпровідником  $p$ -типу провідності з високим коефіцієнтом поглинання і шириною забороненої зони (ЗЗ) приблизно  $E_g = 1,5$  еВ. Вона є перспективною для використання як поглинальний шар тонкоплівкових СЕ. Проте через високу кількість дефектів в матеріалі ефективність СЕ на основі цієї сполуки є низькою. Для її підвищення розглядають можливість легування кестеритної сполуки різноманітними металами, такими як Mn, Fe, Mg. В якості віконного шару такого СЕ звичайно використовується ZnO, який має високу прозорість у видимому діапазоні, є хімічно стабільним, нетоксичним і містить широко розповсюджені та дешеві складові.

Гетероструктура CZMTS/ZnO була отримана методом спреї піролізу, в якості підкладки використане скло. При синтезі плівок CZMTS було взято відношення концентрації цинку до магнію 80% на 20%. Відпали отриманих структур проводилися у вакуумі при температурах  $T_a = 300, 400$  та  $500$  °C протягом години. Спектральні залежності коефіцієнту пропускання одержаних структур були виміряні у інтервалі довжин хвилі від 200 до 900 нм.

З використанням вимірних спектрів методом Тауца визначено значення ширини ЗЗ матеріалів. Встановлено, що для сполуки CZMTS значення  $E_g$  збільшується при збільшенні  $T_a$  від 1,24 еВ (невідпалений зразок) до 1,35 еВ ( $T_a = 500$  °C). Отже, змінюючи температуру відпалу можна керувати значенням ширини ЗЗ поглинального матеріалу СЕ. В свою чергу ширина ЗЗ шару ZnO майже не змінювалася при відпалах і коливалася в інтервалі від  $E_g = 3,21$  еВ до 3,24 еВ.

Таким чином, в даній роботі визначена залежність ширини ЗЗ матеріалів гетероструктури CZMTS/ZnO, придатної для застосування в геліоенергетиці, від температури відпалу.

## Лазерний відпал плівок ZnO легованих Cu: оптимізація процесу відпалів

Чудеса К.В., студентка; Васильєв В.Р., аспірант; Пшеничний Р.М.  
доцент; Опанасюк А.С., професор

Сумський державний університет, Суми

У сучасній електроніці та фотоніці плівки на основі оксиду цинку (ZnO) є об'єктом інтенсивного дослідження через широкі можливості застосування в різноманітних сферах, включаючи сонячні елементи, світлодіоди, лазери та сенсори. При цьому легування плівок ZnO домішками міді (Cu) відкриває нові можливості для контролю та покращення їхніх фізичних і оптичних властивостей. Однак для широкого використання плівок оксидів в геліоенергетиці та гнучкій електроніці потрібна розробка дешевих і технологічно простих методів. До таких методів відносяться спрей-піроліз, спін-коатинг, друк принтерами з використанням наночорнил, тощо. Однак плівки одержані хімічними методами звичайно мають низьку якість кристалічної структури та містять домішки, що входили у склад прекурсорів. Для покращення якості кристалічної структури матеріалу та видалення домішок в наш час широку розповсюдженість набули методи термічного і лазерного відпалу напівпровідників.

Метою даного дослідження було створення пристрою для лазерного відпалу плівок та вивчення його впливу на характеристики плівок ZnO, легованих міддю. Створений прилад містить лазер з регульованою потужністю випромінювання та систему його переміщення вдовж трьох осей координат.

Плівки ZnO з різним рівнем легування Cu були отримані методом спрей піролізу. Лазерний відпал проводився за допомогою Nd:YAG лазера з довжиною хвилі 532 нм при інтенсивності 8,5 МВт/см<sup>2</sup> та 11,5 МВт/см<sup>2</sup>. Для визначення структурних та оптичних характеристик плівок використані методи рентгенівської дифракції, раманівської та оптичної спектроскопії.

За результатами дослідження було встановлено, що лазерний відпал з інтенсивністю 8,5 МВт/см<sup>2</sup> сприяє активації домішки міді та поліпшенню кристалічної структури плівок. Роботи з оптимізації параметрів такого відпалу продовжуються.

## Дворежимне керування інжекційним струмом потужних лазерних діодів.

Лифар І.С., студент гр. ІН.М-31н; Д'яченко О.В. доцент

Сумський державний університет, Суми, Україна

Розширення асортименту потужних і доступних напівпровідникових лазерів, здатних одночасно виконувати як високоенергетичні, так і мікродеталізовані операції, сприяють зростанню популярності технологій лазерної обробки матеріалів. Для керування вихідною оптичною потужністю ( $P_{opt}$ ) лазерного діода (HPLD) у безперервному режимі (CW) широко застосовуються імпульсні або гібридні аналогово-імпульсні схеми стабілізації живлення. Такі прості рішення, хоча й забезпечують загалом високий ККД і зміну світлового потоку від 0% до 100%, але більш ефективні для роботи за номінальних струмів інжекції та не забезпечують оптимального керування на початковій ділянці. Область  $P_{opt}$  за струмів, близьких до порогового значення ( $I_{th}$ ), характеризується зниженням фокусування лазерного випромінювання, нелінійною залежністю, а також схильна, як і величина  $I_{th}$ , до впливу температури та має розкид значень навіть у екземплярів однієї серії.

Регулювання  $P_{opt}$  методом широтно-імпульсної модуляції (PWM) вільне від цих недоліків, але вимагає застосування діодів, які допускають роботу в імпульсному режимі (PW). Для забезпечення необхідної дискретності керування в широкому інтервалі  $P_{opt}$ , модуляція максимальними імпульсними струмами висуває жорсткі вимоги до динамічних характеристик джерел живлення, що ускладнює їхню практичну реалізацію.

Метою роботи є створення прототипу недорогого драйвера живлення лазера з комбінованим керуванням для зміни  $P_{opt}$  лазера в широкому динамічному діапазоні. Принцип роботи драйвера полягає в тому, щоб унеможливити роботу HPLD у нестабільній ділянці початку квантової генерації і водночас зберегти можливість регулювання  $P_{opt}$  від 0% до 100% із прийнятною експлуатаційною точністю. Для досягнення необхідної зміни струму інжекції послідовно використовувався CW або PW режим роботи HPLD.

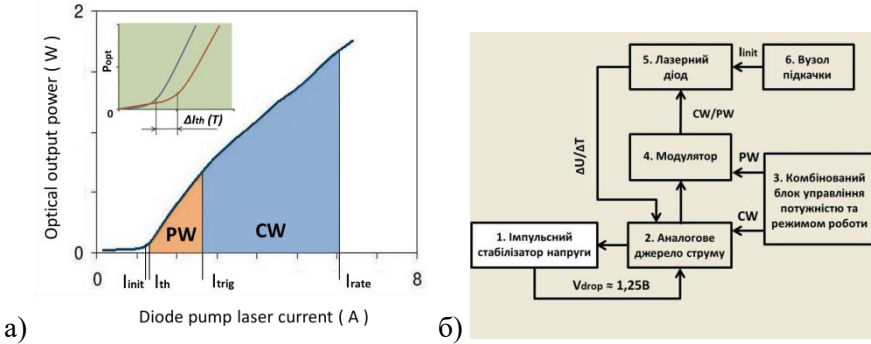


Рисунок 1. (а) Ват-амперна характеристика HPLD з позначенням режимів роботи, (б) структурна схема CW/PW драйвера живлення.

Безпосереднє керування аналоговим джерелом струму виконували в піддіапазоні CW,  $P_{opt}$  (100% — 30%), від номінального струму ( $I_{rate}$ ) до межі перемикання режимів ( $I_{trig}$ ), і для роботи в піддіапазоні PW  $P_{opt}$  (30% — 0%), PWM модуляція струму інжекції, що дорівнює  $I_{trig}$ , (рис. 1а). Структурну схему драйвера представлено на рис.1б. Застосування аналогового джерела струму на ОУ загального призначення дало змогу використовувати PWM до мікросекундного діапазону з оптимальним кроком регулювання і рівнем стабілізації струму імпульсів інжекції, а також простими методами термостабілізувати межі робочого інтервалу. Для поліпшення динамічних характеристик забезпечувався початковий струм комутації  $I_{init} \approx I_{th}$ . З метою зниження втрат лінійної стабілізації драйвер живився стежачим перетворювачем, який забезпечував плавний початковий пуск і підтримував падіння напруги на аналоговому джерелі струму  $V_{drop} \approx 1,25B$ .

Драйвер, розроблений за підтримки кафедри ЕКТ, використовує метод послідовного аналогово-імпульсного керування струмом інжекції та дає змогу, не знижуючи якості світлового потоку, керувати живленням HPLD у широкому діапазоні його вихідної оптичної потужності. Такий підхід розширює функціональність лазерних методів обробки матеріалів, а також буде корисний в наукових додатках, де потрібне точне дозування потужності від одного джерела лазерного випромінювання.

## Оптимізації оптичних та електричних характеристик гетероструктури ZnO/CuO

<sup>1</sup>Євдокименко В.Ю., *аспірант*; <sup>1</sup>Пшеничний Р.М., *доцент*;

<sup>1</sup>Опанасюк А.С., *професор*; <sup>2</sup>Гнатенко Ю.П., *професор*

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

<sup>2</sup>Інститут фізики НАН України, Київ

Оксиди металів мають високий потенціал для використання у сонячних елементах, сенсорах, газових детекторах і детекторах випромінювання. Їх характеристики, такі як структура енергетичних зон, термічна стабільність і низька вартість виробництва, роблять їх привабливими для широкого спектру застосувань. Двошарові структури n-ZnO/p-CuO, завдяки особливостям кристалічних ґраток оксидів, можуть бути використані для створення ефективних майже бездефектних гетеропереходів (ГП). При цьому необхідно здійснити орієнтований ріст шарів CuO на поверхні кристалів ZnO, поєднавши грань (100) CuO з гранню (101) ZnO.

ГП ZnO/CuO отримували розпиленням суспензій наночастинок на нагріту до 200 °С скляну підкладку. Оптичні властивості вивчали шляхом вимірювання спектрів поглинання структур.

Встановлено, що край поглинання в довгохвильовій області спектра поблизу 1,2 еВ, був зумовлений проявом дозволених непрямих переходів у CuO. Поглинання в короткохвильовій області спектра зумовлене проявом оптичних переходів, які пов'язані з прямими дозволеними переходами у матеріалі. На спектрі поглинання в області енергій (3,1-3,4) еВ також спостерігався край поглинання за рахунок прояву зонно-зонних переходів у ZnO. Поглинання, що з'являється в більш довгохвильовій області спектра, очевидно, пов'язане з поглинанням у перехідному шарі, утвореному між шарами CuO та ZnO.

Електричні вимірювання показали діодний характер вольт-амперної характеристики виготовлених ГП. Такі характеристики, очевидно, пов'язані з утворенням на гетеромежі перехідних шарів, що веде до покращення узгодження кристалічних ґраток контактуючих матеріалів. Отримані результати свідчать про можливість створення на основі ГП n-ZnO/p-CuO приладових структур для використання в сенсоричі, геліоенергетиці, гнучкій електроніці.

## Вплив легування Cu на ширину забороненої зони плівок ZnO для потреб сонячної енергетики

Бойко Богдан, *аспірант*; Єрмаков Максим, *аспірант*; Пшеничний Роман, *доцент*; Опанасюк Анатолій, *професор*; Лопатін Дмитро, *студент гр. ЕС.м-31*

Сумський державний університет, Суми, Україна

Оксид цинку (ZnO) є одним з найперспективніших матеріалів електроніки завдяки своїм унікальним оптичним і електричним властивостям, високій хімічній і механічній стабільності та поширеності в природі. Це робить його більш доступним і економічно вигідним, ніж інші прозорі провідні оксидні матеріали. Завдяки цим перевагам плівки ZnO широко використовуються як прозорі провідні електроди в таких галузях, як сонячна енергетика, виробництво рідкокристалічних дисплеїв, створення тепловідбивних поверхонь тощо. Нажаль, електричні характеристики ZnO є нестабільними у часі. Для їх покращення матеріал часто легують домішками, такими як Ag та Cu.

Метою дослідження було встановлення впливу легування ZnO міддю на оптичні характеристики плівок.

Тонкі шари легованого матеріалу були отримані методом спреї-піролізу молекулярних розчинів. В якості прекурсорів використано водні розчини  $Zn(CH_3COO)_2$  та  $CuCl_2$ . Після цього отримані розчини змішувалися у відповідних пропорціях. В результаті одержували прозорі молекулярні розчини з вмістом міді по відношенню до цинку 0, 1, 3, 5 та 7 %. Дослідження пропускання та відбивання отриманих зразків проводилося на приладі SPECORD 210 PLUS UV/Vis Spectrophotometer на довжинах хвиль від 300 до 900 нм.

Встановлено, що плівки мали однофазну гексагональну структуру та високий коефіцієнт пропускання світла, який сягав  $T = (74-87) \%$ , в той час як коефіцієнт відбиття не перевищував  $R = (7-13) \%$ . З'ясовано, що введення Cu веде до зменшення  $T$  та деякого збільшення  $R$ . Результати вимірювання аналізувалися за допомогою апроксимаційного методу Тауца. В результаті аналізу було встановлено, що значення забороненої зони матеріалу змінюється від інтервалі від 3,28 eV до 3,26 eV.

Отримані результати свідчать, що іони міді успішно впроваджуються в кристалічну решітку ZnO, викликаючи зміни в електронній структурі та оптичних характеристиках матеріалу.

## Властивості раманівських спектрів полікристалічний плівок CdZnTeSe

Лісовенко О. І., аспірант; Знаменщиков Я. В., докторант; Пащенко  
М. В., аспірант

Д'яченко О. В., доцент; Опанасюк А. С., професор

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Чотирьохкомпонентна сполука  $Cd_{1-x}Zn_xTe_{1-y}Se_y$  (CZTS) досліджується як потенційний матеріал для створення детекторів іонізуючого випромінювання, що працюють при кімнатній температурі. Цей матеріал може замінити традиційні CdTe та CdZnTe, які використовуються в даний час для таких детекторів [1]. Проте, недоліки зазначених матеріалів, такі як низька продуктивність детектора через наявність дефектів на межах зерен, включеннями Te та преципітатами, підштовхують до пошуку альтернативних рішень.

Плівки CZTS були нанесені методом вакуумного термічного випаровування в квазізамкненому об'ємі (CSV) [2] на скляні підкладки. Для вирощування плівок CZTS використовували суміш порошків CdTe, ZnTe і CdSe у загальній масі 100 мг. Контроль концентрації Zn і Se в плівках CZTS здійснювали шляхом зміни масового співвідношення між порошками телуриду кадмію, телуриду цинку та селеніду кадмію. Умови вирощування були наступні: температура підкладки у змінювалася діапазоні від 350 до 400 °С, температура випарника складала 650 °С. Товщина плівки контролювалася шляхом контролю маси вихідного порошку та тривалості осадження.

Раманівські спектри плівок CZTS, отримані за кімнатної температури та з використанням збуджуючого лазерного випромінювання з довжиною хвилі 785 нм, наведені на рисунку 1. Найбільш інтенсивний пік, що спостерігався при  $162\text{ см}^{-1}$ , пов'язаний з модою  $LO_1(\text{CdTe})$ . Крім того, на спектрах можна виявити фонони другого та третього порядку  $LO_1(\text{CdTe})$ , що свідчить про високу кристалічну якість досліджених зразків.

Раманівські спектри зразків CZTS повинні включати піки моди  $LO_2(\text{ZnTe})$  при  $177\text{ см}^{-1}$ . Однак ці моди не чітко видно на спектрах, що може бути викликано його низькою інтенсивністю через низьку концентрацію цинку та рівнем шуму.



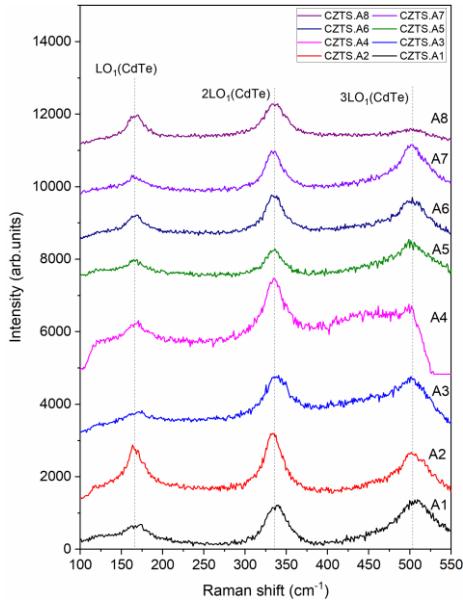


Рис. 1. Раманівські спектри зразків CZTS.A1 – CZTS. A8, виміряні при збудженні 785 нм.

У результаті раманівських досліджень полікристалічних плівок CZTS було встановлено, що отримані плівки є однофазними, не містять вторинних фаз, таких як CdTe, ZnTe і Te. Про це свідчить наявність на раманівських спектрах лише піків від CdTe-подібних фононних мод, а також відсутність піків, положення яких відповідає чистим сполукам.

1. S. del Sordo, L. Abbene, E. Caroli, A. M. Mancini, A. Zappettini, and P. Ubertini, “Progress in the development of CdTe and CdZnTe semiconductor radiation detectors for astrophysical and medical applications,” *Sensors*, vol. 9, no. 5, pp. 3491–3526, 2009
2. Y. P. Gnatenko, P. M. Bukivskij, I. O. Faryna, A. S. Opanasyuk, and M. M. Ivashchenko, “Photoluminescence of high optical quality CdSe thin films deposited by close-spaced vacuum sublimation,” *J. Lumin.*, vol. 146, pp. 174–177, Feb.

## **2D сканер для комбінованого лазерного відпалу тонких плівок широкозонних матеріалів**

Черноус Я.В., студент гр. ЕС-01; Лифар С.І., аспірант; Опанасюк  
А.С., професор

Сумський державний університет, Суми, Україна

Вимоги до інтенсифікації етапу відпалу тонкоплівкових об'єктів у виробництві гнучких і прозорих елементів електроніки, сенсоріки, оптоелектроніки та приладів для геліоенергетики призвели до пошуку нових рішень цієї проблеми. Багатообіцяючою стратегією термічної обробки є вплив на цільові матеріали інтенсивними імпульсами електромагнітних хвиль в оптичному спектральному діапазоні. Такий підхід дозволяє на порядок зменшити час відпалу, водночас ефективно стимулюючи рекристалізацію, завершуючи фазові перетворення та сприяє видаленню вторинних продуктів і домішок із плівок.

Імпульсний режим дає змогу дозувати в широкому діапазоні енергію світлового потоку, але висока швидкість кристалізації матеріалу призводить до появи внутрішніх напружень. Цей фактор веде до поступового погіршення якості матеріалів, що збільшує швидкість деградації активних шарів пристроїв.

Використання як джерела світла імпульсного лазерного випромінювання з тривалістю імпульсу  $t_i \sim 10^{-8} - 10^{-13}$  с сприяє диференціальному поглинанию енергії функціональними шарами і дає змогу знизити розтягувальні напруги в процесі перекристалізації плівок. Однак вимоги до точності сканування і застосування дорогих газових і твердотільних лазерів, що працюють у дальньому і середньому UV діапазонах (120-315 нм) для відпалу матеріалів, стримують масове впровадження цієї технології.

Метою дослідження є розробка лабораторного 2D сканера для комбінованого відпалу тонкоплівкових об'єктів прямим термічним і лазерно-індукованим нагріванням. Для реалізації комбінованого відпалу було застосовано два джерела теплової енергії (рис.1а). Прямий термічний нагрів здійснювався виготовленим міканітовим малоінерційним нагрівачем, а для лазерно-індукованого нагріву

застосовано джерело когерентного електромагнітного випромінювання - напівпровідниковий лазер ( $\lambda = 450$  нм).

Використання напівпровідникового діода як джерела лазерного випромінювання дала змогу реалізувати передачу енергії не тільки в імпульсному, але і в безперервному режимі від 0% до 100% оптичного виходу  $P_o$  (рис.1а). Для переміщень у режимі 2D сканування використовували 2-х осьовий ЧПК привід.

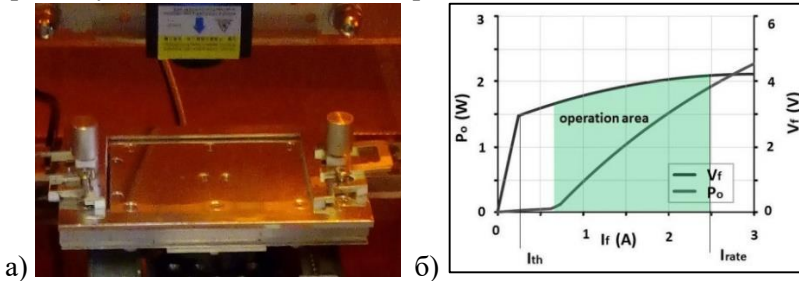


Рисунок 1. (а) Робоча зона сканера, (б) ВАХ лазерного діода.

Принцип комбінованого відпалу плівки (наприклад  $ZnO$ ), осадженої на предметному склі, полягає в тому, що попередньо нагріте до температури  $T_n$  скло піддається впливу потоку високої густини електромагнітного випромінювання скануючого лазера за флюенсу, нижче порогу пошкодження плівки, що спричиняє локальне збільшення  $T_n$  на  $\Delta T$  до температури відпалу. Після закінчення сканування виконується охолодження зразка за заданим термопрофілем.

Прилад комбінованого лазерного відпалу, розроблений на кафедрі ЕКТ, дає змогу скоротити час термічної обробки порівняно з традиційними методами високотемпературного нагріву без погіршення якості тонкоплівкових матеріалів. При використанні даного методу відпалу значення  $\Delta T$  значно нижче, а час рекристалізації і релаксації кристалічної решітки вищий, ніж за інших способів електромагнітного нагріву. Ці фактори, а також можливість відпалу в інертному середовищі ( $Ar$ ) за тиску газу  $P = (0 - 0,5)$  МПа, знижують внутрішню напругу, запобігають вибуховому випаровуванню та обвуглюванню вторинних фаз, що позитивно впливає на механічну і термічну стабільність активних шарів.

## Двох екструдерний 3D принтер для друку електроніки

Шкиря Юрій, *аспірант*; Кривошап Станіслав, *студент гр. ЕС-01*;  
Опанасюк Анатолій, *професор*

Department of Electronics and Computer Technics of Sumy State  
University, Sumy, Ukraine

В наш час відбувається активне використання 2D і 3D принтерів для друку будинків і їх елементів, предметів індустрії та побуту, біооб'єктів, тощо. Останнім часом цей метод почав використовуватися для друку елементів гнучкої та прозорої електроніки, сенсорики, оптоелектроніки, приладів геліоенергетики.

Слід зазначити, що технологія друку пастою на основі металевих наночастинок дозволяє створювати доріжки електричних схем, а спеціальні чорнила на основі напівпровідників – їх чутливі елементи. Важливим завданням з покращення технології при її практичному застосуванні є збільшення кількості матеріалів, які беруть участь в процесі одиничного циклу 3D друку.

Тож, за актуальності технології, метою роботи стала розробка 3D принтеру з двома екструдерами, що дозволяють проводити друк двома різними матеріалами. Під час розробки автоматизованої системи зі створення друкованої електроніки було розроблено принтер, з можливістю швидкої заміни як типів друкованих голівок, так і самих матеріалів які наносяться.

Прикладом застосування такого обладнання може бути виготовлення фоточутливого сенсору на основі сполуки ZnO [1], етапи створення якого зображені на рис. 1. Процес виготовлення пристрою був розділений на два цикли. Під час першого циклу була утворена підкладка та струмопровідні доріжки.

З використанням такого підходу доріжки можна створювати всередині корпусу пристрою, що значно зменшує розміри кінцевого продукту та спрощує процес їх розміщення. Для друку підкладки була використана друкуюча голівка екструзійного типу, притаманна FDM технології 3D друку, та струменева голівка для друку рідинами, яка формує струмопровідні доріжки.

На другому етапі струменевою голівкою, рівномірним шаром, наноситься сполука ZnO, яка виконує роль фотодетектору. В той же

час стіл принтера розігріває утворену плівку до 100 °С для проведення процесу попереднього відпалу та покращення її адгезії до підкладки.

Після цього свою роботу починає друга голівка яка облаштована лазером здатним точково відпалити саме поверхню ZnO не пошкоджуючи інші функціональні шари, які чутливі до високих температур.



Рисунок 1 - Процес 3D друку фотосенсора на основі ZnO

Підводячи підсумки можна стверджувати, що підхід заснований на збільшенні кількості матеріалів задіяних під час друку, а також уніфікація принтеру - типу один пристрій багато застосувань є кроком до подальшого розвитку та впровадження 3D друкованої електроніки у виробництво, а також для персонального використання таких пристроїв.

Принтер який створений на кафедрі ЕКТ має два екструдера: один з них дозволяє друкувати розводку електронних схем чорнилами на основі наночорнил срібла, другий - чутливі елементи чорнилами на основі оксидів металів таких як ZnO, CuO, NiO, Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>, тощо.

Екструзія металевих чорнил проводиться механічно, в той час як напівпровідники проштовхуються під тиском газу. Останнє дозволяє отримати більш однорідні за товщиною плівки, за рахунок сталого значення тиску в системі. Конструкція принтера передбачає просту заміну одного екструдера на інший. Проведений пробний друк провідних доріжок та активних елементів для створення сенсорів газу.

Hao Dong, Wenxin Liu, Yi Li, Xing Chen and Di Wang, Fully Printed Flexible Zinc Oxide Patch for Wearable UV Light Sensing. (Advanced Electronic Materials, 2023)

## Технології побудови доступу до Інтернет мережі у селах

Колесник В. Р., студент гр. ТК-01; Д'яченко О. В., доцент;

Протасова Т. О., ст. викладач;

Сумський державний університет, Суми

Доступ до Інтернету відіграє важливу роль у повсякденному житті людей. У містах, де інфраструктура розвинена, швидкісний Інтернет через оптоволокно або кабель забезпечує швидкий доступ до великих обсягів інформації та дозволяє користувачам переглядати відео високої якості, навчатися та працювати з хмарними сервісами без затримок.

Зростаюча потреба доступу до Інтернету в сільських районах вимагає аналізу існуючої інтернет-мережі з метою забезпечення належного рівня зв'язку для всіх мешканців завдяки ідентифікації шляхів покращення та оптимізації її роботи. Технології побудови інтернет-доступу в селах можуть відрізнитися від тих, що використовуються в містах через віддаленість і меншу щільність населення. Типовими проблемами у функціонуванні інтернет-мережі для віддалених селищ є низька швидкість передачі даних, часті перебої у зв'язку, недостатнє покриття окремих районів зв'язком.

Для вирішення цих проблем можна вжити ряд заходів, таких як модернізація інфраструктури, впровадження нових технологій передачі даних (наприклад, 4G), підвищення якості обслуговування і технічного супроводу, а також регулярний моніторинг і діагностика мережі для виявлення проблем на ранніх стадіях.

У рамках розробленого проекту було запропоновано комплексний план впровадження нових технологій та оптимізації існуючої інфраструктури з метою підвищення якості послуг та забезпечення стабільного та ефективного зв'язку. Проект передбачає встановлення необхідного обладнання, включаючи волоконно-оптичні кабелі, маршрутизатори, та інші засоби зв'язку, а також застосування передових технологій, таких як бездротовий зв'язок.

Застосування передових технологій, зокрема волоконно-оптичних кабелів та бездротового зв'язку, покликане забезпечити найвищу можливу швидкість передачі даних та стабільність роботи мережі, що стане суттєвим кроком у забезпеченні належного рівня доступу до Інтернету для мешканців сільських районів.

### **3D-друк друкованих плат**

Лопатін Д. О., студент ЕС.м-31; Д'яченко О. В., доцент;

Протасова Т. О., ст. викладач;

Сумський державний університет, Суми

3D-друк друкованих плат відкриває нові горизонти у виробництві електроніки. Традиційно, друковані плати виготовляються за допомогою травлення, при якому мідний шар покритий шаблоном травився для створення потрібної схеми. Однак 3D-друк відкриває більш ефективну та економічну альтернативу, дозволяючи виготовляти друковані плати забезпечуючи швидкість, ефективність та гнучкість, які необхідні у сучасному виробництві.

3D-друк друкованих плат відрізняється можливістю створювати складні конструкції зі складною геометрією, яку важко, а часто неможливо досягти традиційними методами. Це дає змогу інтегрувати кілька функцій в одну друковану плату, зменшуючи загальний розмір і вагу електронних пристроїв. Також перевагою 3D-друку друкованих плат є швидкість і гнучкість, які він пропонує при створенні прототипів і дрібносерійному виробництві. Зміни в конструкцію можна легко вносити без необхідності дорогої та трудомісткої модифікації інструментів, це робить його незамінним для швидкого прототипування та кастомізації.

3D-друк дозволяє використовувати широкий спектр провідних і діелектричних матеріалів, включаючи спеціалізовані полімери і чорнила на основі металів. Така гнучкість відкриває нові можливості для створення друкованих плат з унікальними властивостями, такими як гнучкість, розтяжність і навіть біосумісність, розширюючи потенційне застосування друкованих плат в таких сферах, як носима електроніка, біомедичні пристрої та гнучкі дисплеї.

Однак головною проблемою є досягнення високої роздільної здатності друку для забезпечення точності трасування схеми, особливо для компонентів з малим кроком та високочастотних застосувань. Крім того, оптимізація параметрів процесу друку, таких як температура, швидкість і властивості матеріалу, має вирішальне значення для забезпечення стабільної якості та продуктивності надрукованих друкованих плат.

3D-друк друкованих плат - це перспективна технологія, яка пропонує численні переваги з точки зору гнучкості дизайну, швидкості та економічної ефективності.

## Аналіз безпроводних протоколів передачі даних систем обмеженого доступу

Чхун Ю.С., студент гр. ЕС.м-31; Савков В.І., студент гр. ЕС.м-31; Гриненко В.В., доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Впровадження інформаційних технологій в різні сфери людської діяльності супроводжується постійним обміном даними. Для забезпечення зручності все частіше використовується обмін даними із застосуванням безпроводних мереж зв'язку при отриманні доступу в автосигналізаціях або в системах «розумний будинок». При цьому в таких системах передаються невеликі обсяги інформації між портативним пультом та пристроєм контролю і управління доступом, а сам пульт повинен мати низьке енергоспоживання та компактні розміри. Крім того потрібно забезпечити захист передаваної інформації від несанкціонованого доступу.

В системах розумний будинок застосовуються протоколи передавання даних Wi-Fi, Bluetooth, більш енергоефективний Bluetooth Low Energy (Bluetooth LE). Також для підключення пристроїв на відстанях до 10 метрів застосовуються стандарти, що володіють підвищеною живучістю і розроблені для мінімізації енергоспоживання: ZigBee, Z-Wave, EnOcean тощо.

В протиугінних пристроях передавач використовує інфрачервоне випромінювання чи радіосигнал в УКВ-діапазоні. Системи з інфрачервоним випромінювання мають малий радіус дії, вимагають точного наведення променя передавача. УКВ-системи мають більший радіус дії, але сигнал можна перехопити і декодувати викрадач за допомогою відповідною електронної апаратури.

Технологія Lora запатентована компанією Semtech, стійка до каналних шумів і перешкод, забезпечує надійний двосторонній зв'язок та використовує протокол широкосмужової мережі низької потужності (LPWAN). LoRa – це протокол для передавання невеликих пакетів даних на великі відстані. На основі модуляції LoRa існує протокол рівня керування доступом до медіа (MAC) - LoRaWAN. Це програмний рівень, який визначає, як пристрої використовують обладнання LoRa і формат повідомлень. Мережа LoRaWAN складається з множини кінцевих пристроїв, які по бездротових



з'єднаннях передають дані на один шлюз або одночасно на декілька. Підключення між пристроями й шлюзами здійснюється на двосторонній основі між кінцевими пристроями та сервером.

Технологія LoRa також має можливості геолокації, усуваючи необхідність додаткового обладнання GPS для відстеження та позиціонування пристроїв. Використовуючи метод різниці в часі приходу сигналу (TDoA), мережі LoRaWAN точно оцінюють розташування пристроїв. Одним з найкращим рішенням для сигналізації може бути поєднання LoRaWAN та GSM. При цьому LoRaWAN може використовуватися для моніторингу стану автомобіля, а GSM для отримання сповіщень на мобільний телефон в режимі реального часу.

Для підвищення рівня захисту передачі інформації на базі технології LoRa можна застосувати додаткові алгоритми шифрування на основі технології KeeLog. В технології KeeLog використовується система реверсивної ідентифікації за принципом «свій – чужий», а для кожного брелка управління формується свій індивідуальний ключ. Це забезпечує індивідуальний алгоритм генерації випадкових чисел для кожного брелка, що навіть за умови перехоплення певної кількості комбінацій коду з ефіру не дає можливість передбачити наступну правильну комбінацію. Також за рахунок додавання динамічної генерацію ключа і генератора випадкових чисел в алгоритм формування ключів KeeLog є можливість ще більше захистити дані від перехоплення та розшифрування.

Таким чином, використання технології LoRa разом з блочним шифром KeeLog із додатковими модифікаціями дозволить будувати ефективні системи контролю і управління допуском з підвищеним рівнем безпеки.

1. LoRa, available at: <https://lora.readthedocs.io/en/latest/#range-vs-power>.
2. Фабіровський С. Розробка безпроводної системи завадостійкої сигналізації на базі технології Lora / С. Фабіровський, О. Москалюк // Infocommunication technologies and electronic engineering. - 2021. - Vol. 1, № 1. - С. 94-104. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/inteelen\\_2021\\_1\\_1\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/inteelen_2021_1_1_11)
3. Матяш, Д. І. Аналіз протоколів автентифікації для автосигналізації / Д. І. Матяш // Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики», м. Київ, 21-23 травня 2015. –Київ: НТУУ «КПІ». – 2015. – С. 190-192.

## Пристрій управління контролем доступу

Базюра Б. В., студент гр. ЕС-01; Гриненко В.В., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Контроль доступу став важливою складовою безпеки, що є необхідним для захисту конфіденційності та запобігання несанкціонованому доступу до об'єктів чи інформації.

Мета проекту полягає в розробці пристрою управління контролем доступу, що забезпечує безпеку, зручність та ефективність управління доступом до приміщень.

На сьогодні найбільш поширеними є такі принципи побудови систем доступу як локальні і мережеві, дротові та радіоканальні, біометричні, спеціальні, де застосовують ПІН-коди, магнітні карти чи брелоки. Вибір типу системи залежить від об'єкту захисту та рівня безпеки. За результатами розгляду зазначених питань була запропонована система моніторингу доступу працівників до офісного приміщення.

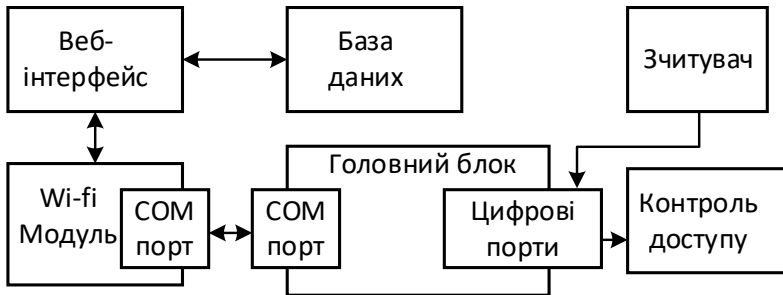


Рисунок 1 – Структура пристрою управління контролем доступом

Принцип роботи пристрою: Головний блок отримує інформацію про ідентифікацію користувача від зчитувача та передає її на wi-fi модуль для подальшої передачі. Wi-fi модуль передає зчитані дані на веб-інтерфейс, де вони порівнюються з інформацією в базі даних. Веб-інтерфейс виконує процес перевірки авторизації, аналізуючи отримані дані та порівнюючи їх з інформацією в базі даних. Після аналізу веб-інтерфейс надсилає відповідь, яка містить результат авторизації, на wi-fi модуль. Wi-fi модуль передає отриману відповідь на головний блок, де відбувається прийняття рішення про доступ користувача на основі отриманої відповіді.

## Плівки $Cd_{1-x}Mn_xTe$ для напівпровідникових детекторів жорсткого випромінювання: вибір матеріалу та режимів нанесення

Писаний О.В., *аспірант*; Растворцев Л.Д., *студент гр. ЕС.м-31*;  
Опанасюк А.С., *професор*

Сумський державний університет, Суми, Україна

У сучасному світі вирішення проблеми вибору матеріалу для створення детекторів жорсткого випромінювання є актуальним завданням. Особливу увагу при цьому привертають такі тверді розчини як  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  (СМТ) та  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  (СЗТ). Важливим є те, що шириною забороненої зони ( $E_g$ ) та постійною ґратки ( $a$ ) цих матеріалів можна ефективно керувати змінюючи концентрацію Mn та Zn, що робить їх перспективними для створення гетеропереходів з властивостями близькими до ідеальних.

Метою роботи є вивчення впливу температури підкладки на склад і структурні характеристики плівок СМТ.

Плівки було отримано методом термічного випаровування шихти в квазізамкненому об'ємі. Для їх нанесення використана установка ВУП-5М. Осадження проводилося на скляні підкладки, при цьому температура випарника  $T_e$  не змінювалася, в той час як температура підкладки  $T_s$  варіювалася у межах  $T_s = (350-4525)^\circ C$ .

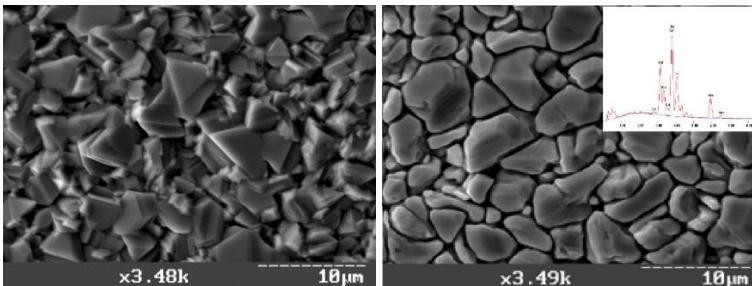


Рис. 1 – Електронно-мікроскопічні знімки поверхні плівок СМТ, отриманих при різних режимах конденсації:  $T_s, ^\circ C$ : 450 (а); 525 (б)

Встановлено, що змінюючи температуру підкладки, можна контролювати структурні характеристики та склад отриманих плівок, що відкриває широкі можливості для їхнього використання в різних галузях електроніки.

## Оптимізація температури підкладки вкритої шаром ІТО для отримання плівок CZTS для детекторів випромінювання

Пашенко Максим, *аспірант*; Радько Даніїл, *студент гр. ЕС.м-31*;  
Знаменщиков Ярослав, *докторант*; Опанасюк Анатолій, *професор*

Сумський державний університет, Суми, Україна

На сьогоднішній момент часу дуже актуальним залишається пошук матеріалів для створення детекторів іонізуючого випромінювання. До недавнього часу таким матеріалом вважалися монокристали легованого і нелегованого алюмінієм хлором CdTe, але на його зміну прийшов більш перспективний матеріал  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  (CZT), в якому можна точно регулювати ширину забороненої зони, змінюючи склад твердого розчину. Цей матеріал більш стабільний у часі та має більш високий питомий опір. Експериментально було виявлено, що додавання Se покращує електрофізичні та структурні характеристики матеріалу CZTS, але вирощування таких монокристалів потребує використання складних технологій і є високовартісним. Саме через це науковці були змушені перейти від монокристалів до моно- та полікристалічних плівок, які мають товщину до 200 мкм, в якості детекторного матеріалу.

Мета даної роботи полягає у дослідженні впливу температури підкладки вкритої струмопровідним шаром ІТО на структурні характеристики плівок CZTS для отримання якісних плівок для дослідження вольт амперних характеристик.

Для дослідження плівки було отримано методом випаровування шихти в квазізамкненому об'ємі на установці ВУП-5М. В якості підкладок для зразків було використано скло вкрите струмопровідним шаром ІТО. Для кожного зразка маса шихти складала 100 мг, час випаровування  $t = 20$  хвилин. При цьому температура випарника була сталою, і складала 650 °С для усіх зразків. Температура підкладки була змінною у межах  $T_s = (350-450)$  °С.

В результаті було встановлено, що оптимальна температура підкладки для нанесення якісних плівок CdZnTeSe на струмопровідний шар ІТО для подальшого дослідження вольт амперних характеристик складає  $T_s = 400$  °С, про що свідчать вузькі піки відповідного зразка на дифрактограмах.

## **Метеостанція на базі Arduino Nano з виводом даних з датчиків на телефон**

Наумов А.Д., студент гр. ЕС-01;

Протасова Т.О., старший викладач; Д'яченко О.В., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми

Проект "Метеостанція на базі Arduino Nano з виводом даних з датчиків на телефон" є актуальним у сучасному світі, де автоматизація та збір даних зі сторонніх пристроїв стає все більш поширеним. Цей проект дозволяє створити систему моніторингу температури, вологості та тиску в приміщенні та передавати отримані дані на мобільний пристрій через Wi-Fi.

Основні переваги цього проекту полягають у простоті реалізації та доступності компонентів. Застосовуються наступні компоненти: Arduino Nano - мікроконтролерний модуль, який базується на ATmega328, має компактний розмір і вбудований USB-інтерфейс для зручного програмування для зчитування даних з датчиків, а саме - DHT11 - цифровий датчик, призначений для виміру температури та вологості повітря і BMP180 - високоточний датчик атмосферного тиску і температури, він здатен вимірювати тиск повітря в діапазоні від 300 до 1100 гектопаскалей і температуру від -40°C до +85°C. Потужний Wi-Fi модуль ESP8266 з вбудованим мікроконтролером забезпечує зручний доступ до мережі Інтернет.

Код програми написаний на мові Arduino, що спрощує процес програмування та робить його доступним навіть для початківців.

Мобільний додаток має зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє користувачеві легко переглядати дані про погоду. Графічне представлення даних дозволяє швидко оцінити погодні умови. Розроблена програма є надійною та демонструє стабільну роботу та відмінну продуктивність. Вона може працювати безперервно та без збоїв протягом тривалого періоду часу.

Таким чином, дана розробка може бути застосована при необхідності контролювати та віддалено відстежувати кліматичні умови в будь-якому приміщенні за допомогою мобільного пристрою через Wi-Fi, що робить його важливим рішенням для багатьох сфер життя. Крім того, запропоноване рішення є ефективним та економічно вигідним.

## Пристрій керування мультимедійними системами в Smart House

Дем'яненко А.А., студент гр. ЕС-01;

Протасова Т.О., старший викладач; Д'яченко О.В., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми

Розробка інтелектуальних систем керування, які отримали назву «Smart House» - на сьогодні є актуальним та цікавим напрямком побудови систем керування та використання для споживачів різного рівня. Розумний будинок – це система, яка забезпечує безпеку, ресурсозбереження та комфорт у будівлі для всіх користувачів, вона може керувати: - світлом, кліматом, системами мультимедіа, системами безпеки, сауною, воротами, басейном, каміном, і т.і.

Система керування передбачає злагоджену роботу всіх систем, якими керує, а також контроль факторів, що впливають на необхідність увімкнення або вимкнення зазначених систем. Іншими словами, в автоматизованому режимі відповідно до зовнішніх і внутрішніх умов задаються і відстежуються режими роботи всіх інженерних систем і електроприладів.

Всю систему керування розділяють на наступні компоненти: автоматизація, ручне управління, мультимедіа, безпека.

- Автоматизація — це налаштування роботи системи в залежності від часу доби, рівня освітленості, руху, температури, макросів та сценаріїв.

- Ручне керування - це віддалене керування з застосуванням телефону, комп'ютера, web-додатку, бездротове керування електронікою, встановлення одного пульта для всіх пристроїв.

- Мультимедіа — бездротове аудіо/відео, спостереження та інше.

- Безпека — один із найважливіших аспектів при виборі розумного будинку. Можна встановити охоронну сигналізацію, світлову/звукову сигналізацію, створити імітацію присутності господарів, додати функцію «паніка» та інше, можна додатково забезпечити можливість підключення своєї системи до фізичної охорони!

Багатофункціональні системи «Розумний дім», які забезпечують комфорт та безпеку житла, з кожним роком набирають все більшої популярності. По-перше, це пов'язано з підвищенням технологічної грамотності простих людей на тлі розвитку цифрової електроніки. По-друге, таке обладнання поступово дешевшає, що робить його

доступнішим для широких мас населення. В даний час системи "Розумний дім" встановлюються як на житлові, так і на комерційні об'єкти нерухомості: квартири, котеджі, офіси, готелі, SPA-центри. У Західній Європі, а також у США, Канаді та інших розвинених країнах, подібні програмно-апаратні комплекси активно використовуються не лише забезпеченими людьми, а й тими, хто через свої фізичні особливості не може повноцінно жити та самостійно вести свій побут.

Тому поява специфічних функцій керування та розробка відповідних пристроїв в Smart House сьогодні вже нікого не дивує. Розробляють «Розумні акваріуми», «Розумні теплиці» і т.і.

Поціновувачі музики теж хочуть сказати своє слово! Вони цитують Платона: «Музика – це моральний закон. Вона дає всесвіту душу, крила духу, дозволяє уяві розквітнути і дає радість і життя всьому сущому». Тому багато людей хочуть слухати музику практично усюди, користуючись музичними системами найвищої якості.

Мультирум - це розумна технологія повноцінного розподілу аудіо та відео сигналів по різних зонах об'єкта. Головною перевагою функції мультирум є одночасне відтворення різного медіаконтенту в окремих кімнатах усередині приміщення або на вулиці. Більше того, всі зони об'єкта мають незалежне керування із загальної програми на смартфоні або з настінної панелі. Аудіо мультирум та відео мультирум створюють оптимальні режими керування акустичним обладнанням та відеосистемами. Мультирум можна зв'язати з домашнім комп'ютером і підключити до мережі інтернет (і, наприклад, використовувати її для сповіщення про нову електронну пошту, також система може вимовити голосом заголовки отриманих листів або навіть їх текст), використовувати її як систему голосового оповіщення, організер, гучний зв'язок мобільного чи домашнього телефону, настроїти управління домофоном.

Крім того, впровадження розумних мультирум-систем є і в комерційних цілях. Автоматична технологія корпоративного аудіо та відео управління забезпечує необхідну атмосферу та легко оптимізує всі медіафайли. Комерційний звук є фоновим аудіо супроводом у салонах, магазинах, ресторанах та супермаркетах, системах звукового оповіщення в офісах, торгових центрах, адміністративних та промислових об'єктах. Розумна система комерційного звуку враховує якість та рівномірність покриття фонового звучання як у будинках з безліччю зон, так і на великих площах.

## Алгоритм віднімання одиниць з біноміальних чисел

Хацько А.О., *аспірант*; Борисенко О. А., *професор*;

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На сьогоднішній день більшість систем передачі інформації будується на основі двійкової системи числення, в той же час задачі завадостійкості вирішуються за допомогою набагато складніших систем числення, серед яких досить важливе місце займають біноміальні системи числення [1].

Головною властивістю біноміальних чисел є їх здатність виявляти та виправляти помилки під час обробки та передачі інформації. Також вони можуть бути використані в системах для стискання інформації під час її передавання і зберігання, що дозволяє зменшити обсяг даних і покращити ефективність процесів зберігання та передачі даних.. Однак при їх застосуванні виникають задачі перетворення двійкових чисел в біноміальні та біноміальних в двійкові для ефективного обміну та зберігання даних у різних системах числення. [2].

Ця задача вирішується за допомогою досить складних алгоритмів, які використовують підсумовуючий або віднімальний рахунок для конвертації між двійковими та біноміальними числами, забезпечуючи точне і надійне перетворення між цими системами числення [3].

З метою покращення програмної реалізації та апаратурної частини їх можна суттєво спростити, за допомогою одночасного використання алгоритмів додавання і віднімання одиниць в двійковій і біноміальній системі числення. З одного боку це призводить до збільшення часу на перетворення, а з другого зменшує складність апаратурної частини та її програмної реалізації. Відповідно цей, вже модифікований алгоритм може виконувати операції перетворення чисел в обох системах числення.

В цьому проявляється результат застосування запропонованого методу перетворення, що покращує ефективність обміну, збереження та передачі інформації в різних системах числення.

1. Березюк М. Т. Кодування інформації. Двійкові коди. Харків, 1978.
2. Борисенко О. А. Дискретна математика. Суми, 2008, 254с.
3. Борисенко О. А. Біноміальні автомати. Суми, 2005. 121 с.



## Стабілітрони у якості малосигнальних діодів з низьким струмом утікання. Захист літій-іонного акумулятора

Кролевецький В.В., студент гр. ЕС-11

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Портативні електронні пристрої з живленням на літій-іонному акумуляторі можуть бути небезпечними через неправильну експлуатацію, бо літій досить активний метал, тому такі пристрої вимагають наявності схеми захисту акумулятора від сильного розряду, перезаряду та підвищеного струму. Одним з найдешевших рішень є мікросхема DW01 (рис.1).

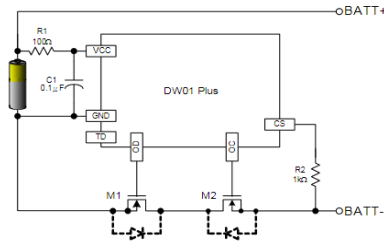


Рисунок 1 – Схема включення мікросхеми DW01

Через напругу на виводах акумулятору та падіння напруги на транзисторах M1 і M2 мікросхема перевіряє відповідно допустиму напругу та струм через акумулятор, у разі недопустимих значень – мікросхема закриває транзистор M1 – у разі перерозряду або M2 – у разі перезаряду. Дана мікросхема може бути змонтована на платі пристрою, або на окремій платі, привареній до виводів акумулятора (другий варіант використовується здебільшого в пристроях зі зйомним акумулятором). Дані плати (BMS) можна легко купити, вони мають невеликий розмір та ціну.

Через свою зручність та доступність дані плати часто використовуються в саморобних акумуляторних пристроях, або при переробці заводських пристроїв на акумуляторне живлення. Крім того їх можна застосовувати в дрібносерійних або одиничних пристроях.

Окрім ряду переваг, мікросхема DW01 має недолік – низька напруга перерозряду. Переважна кількість акумуляторів має рекомендовану нижню напругу відсічки близько 2,7 В, а мікросхема DW01 відключить акумулятор від нагрзуки при 2,4 В. При циклічному

використанні акумулятора в таких режимах, наприклад в ліхтарях, лампах його термін служби суттєво скоротиться.

Підняти нижню напругу виключення можна знизивши напругу живлення. Падіння напруги діода в 0.5-0.6 В, включеного замість резистора R1 (рис. 1) підніме нижню напругу до 2,9-3,0 В. Але мікросхема DW01 має досить малий струм споживання (3-6мкА), переважна кількість найпоширеніших діодів мають невелике падіння напруги на малих струмах. Схема для дослідження падіння напруги діодів на малих струмах (рис. 2) дозволяє знайти підходящий діод. Окрім того для більш стабільного зміщення переходу можна паралельно C1 (рис. 1) підключити резистор номіналом 250-600 КОм.

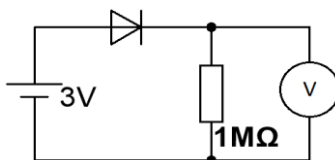


Рисунок 2 - Схема для дослідження падіння напруги діодів на малих струмах

У якості навантаження виступає опір мультиметру в режимі вимірювання напруги, який дорівнює 1 МОм. Відповідно до результатів вимірювання різних діодів (табл. 1), найменший струм уткання мають стабілітрони включені в прямому зміщенні. Окрім цієї схеми стабілітрони можна використовувати в інших схемах з малим струмом споживання.

Таблиця 1- Результати дослідження різних діодів

Діод	Вихідна напруга
1N4148	2,78 В
RL205	2,72 В
1N5399	2,73 В
Стабілітрон 5,1В	2,46 В
Стабілітрон 5,6В	2,53 В
Стабілітрон 8В	2,53 В
Стабілітрон 10В	2,5 В

## **Вибір ефективної криптографічно стійкої хеш-функції в технології блокчейн для систем Інтернету речей**

Бережна О.В.<sup>1</sup>, доцент; Арбузов В.В.<sup>2</sup>, директор;  
Мазуркевич О.А.<sup>1</sup>, студент

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

<sup>2</sup>ТОВ Енергосервісне підприємство «Преобразователь», м. Суми

Ефективність впровадження систем Інтернету речей (IoT) залежить від синергетичного ефекту комплексного поєднання таких різних технологій, як децентралізація систем, розширення зон покриття швидкісними безпроводними мережами зв'язку нового покоління, впровадження «туманних обчислень» та технології блокчейн.

Для досягнення такого ефекту здійснюється міграція від хмарних централізованих систем, що працюють за принципом довірчості та аутентифікації, до розподілених децентралізованих систем, що працюють за принципом повної відсутності довірчості, де кожна транзакція повинна підтверджуватись спільнотою розподілених у просторі вузлів системи. Для забезпечення довірчих відносин між учасниками використовується технологія блокчейн.

За результатами дослідження встановлено, що для забезпечення якості довірчих відносин необхідно для кожного інформаційного блоку повідомлення від будь-якого учасника довірчих відносин та його пристроїв (GPS-датчики, сервери, смартфони) обчислювати хеш-значення за допомогою таких криптографічних перетворень та хеш-функцій, які забезпечують стійкість до колізій, до пошуку першого та другого прообразів. Це означає, що ніякі два різні повідомлення на вході хеш-функції не можуть мати однакове обчислене хеш-значення на виході, неможливо відновити вхідне повідомлення, знаючи його хеш-значення, неможливо на підставі вихідного повідомлення та його хеш-значення підібрати друге повідомлення, яке має однакове хеш-значення. Така криптографічна стійка хеш-функція повинна мати властивість, згідно з якою зміна одного біту на вході повинна призводити до зміни близько половини вихідних бітів.

Аналіз показав, що такі властивості притаманні хеш-функції сімейства SHA-2, що побудовані на основі дерева Меркла-Дамгора, а її застосування унеможливує зміни історії та змісту інформаційних блоків про здійсненні транзакцій непомітно для всіх інших учасників.

## Пристрій криптографічного захисту інформації на базі алгоритму подвійної перестановки

Бережна О.В., доцент, Бивалін Р.А., студент,  
Товстогуз Б.О., студент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розвиток Інтернету речей значно збільшує кількість об'єктів автоматизації та каналів передачі даних. Значно збільшується кількість каналів витоку інформації та зростає потреба у застосуванні оптимальних методів захисту інформації відповідно до рівня кіберзагроз. Актуальним завдання є пошук напрямків розвитку та застосування таких криптографічних методів, як алгоритм подвійної перестановки.

На сьогоднішній день алгоритми криптографічного захисту, зокрема алгоритм подвійної перестановки, можуть широко використовуватись в різних сферах, таких як інформаційна безпека, електронна комунікація, банківська справа тощо. Вони дозволяють ефективно захищати дані від несанкціонованого доступу та забезпечують конфіденційність інформації.

Однак існують певні недоліки у сучасних рішеннях, пов'язаних з алгоритмом подвійної перестановки. Деякі з них включають обмежену довжину ключа, можливість атак методом перебору ключів та обмежену стійкість до криптоаналітичних атак.

Дослідження показали, що для подолання недоліків алгоритму подвійної перестановки можна використовувати додаткові методи шифрування або покращені версії алгоритму, наприклад:

- застосування додаткових шифрувальних методів: комбінування алгоритму подвійної перестановки з іншими криптографічними методами може підвищити рівень безпеки;
- використання більш складних ключів: використання довших і складніших ключів може зробити атаки зламу складнішими та менш ймовірними.

Запропоновані рішення можуть допомогти подолати недоліки і підвищити ефективність алгоритму подвійної перестановки. Здійснення таких заходів сприятиме підвищенню рівня безпеки конфіденційної інформації, що передається та зберігається в інфокомунікаційних системах.

## **СЕКЦІЯ 3**

**«Електротехніка і енергетика»**

## Альтернатива «зеленому» тарифу

Загородня Т.М., асистент, Рева В. А., студентка ET-11

Сумський Державний університет, м. Суми, Україна

«Зелений» тариф, що діє в Україні до 2030 року, дав поштовх розвитку відновлюваної енергетики. З 2024 вартість зеленого тарифу біла змінена з 0,164 до 0,146 євро за 1 кВт·год проданої (експортованої в мережу) електроенергії, тобто ціна на зелений тариф була знижена на 10 % в порівнянні з тарифом 2020-2023 року. Постає питання: наскільки рентабельно будувати сонячні електростанції (СЕС) в нинішніх умовах?

Як показує аналіз, приватне домогосподарство з потужністю 55 тис. кВт·год після податків дає прибуток близько 6450 євро на рік. Тобто така СЕС в період дії існуючого тарифу на електроенергію окупиться за 4 роки. Суттєва різниця між розміром «зеленого» тарифу (16-18 євроцентів) та ринковою ціною (приблизно 4 євроценти) спонукає власників електростанцій до максимізації відпуску дорогої електричної енергії у мережу з метою отримання прибутку. Але і далі прогнозується зменшення вартості кВт·год, отриманих з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), і збільшення тарифів на електроенергію. Таким чином, є два шляхи «не втратити», генеруючи енергію з ВДЕ:

- 1) збільшувати кількість конструкцій (панелей) або
- 2) долучатися до механізму Net Billing і використовувати згенеровану електроенергію для власних потреб, а надлишки продавати.

При анонсуванні з боку держави збільшення тарифів на електроенергію, все більше підприємств встановлюють власні СЕС для вироблення електроенергії не на продаж, а для забезпечення власної енергонезалежності. Розглянемо, наприклад, теплиці для вирощування овочевих культур. Найменування основних статей енерговитрат у теплиці:

- затрати теплоти на пропарювання ґрунту;
- затрати теплоти на обігрів ґрунту;
- підтримання мікроклімату;

- затрати теплоти на підігрів води для поливу;
- електропривод агрегатів насосної станції;
- освітлення;
- кондиціонування.

На підставі аналізу діяльності тепличних комбінатів і їх систем енергозабезпечення встановлено, що в собівартості овочів в даний час 45-50% складають енерговитрати. Згідно розрахунків, для забезпечення нормального функціонування подібного комбінату необхідно, щоб 82 % енергії для споживання на зазначенні статті витрат залучалися з власної СЕС. Для цього потрібні:

1. Сонячна батарея NH-Poly 280 W 12 шт. (86 832 грн.)
2. Контролер заряду Tracer 2210A, 20A, 12 / 24В 3 шт. (9 150 грн.)
3. Синус-інвертори Outback Power VFX3048E 1шт. (63 864 грн.)
4. Акумулятор DELTA HR 12-100, 100Ah 12В 6шт. (31 434 грн.)
5. Дизельний генератор Kolner KGEG 2200 1шт. (4 490 грн.)

Разом: 195 770 грн. У такому випадку термін окупності становить приблизно 7 років 9 місяців.

Якщо механізм Net Billing в Україні запрацює, то він може дещо вплинути на ціни. Зокрема, аналітики прогнозують незначне зростання роздрібної вартості електроенергії для непобутових споживачів 2 класу напруги – приблизно на 1-2 %. Майже не вплине цей механізм і на тарифи на розподіл (1-2% зростання) та передачу (у середньому йдеться про 1% зростання) електроенергії, і до 4 % зростання, з урахуванням сплати компенсації виробникам за «зеленим» тарифом за обмеження виробництва з боку оператора системи передачі.

Одними зі способів зробити Net Billing привабливішим для населення є лібералізація тарифів або здешевлення вартості встановлення панелей та установок зберігання енергії.

Наприклад у Польщі, компенсуючи до 50 % вартості встановлення СЕС для населення, вдалося за 4 роки досягти приросту генерації за рахунок таких «самоспоживачів» у понад 40 разів. На нашу думку, реальним стимулом для масштабування проєктів з поширення об'єктів ВДЕ стало б пільгове кредитне фінансування.

## Програмний комплекс для автоматизації процесів супроводу споживачів електричної енергії

Макуха Д. М., *асистент*,  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Волохін В. В., *доцент*,  
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій,  
м. Київ, Україна

В умовах інтеграції енергетики України до Європейських норм та правил не обійтися без автоматизації технічних та бізнес-процесів, сучасних ІТ-рішень, які забезпечують точний облік та фінансовий контроль.

Одним з таких рішень є програмний комплекс EnergySuite від компанії «Екстракод» (Україна). Ця система розроблена з метою оперативного управління бізнес-процесами в сфері постачання та розподілу електроенергії і включає в себе такі основні рішення:

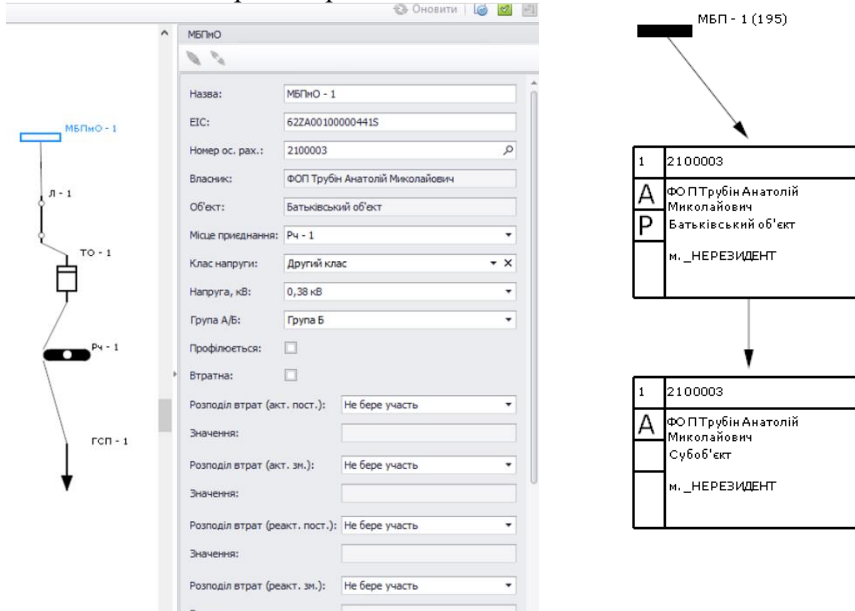
- білінг розподільчої компанії;
- збір та аналіз показів приладів обліку (включаючи розрахунок споживання, втрат та обмін інформацією з учасниками ринку);
- реєстр приладів обліку (лічильників електричної енергії, трансформаторів струму та напруги, пломбування, тощо);
- планувальник робіт лінійного персоналу;
- аналіз технологічних та комерційних втрат;
- контакт центр та CRM.

Функціонал системи дозволяє створювати графічні схеми підключень та візуалізувати зв'язки між об'єктами. Крім того, вона веде облік вимкнень елементів схем живлення та історії замін приладів обліку, чого часто не вистачає в подібних програмних продуктах.

Приклад графічного відображення схеми приєднання субспоживача наведено на рисунку 1а. Із простого, зрозумілого інтерфейсу видно, які параметри вводяться при створенні приєднання (назва, ЕІС, номер особового рахунку і т. д.). Також функціонал програми дозволяє вносити додаткові елементи в схему із зазначенням їхніх параметрів (наприклад, Л-1 – повітряна лінія). На рисунку 1б



зображено «Схему зв'язків», з якої видно, що даний «Субоб'єкт» під'єднаний до мережі через інший об'єкт – «Батьківський об'єкт».



*a*

*б*

Рисунок 1 – Схема живлення (а) та схема зв'язків (б) в програмному комплексі EnergySuite

Що стосується самого білінгу (формування нарахувань платежів для споживачів та постачальників електроенергії), то цей процес повністю автоматизовано. Враховано фактичну споживану енергію, а також авансові платежі, штрафи та інші фінансові аспекти. До того ж, система здатна робити розрахунки податків, створювати податкові накладні та вести реєстр податкових зобов'язань.

Таким чином, в роботі проведено приєднання споживачів (з установкою лічильників) та розраховано кількість спожитої електроенергії з урахуванням умов підключення. Досліджено функціонал та можливості програмного комплексу EnergySuite, проаналізовано доцільність його використання.

## Дослідження замикань на землю в електричних мережах напругою 6–10 кВ з різними режимами нейтралі

Лебедка С. М., *ст. викладач*; Шудрець В. А., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розроблена математична модель, що відображає індуктивні та ємнісні параметри елементів мережі, відтворює імпульси як струмів, так і перенапруг, та дозволяє проводити дослідження електромагнітних перехідних процесів при замиканнях на землю в мережах 6–10 кВ довільної конфігурації з різними режимами нейтралі та засобами обмеження перенапруг.

Результати моделювання показали, що в електричних мережах із ізольованою нейтраллю допустимі рівні перенапруг можуть бути забезпечені лише за малої протяжності кабельних ліній ( $\approx 10\text{--}20$  км). При великих довжинах ліній струми замикань на землю можуть сягати 110–125 А, перенапруги можуть становити до  $(2,3\text{--}2,5) U_{\phi}$ . При дугових замиканнях перенапруги досягають  $(3,6\text{--}4,5) U_{\phi}$ . Крім того, спостерігається кумулятивний ефект: відбувається тривале зміщення трикутника фазних напруг.

Резонансне заземлення нейтралі може забезпечити компенсацію ємнісних струмів (струми зменшуються до 10–15 А в протяжних мережах) та зниження перенапруг до  $(1,8\text{--}2) U_{\phi}$ . Однак досягнення позитивного ефекту від застосування дугогасного реактора (ДГР) можливе лише за умови забезпечення точності визначення струму замикання на землю та збільшення швидкодії автоматичного налаштування ДГР на резонанс.

Розроблена модель забезпечує більш високу точність визначення струмів у місці замикання на землю та в нейтралі, на відміну від наближеної методики визначення струму замикання на землю у місці пошкодження та налаштування ДГР, що рекомендується діючими інструктивними документами. У мережах з резистивним заземленням нейтралі може бути забезпечене збільшення струмів замикань на землю до рівня, необхідного для спрацьовування релейного захисту (низькоомні резистори), або зниження до заданого рівня перенапруг (високоомні резистори). Розроблена математична модель планується у подальшому використовуватися для вибору номіналу резисторів.

## Reducing LV grid voltage rise caused by solar panels using a step-up transformer and series voltage regulator

György Gyöngyösi, *student*, Tamás Bimbó, *student*

Electrical Power Systems Department, Óbuda University,  
Budapest, Hungary

The task: Reducing voltage rise in low voltage (LV) grids, caused by solar panels, using a step-up transformer and a series voltage regulator.

### Problems:

- There are about 250000 photovoltaic installations in HMKE, Hungary.
- The current flowing back to the supply point raises the voltage.
- In case of  $U \geq 253V$ , the inverters will shut down.
- If the software of the inverter is rewritten so that it does not shut down, certain equipment can get on fire, which can lead to property damage or, in worse cases, fatal accidents. In fact, rewriting the software is considered as a crime.

How to solve the voltage rise problem? There are several possible solutions:

- Increasing the cable cross-section,
- reducing the cable length,
- conversion of inverters from pure effective power to effective-reactive electric power production,
- development of energy storage systems,
- using a choking-coil,
- transformers with on-load tap changers (OLTC),
- OLTC transformers combined with the step voltage regulators (SVRs) in the branches.

The operation principle of a SVR, also known as a line voltage regulator (LVR) is shown in Figure 1.

### Associated challenges:

- “unnecessary” electricity would heat the wires;
- an automatic control unit is needed to change the reactance of the self-extinguishing installation;
- requires **high-cost investment**.



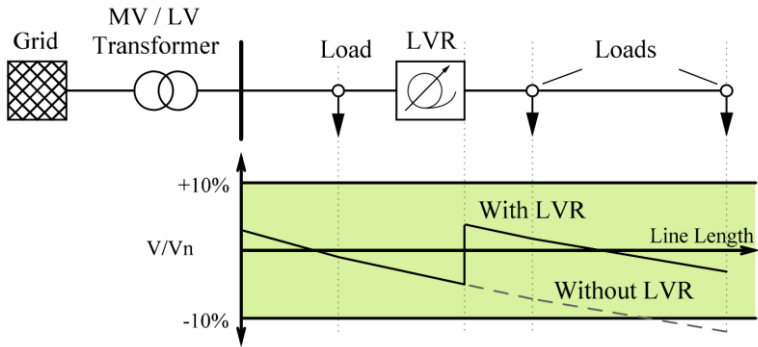


Figure 1 – Principle of series voltage regulation

Circuit voltage levels for the power grid with 230 V supply voltage for different case studies with SVRs are shown in Figure 2. As it can be seen, a SVR assists with maintaining proper voltage levels.

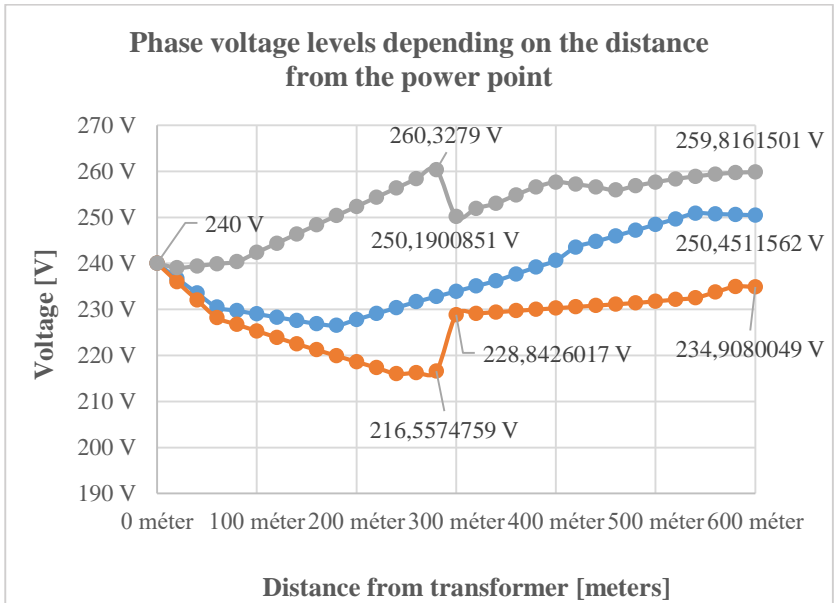


Figure 2 – Circuit voltage levels for the power grid with 230 V supply voltage

## **Негативний вплив гармонічних спотворень від частотно-регульованих приводів на електричні мережі**

Дяговченко І. М., *доцент*; Сергієнко С. В., *студент ET-01*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Частотні приводи широко використовуються для керування швидкістю двигунів, підвищення ефективності та продуктивності. Однак їхня нелінійна природа вносить спотворення у форму напруги та струму, що призводить до утворення вищих гармонічних спотворень.

Вищі гармоніки мають негативний вплив на електричні мережі. Вони можуть спричинити перегрів електричних компонентів, що призводить до передчасного виходу обладнання з ладу та збільшення витрат на обслуговування. Крім того, гармоніки можуть порушувати нормальну роботу систем зв'язку та чутливих електронних пристроїв, погіршуючи якість продукції.

Для вирішення проблеми перегріву струмонесучих частин можна використати кабелі з більшим поперечним перерізом та захисні апарати вищого номіналу. Але такі заходи не вирішують проблему якості електроенергії: гармонічні спотворення залишаться, і це матиме негативний вплив на електричну мережу.

Дослідження впливу вищих гармонік на електричні мережі було виконано в програмному забезпеченні SOLV від компанії Migus, яка дозволяє для схеми електропостачання (наприклад, підприємства), розрахувати струми, потужності та коефіцієнт гармонічних спотворень за напругою (VTHD%) та струмом (ITHD%). На рисунку 1 показано результати моделювання системи електропостачання промислового підприємства в програмі SOLV. Струми на деяких ділянках перевищують максимально допустимі значення для кабельних ліній. Крім того, спостерігаються високі рівні гармонічних спотворень в мережі.

Однією з ефективних стратегій є встановлення фільтрів гармонік, активних або пасивних, для пом'якшення гармонійних спотворень і забезпечення відповідності нормативним стандартам.

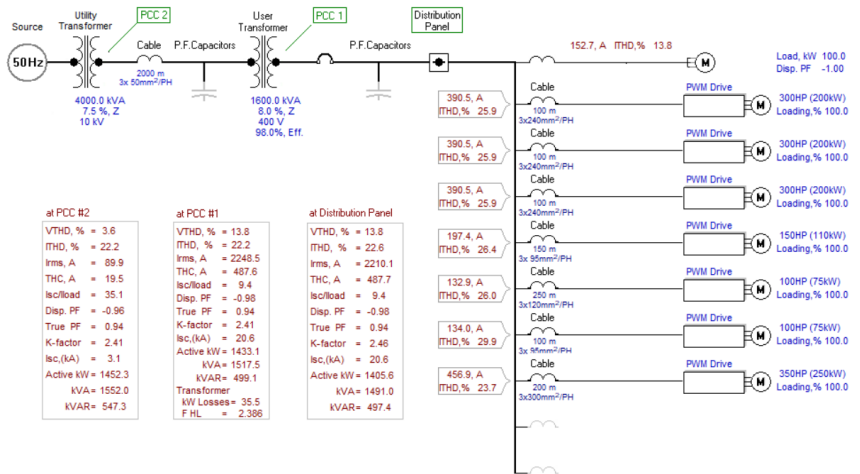


Рисунок 1 – Результати моделювання схеми електропостачання підприємства без використання фільтрів гармонік

Результати моделювання, рисунок 2, показують, як використання фільтрів дозволяє зменшити VTHD% та ITHD% та запобігти перегріву кабельних ліній завдяки зменшенню струмів, що ними протікають.

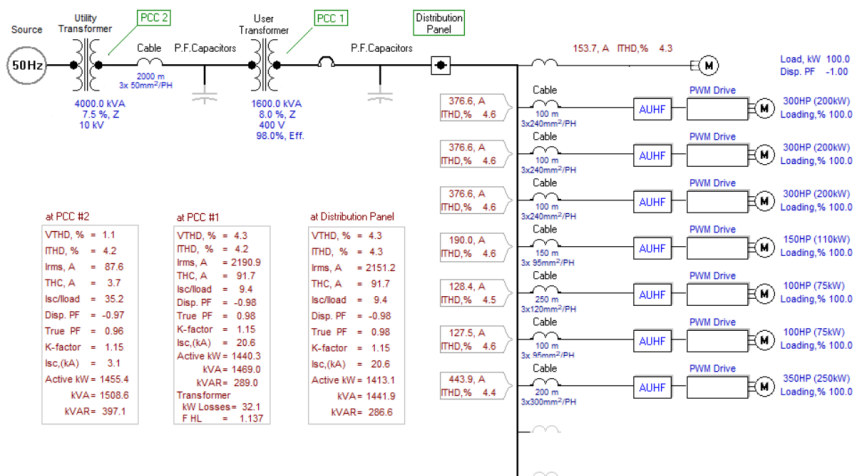


Рисунок 2 – Результати моделювання схеми електропостачання підприємства з використанням фільтрів гармонік

## Development of Distributed Energy Resource Management Systems

Eoghan Duffy, *student*

University College Dublin, Dublin, Ireland

The tide of renewable energy adoption brings with it the integration of Distributed Energy Resources (DERs), posing unprecedented challenges and opportunities for modern power systems. This study delves into the potential of DERs to revolutionize energy systems towards sustainable practices, addressing the complexities introduced to the electrical grid.

At the heart of this transformation is the Distributed Energy Resource Management System (DERMS), a platform that orchestrates the operation of decentralized energy assets with traditional grid components. The main tools used for this study are the “OpenDERMS” system and the Simulation Platform for the Integration of Distributed Energy Resources (SPIDER) testbed from Energy Power Research Institute (EPRI), which are currently being co-developed with University College Dublin (UCD) Energy Lab. Four different inverter control strategies have been studied and implemented:

- constant power factor control,
- Volt/VAR curve control,
- Volt/Watt curve control,
- Frequency/Watt curve control.

These strategies are compared within the IEEE 123 bus distribution feeder, equipped with photovoltaic generation and battery energy storage systems, to determine the most effective method for voltage stabilization, reducing power losses, and optimizing DERs’ performance.

The implications of this study extend beyond technical demonstration, delving into the ethical responsibilities and the socio-economic impacts of DERMS, emphasizing the need for a deployment strategy that aligns with the sustainable development.

Supervisor: Andrew Keane, *Professor, University College Dublin,  
Dublin, Ireland*

## **СЕКЦІЯ 4**

**«Прикладна фізика та наноматеріали»**



## Розвиток практичних навичок студентів у царині статистичної фізики

Л.В. Соляк, *старший викладач*; Б.П. Рудик, к.ф.-м.н. *доцент*  
А.В. Рибалко, к.п.н., *доцент*

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

У сучасних реаліях розвитку комп'ютерних технологій, зокрема, квантових комп'ютерів, перед фізичною наукою постають виклики, які складно було задовольнити навіть десятиліття тому. Мається на увазі якісний опис, пояснення та прогнозування поведінки багатокомпонентних систем, на кшталт живих організмів; сукупності мікро- та/або надзвичайно великої кількості макрооб'єктів: від молекул, вірусів до космічних утворень. Фізика оперує моделями, де передбачаються певні спрощення, що віддаляють реальні процеси від дійсності. Тим не менше, моделі, створені з врахуванням великої кількості параметрів, достатньо непогано описують реальні процеси. Зазвичай, такі дослідження можливі на стику наук: фізичної, комп'ютерної та мікробіології; фізичної, комп'ютерної та астрономії тощо.

Багатокомпонентні системи, поведінка яких складна та, на перший погляд хаотична, підкоряються імпліцитному (скритому) порядку.

Ці системи та їх поведінка є предметом дослідження, зокрема, ключової теорії синергетики – теорії змін, згідно з якою випадковість (хаос на мікрорівні) виступає конструктивним початком, механізмом переключення різних режимів розвитку системи в ході еволюції. Ще Ейнштейн замислювався над так званими скритими параметрами, які зараз у квантовій теорії називають імпліцитним – скритим порядком.

Теоретичним базовим підґрунтям, з якого починається фізичний опис складних систем, є методи статистичної фізики, зокрема, розподіли Максвелла та Больцмана. Студентам пропонується ознайомлення із застосуванням розподілу Максвелла на прикладі задач з розділу «Молекулярна фізика».

Пропонується наступний алгоритм розв'язування задач:

1. Оцінити інтервал швидкостей  $\Delta v$  порівняно із величиною швидкості молекули  $v$ .

2. Якщо він набагато менше швидкості молекули, застосовується розподіл молекул за швидкостями

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \exp(-u^2) \right) u^2 \Delta u,$$

де  $u = v/v_{\text{ім}}$  – відносна швидкість;  $\Delta N/N$  – кількість молекул, швидкості яких лежать в інтервалі  $\Delta v$ .

3. Якщо інтервал швидкостей  $\Delta v$  співмірний з величиною швидкості молекул  $v$ , доцільно використовувати таблицю, яка відображає залежність долі молекул  $\Delta N/N$ , швидкості яких перевищують задане значення відносної швидкості  $u$ , від величини  $u$ :

$u$	$N_X / N$	$u$	$N_X / N$	$u$	$N_X / N$
0	1,000	0,6	0,868	1,25	0,374
0,2	0,994	0,7	0,806	1,5	0,213
0,4	0,957	0,8	0,734	2,0	0,046
0,5	0,918	1,0	0,572	2,5	0,0057

4. Якщо задана графічна залежність функції розподілу за швидкостями  $f(v)$ , яка має властивість досягати свого максимального значення при найбільш імовірній швидкості  $v_{\text{ім}}$ , використовуємо вираз для функції розподілу:

$$f(v) = \frac{\Delta N}{N \Delta u} \Rightarrow \frac{\Delta N}{N} = f(v) \Delta u.$$

5. Побудувати графічні залежності функції розподілу для знаходження  $v_{\text{ім}}$ ,  $f(v)$ ,  $\Delta v$  та  $\Delta u$  з використанням спеціалізованих математичних програмних пакетів або використовуючи аналогічні онлайн сервіси на кшталт [desmos.com](https://www.desmos.com), [wolframalpha.com](https://www.wolframalpha.com) тощо.

Висновок: вміння оперувати даними задач статистичного змісту, дає можливість в подальшому використати ці вміння для створення програм опису багатокомпонентних систем.

## Фазові рівноваги системи $\text{Ag}_2\text{FeGa}_2\text{Se}_5\text{--Cu}_2\text{FeGa}_2\text{Se}_5$ , встановлені методом ЕРС

М.В. Мороз<sup>1</sup>, професор; П.Ю. Демченко<sup>2</sup>, провідний науковий співробітник; М.В. Прохоренко<sup>3</sup>, доцент;  
С.В. Прохоренко<sup>3</sup>, професор; О.В. Решетняк<sup>2</sup>, професор

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

<sup>2</sup> Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів

<sup>3</sup> Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Сімейство чотириелементних сполук  $\text{I}_2\text{-II-III}_2\text{-VI}_5$  (I – Cu, Ag; II – Mn, Fe, Co, Ni; III – Ga, In; VI – S, Se, Te) з кристалічною структурою похідною від мінералу халькопїриту розглядається як перспективні матеріали для практичного використання в нелінійній оптиці, спінтроніці та термоелектриці [1]. Ефективність перетворення теплової енергії в електричну оцінюється параметром термоелектричної добротності  $ZT=(S^2\sigma)T/k$  (де  $S$  – коефіцієнт Зеебека,  $\sigma$  – питома електропровідність,  $k$  – коефіцієнт загальної теплопровідності та  $T$  – абсолютна температура. Один із шляхів підвищення  $ZT$  є пониження  $k$  шляхом ускладнення кристалічної структури досліджуваних матеріалів.

У даній роботі досліджено межі ускладнення кристалічної структури сполук  $\text{Ag}_2\text{FeGa}_2\text{Se}_5$  та  $\text{Cu}_2\text{FeGa}_2\text{Se}_5$  у спосіб формування твердих розчинів між ними. Синтез твердих розчинів за  $T < 600$  К здійснено в додатних електродах електрохімічних комірок (ЕХК) структури: (–) ІЕ | NE | SSE | R{Ag<sup>+</sup>} | PE | ІЕ (+), де ІЕ – інертний електрод (графіт), NE – від’ємний електрод (порошкоподібне срібло), SSE – твердотільний електроліт (скло  $\text{Ag}_2\text{GeS}_3$ ), R{Ag<sup>+</sup>} – ділянка додатного електроду PE, котра контактує з SSE [2]. Йони Ag<sup>+</sup>, що змістились з NE до PE за термодинамічними причинами, виконували роль малих центрів зародження рівноважних фаз [3]. PE виготовляли у вигляді дрібнодисперсних (діаметр ~1 мкм), добре перемішаних, термодинамічно нерівноважних сумішей бінарних сполук  $\text{Cu}_2\text{Se}$ ,  $\text{Ag}_2\text{Se}$ ,  $\text{FeSe}$  та  $\text{Ga}_2\text{Se}_3$ , що відповідають як формульним складам чотириелементних фаз так і сумішам між ними. Суміші Cu та Ag-

вмісних чотириелементних сполук в РЕ відрізнялися на 5-10 мол.%. Дослідження ЕРС ЕХК здійснено в температурному інтервалі 320-550 К. Критерієм формування твердого розчину розглядалась плавна зміна ЕРС як функцій складу РЕ та їх відтворення в циклах нагрів-охолодження.

В експериментах встановлено формування твердих розчинів на основі  $\text{Ag}_2\text{FeGa}_2\text{Se}_5$  до вмісту 0,67 мол.%  $\text{Ag}_2\text{FeGa}_2\text{Se}_5$  та 0,33 мол.%  $\text{Cu}_2\text{FeGa}_2\text{Se}_5$ . Температурні інтервали існування гомогенних фаз становлять: 320-355 К, 390-455 К та 500-550 К. Для кожного із температурних інтервалів відносна різниця в значеннях величин ЕРС комірок за конкретної температури не перевищує 2 % і є наслідком відмінностей у заповненні катіонами кристалографічних пустот. Для більшості гомогенних сплавів температурні зміни ЕРС є лінійними. У кожному із зазначених температурних інтервалів величина кутового коефіцієнта прямих є різною і зростає з підвищенням температури. Це вказує на поліморфізм у сполуці  $\text{Ag}_2\text{FeGa}_2\text{Se}_5$  та твердих розчинів на її основі, зумовлений зміною симетрії аніонної підґратки.

1. G.E. Delgado, P. Grima-Gallardo, et al., *Rev. Mex. Fis.* **67**, 18 (2021).
2. M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, et al., *Energies* **15**, 8180 (2022).
3. M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, et al., *JOM* **75**, 2016 (2023).

**Властивості сполук систем  $Tl_2Se-CdSe-Si(Ge)Se_2$** 

Андрій Селезень<sup>1</sup>, *ст. викладач*; Іванюк Дмитро<sup>2</sup> *аспірант*;  
Галина Мирончук<sup>2</sup>, *професор*; Микола Мороз<sup>1</sup>, *професор*;  
Людмила Піскач<sup>2</sup>, *професор*

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

<sup>2</sup> Волинський національний університет імені Лесі Українки; м. Луцьк, Україна

У квазіпотрійних селенідних системах  $Tl_2Se-CdSe-Si(Ge)Se_2$  встановлено утворення п'яти нових тетраарних сполук мольних складів компонентів як 1:1:1 ( $Tl_2CdSiSe_4$ ,  $Tl_2CdGeSe_4$ ,  $Tl_2CdSnSe_4$ ) та 1:1:3 ( $Tl_2CdSi_3Se_8$  та  $Tl_2CdGe_3Se_8$ ).

Сполуки складів  $Tl_2CdDSe_4$  ( $D = Si, Ge, Sn$ ) кристалізуються у тетрагональній сингонії (*ПГ I-42m*), а складів  $Tl_2CdD_3Se_8$  ( $D = Si, Ge$ ) – у ромбічній сингонії (*ПГ P2<sub>1</sub>2<sub>1</sub>2<sub>1</sub>*).

Досліджено фотоелектричні та оптичні властивості цих сполук. Енергія забороненої зони ( $E_g$ ) при 300 К для  $Tl_2CdSnSe_4$ , оцінена за коефіцієнтом оптичного поглинання, становить 1,32 еВ, це має добру узгодженість з параметром 1,29 еВ, встановленим згідно вимірювань фоточутливості при 300 К [1]. Для сполуки  $Tl_2CdGeSe_4$  значення енергії  $E_g$  становить 1,52 еВ при 300 К [2].

Для сполук  $Tl_2CdSi_3Se_8$  та  $Tl_2CdGe_3Se_8$  також було проведено вимірювання спектральної залежності коефіцієнта оптичного поглинання в області краю поглинання при 300 та 100 К. Результати досліджень представлені на рис. 1, 2.

Енергія забороненої зони ( $E_g$ ) для сполуки  $Tl_2CdSi_3Se_8$  становить 2.1 та 2.21 еВ при 300 та 100 К відповідно.

Для сполуки  $Tl_2CdGe_3Se_8$  ці значення становлять 1,86 при 300 К та 1,97 еВ при 100 К.

Важливою характеристикою напівпровідників, яка визначає основну мету їх практичного застосування, є температурна зміна забороненої зони [3].

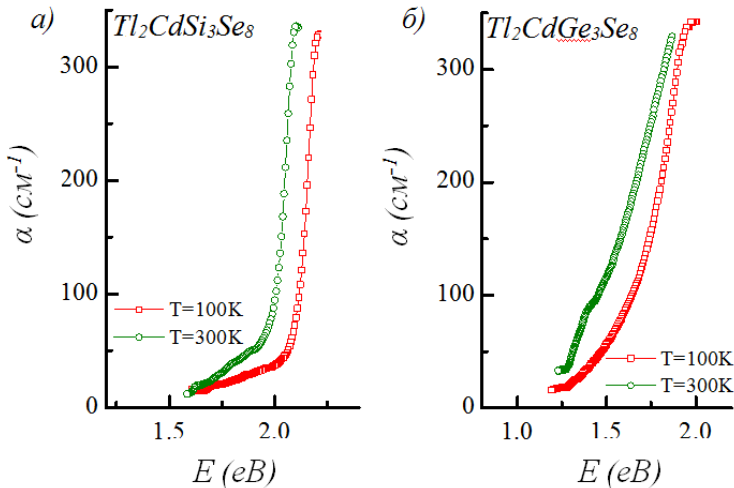


Рис. 1. Спектральний розподіл коефіцієнта поглинання зразків  $Tl_2CdSi_3Se_8$  (а) та  $Tl_2CdGe_3Se_8$  (б)

Встановлено, що з підвищенням температури краї зони провідності і валентної зони починають помітно проникати в заборонену зону, що в кінцевому підсумку призводить до її зменшення, що підтверджується результатами роботи [4].

### Література:

1. Tuan V.Vu, Lavrentyev A.A., Gabrelian B.V., Selezen A.O., Piskach L.V., Myronchuk G.L., Denysyuk M., Tkach V.A., Phamh Kh.D., Khyzhun O.Y. *Opt. Mater.* **111**, 110656 (2021).
2. Vu T.V., Lavrentyev A.A., Gabrelian B.V., Selezen A.O., Olekseyuk I.D., Piskach L.V., Myronchuk G.L., Denysyuk M., Tkach V.A., Hieu N.N., Pham Kh.D., Khyzhun O.Y. *J.Solid State Chem.* **302**, 122453 (2021).
3. Pankove J. I. *Optical Process in Semiconductors. Dover Publications, Inc., New York, 1975. P. 35.*
4. Huliамov H., Sharybaev N. Yu. Vlyanye temperatury na shyrynu zapreshchenoi zony poluprovodnyka. FYP. 2011. T. 9, № 1. С. 40-43.

## Asymptotic theory for the directed transport of suspended ferromagnetic nanoparticles

A.T. Liutyi<sup>2</sup>, *PhD student*; Yu.S. Bystrik<sup>1</sup>, *Head of the Lab.*;

T.V. Lyutyi<sup>2</sup>, *Associate Professor*; S.I. Denisov<sup>1</sup>,  
*Professor, Principal Res. Ass.*

<sup>1</sup>Institute of Applied Physics, NAS of Ukraine, Sumy, Ukraine

<sup>2</sup>Sumy State University, Sumy, Ukraine

We have studied analytically and numerically the phenomenon of directed transport of spherical ferromagnetic nanoparticles of radius  $a$  induced in a viscous liquid by the harmonically oscillating gradient magnetic field  $\mathbf{H}_g = gx \sin(\Omega t + \phi) \mathbf{e}_x$  in the presence of the time-independent uniform magnetic field  $\mathbf{H} = H_{\parallel} \mathbf{e}_x + H_{\perp} \mathbf{e}_y$ . Here,  $g (\geq 0)$  is the gradient of the magnetic field  $\mathbf{H}_g$ ,  $\Omega$  and  $\phi$  are its frequency and initial phase,  $x$  is the  $x$ -coordinate of the particle center,  $H_{\parallel}$  and  $H_{\perp}$  are the parallel and perpendicular components of the magnetic field  $\mathbf{H}$ , and  $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$  are the unit vectors along the corresponding axes of the Cartesian coordinate system  $xyz$ . Assuming that the magnetization vector  $\mathbf{M} = \mathbf{M}(t)$  ( $|\mathbf{M}| = M = \text{const}$ ) is ‘frozen’ into each nanoparticle, we reduced the torque and force balance equations to a set of two coupled deterministic equations [1]

$$\dot{\varphi} = v_{\perp} \cos \varphi - v_{\parallel} \sin \varphi - v_g r_x \sin \varphi \sin(\tau + \phi), \quad (1)$$

$$\dot{r}_x = (4/3)v_g \cos \varphi \sin(\tau + \phi). \quad (2)$$

Here,  $\tau = \Omega t$  is the dimensionless time, the overdot denotes the derivative with respect to  $\tau$ ,  $\varphi = \varphi(\tau)$  is the magnetization angle (angle between the vectors  $\mathbf{M}$  and  $\mathbf{e}_x$ ),  $r_x = r_x(\tau) = R_x/a$ ,  $R_x$  and  $r_x$  are the dimension and dimensionless  $x$ -coordinates of the nanoparticle center, respectively,  $v_g = Mga/6\eta\Omega$  characterizes the dimensionless value of the gradient magnetic field  $\mathbf{H}_g$ ,  $\eta$  is the dynamic viscosity of liquid, and  $v_{\perp} = MH_{\perp}/6\eta\Omega$  and  $v_{\parallel} = MH_{\parallel}/6\eta\Omega$  are the dimensionless parameters characterizing the perpendicular and parallel components of the magnetic field  $\mathbf{H}$ . The main feature of these equations, that makes it difficult to solve them, is that they are stiff, i.e., any numerical method for their solution becomes numerically unstable with increasing  $\tau$  (the reason is that  $|r_x(\tau)|$  infinitely grows and  $\varphi(\tau)$  tends to the discontinuous step function as  $\tau \rightarrow \infty$ ).

Using Eqs. (1) and (2) and the discrete-time approximation, we derived the asymptotic expressions for the nanoparticle coordinate  $r_x(\tau_n)$  at discrete dimensionless times  $\tau_n = 2\pi n$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) for small ( $n \ll N$ ) and large ( $n \gtrsim N$ ) times. Applying the matched asymptotic expansion method [2], introducing the initial position  $r_{x0} = r_x(0)$  and assuming that  $v_g \ll 1$  and  $v_\perp \sim |v_\parallel| \gg 1$ , we found  $r_x(\tau_n)$  for all  $n$  (including  $n = 0$ )

$$r_x(\tau_n) = \begin{cases} r_{x0} [1 + 4\pi v_g^2 v_\perp^2 / 3 (v_\perp^2 + v_\parallel^2)^{3/2}]^n, & n = 0, 1, \dots, N, \\ r_x(2\pi N) + 2\pi \bar{v}_\infty (n - N), & n = N + 1, \dots, \end{cases} \quad (3)$$

where  $\bar{v}_\infty = 8v_g \operatorname{sgn}(r_{x0}) (1 - v_\perp^2 / v_g^2 r_{x0}^2) / 3\pi$  is a dimensionless average velocity  $\bar{v}_n = [r_x(2\pi n) - r_x(2\pi n - 2\pi)] / 2\pi$  of the nanoparticle at large times ( $n \rightarrow \infty$ ) and the sign function  $\operatorname{sgn}(x)$  is defined as 1 (if  $x > 0$ ), 0 (if  $x = 0$ ) and  $-1$  (if  $x < 0$ ). Finally, defining  $N$  from the condition  $\bar{v}_N = \bar{v}_\infty$ , we numerically verified the analytical result (3) for the  $\text{SmCo}_5$  nanoparticles suspended in water at room temperature (293 K) and characterized by the following parameters:  $M = 1.36 \times 10^3 \text{ emu cm}^{-3}$ ,  $\eta = 1.00 \times 10^{-2} \text{ P}$ ,  $a = 3 \times 10^2 \text{ nm}$ ,  $g = 10^2 \text{ Oe cm}^{-1}$ ,  $\Omega = 4 \times 10^2 \text{ rad s}^{-1}$ ,  $\phi = \pi/2 \text{ rad}$ , and  $H_\parallel = H_\perp = 10 \text{ Oe}$  (in this case  $N \approx 6.46 \times 10^4$ ).

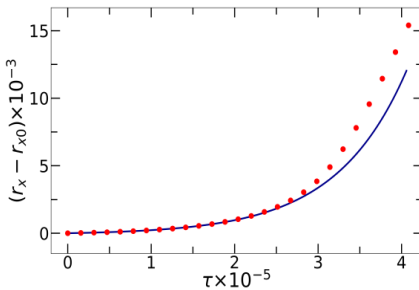


Figure 1 – The time-dependency of  $(r_x - r_{x0}) \times 10^{-3}$  for the  $\text{SmCo}_5$  nanoparticle characterized by the parameters introduced above and  $|r_{x0}| = 10^2$ . The blue solid line represents the theoretical result (3), while the red circle symbols – the numerical solution of Eqs. (1) and (2).

As seen, at small  $\tau$  the theoretical and numerical results are in perfect quantitative agreement with each other. Some difference between them at large times arises from that in  $\bar{v}_\infty$  the only main term of the asymptotic expansion of  $\bar{v}_n$  is used.

1. S.I. Denisov, T.V. Lyuty, A.T. Liutyi, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **55**, 045001 (2022).
2. P.A. Lagerstrom, *Matched asymptotic expansions: Ideas and techniques* (New-York: Springer-Verlag: 1988).



## ***Ab initio* calculations of electronic properties of non-stoichiometric CdTe clusters with spherical form**

Lilia Deva<sup>1</sup>, *PhD Student*; Andrii Kashuba<sup>1</sup>, *Associate Professor*;  
Myron Rudysh<sup>2</sup>, *Associate Professor*; Ihor Semkiv<sup>1</sup>, *Associate Professor*;  
Pavlo Shchepanskyi<sup>3</sup>, *Associate Professor*;

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

<sup>2</sup>Jan Długosz University in Częstochowa, Częstochowa, Poland

<sup>3</sup>Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

Non-stoichiometric  $\text{Cd}_m\text{Te}_n$  ( $m \neq n$ :  $\text{Cd}_{13}\text{Te}_4$ ,  $\text{Cd}_4\text{Te}_{13}$ ,  $\text{Cd}_{19}\text{Te}_{16}$ ,  $\text{Cd}_{16}\text{Te}_{19}$ ,  $\text{Cd}_{38}\text{Te}_{28}$ , and  $\text{Cd}_{28}\text{Te}_{38}$ ) clusters with spherical form and diameter ( $D$ ) 1, 1.4, and 1.6 nm are studied. These  $\text{Cd}_m\text{Te}_n$  clusters have  $T_d$  point group symmetry. All calculations including geometry optimization and energy spectra of the  $\text{Cd}_m\text{Te}_n$  clusters were made using density functional theory (DFT). The GGA+PBE approximation was used to describe the exchange–correlation energy of the electronic subsystem with Hubbard corrections (GGA+ $U$ ). Based on the optimized structure of the bulk CdTe, the  $\text{Cd}_m\text{Te}_n$  clusters (in spherical form) with diameter ( $D$ ) 1, 1.4, and 1.6 nm were built. The convergence criteria for energy and force were set to  $\sim 3 \times 10^{-4}$  eV and  $\sim 5 \times 10^{-2}$  eV/Å respectively for all the calculations. To accurately describe the electronic spectrum, two Hubbard corrections were selected for the studied objects: for  $d$ -orbitals of Cd ( $U_{4d} = 5.80$  eV) and  $p$ -orbitals of Te ( $U_{5p} = 2.55$  eV).

Structural properties, bond length, symmetry and electronic properties like the HOMO-LUMO gap, binding energy, and electronegativity have been analyzed.

Structure analysis shows that the  $\text{Cd}_m\text{Te}_n$  clusters with rich content of Cd ( $m/n > 1$ ) have larger Cd-Te average bonds lengths than the Te-content rich clusters ( $m/n < 1$ ). For all clusters the structure symmetry was saved. Analysis of the energy properties shows that the solvent (water, acetone or ethanol) doesn't have effects the energy position of the HOMO, LUMO, and HOMO-LUMO gap. Increasing of the HOMO-LUMO gap when the composition ratio  $m/n$  is heading to 1 is observed. Additionally, it was revealed based on the calculated value of the binding energy, that the samples with  $m/n < 1$  (Te-rich clusters) are more stable than samples with  $m/n > 1$  (Cd-rich clusters).

## High-sensitivity gas sensors based on metal oxide thin films for industrial applications

O. Fomenko, *student, group FE-11*; U. Shvets, *Senior Lecturer*;  
I. Shpetnyy, *Associate Professor*  
Sumy State University, Sumy, Ukraine

The high-sensitive gas sensors have an enormous variety of applications such as in environmental quality control, public safety, medical applications, and applications in the automotive industry, as well as air conditioning systems in aircrafts, spacecrafts, vehicles, and houses. Nowadays development of novel gas sensing devices is highly required due to the increasing demands in the environmental monitoring, medical practice, security, monitoring of storages of explosive and harmful gases and other applications. With rising importance of hydrogen as a potential energy carrier, safety risks associated with its use remain in the center of attention of many scientists and engineers. Among other issues, reliable leakage detection is extremely important so the development of improved, highly sensitive, accessible and inexpensive hydrogen gas sensors is thus increasingly in demand. The principle of semiconducting metal oxides thin films sensors is based on the change in the electrical conductivity of a semiconductor film due to gas adsorption on its surface. Semiconducting metal oxides such as titanium dioxide, nickel oxide, tin dioxide, , and zinc oxide are used for gas sensing applications due to the sensitivity of their electrical conductivity to the composition of the ambient gas, which arises from charge transfer interactions with reactive gases such as hydrogen, oxygen, mono-nitrogen oxides, carbon monoxide, hydrocarbons, volatile organic compounds, and ozone. The metal oxide gas sensors are promising candidates due to their high sensitivity and low price.

In this work, a flexible hydrogen gas sensor with such capacitor-like Pt/TiO<sub>2</sub>/Pt electrode arrangement fabricated on polyimide foil is presented and characterized in terms of hydrogen gas sensing properties and bending endurance, including operation at high humidity and room temperature. The prepared sensor exhibited high response ( $R_{\text{air}}/R_{\text{H}_2}$ ) of more than  $10^5$  for 10000 ppm H<sub>2</sub> at relatively low operation temperature of 150C, with the lowest detected concentration of 3 ppm H<sub>2</sub>. The bending the sensor  $10^5$  times over a diameter of 10 mm led to a slight improvement of the sensing parameters, particularly to higher response values and faster response rate.

## Вплив температури термообробки на магнітні властивості композитних матеріалів на основі Fe та SiO<sub>2</sub>

Долгов-Гордійчук С.Р., *аспірант*; Пилипенко О.В., *к.ф.-м.н., ст. викладач*; Жаботинський В.І., *студент гр. ЕПм.-21н*;  
Пазуха І.М., *к.ф.-м.н., доцент*;  
Шкурдода Ю.О., *д.ф.-м.н., професор*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Магнітні параметри композитних феромагнітних матеріалів (коерцитивна сила  $B_c$ , поле насичення  $B_s$  та залишкова намагніченість  $M_r$ ) важливі з точки зору їх практичного застосування. Так, композитні матеріали з порівняно малими значеннями поля насичення значно перспективніші для використання їх в якості функціональних матеріалів. У зв'язку з цим були проведені дослідження магнітних властивостей композитних феромагнітних матеріалів, сформованих на основі Fe та SiO<sub>2</sub>. Всі зразки отримані методом шарового магнетронного розпилення у вакуумній камері при тиску газів залишкової атмосфери  $10^{-7}$  Торр та при тиску робочого газу (Ar) 3 мТорр. Базовою була шарувата структура [Fe( $d_{Fe}$ )/SiO<sub>2</sub>(3)]<sub>10</sub>/П, де ефективними товщинами феромагнітних шарів змінювалася в межах від 2 до 9 нм, товщина діелектричних становила 3 нм і залишалася незмінною.

На рисунку 1, як ілюстрацію, наведено залежності нормованої намагніченості від індукції прикладеного зовнішнього магнітного поля для шаруватих плівок [Fe(5)/SiO<sub>2</sub>(3)]<sub>10</sub>/П у невідпаленому стані та після термообробки за температури 700 К. Слід відмітити, що для свіжосконденсованих плівок з ефективною товщиною шарів Fe 2 – 5 нм практично відсутній магнітний гістерезис за кімнатної температури (рис. 1а).

Для таких зразків гістерезис з'являється після зниження температури вимірювання до 10 К. Природа цього гістерезису пов'язана з блокуванням суперпарамагнітних частинок при низьких температурах. Крім того, величина намагніченості залежить від температури. Все це свідчить, що структури [Fe/SiO<sub>2</sub>]<sub>10</sub>/П з  $d_{Fe} = 2 - 5$  нм та  $d_{SiO_x} = 3 - 5$  нм поводять себе як система суперпарамагнітних

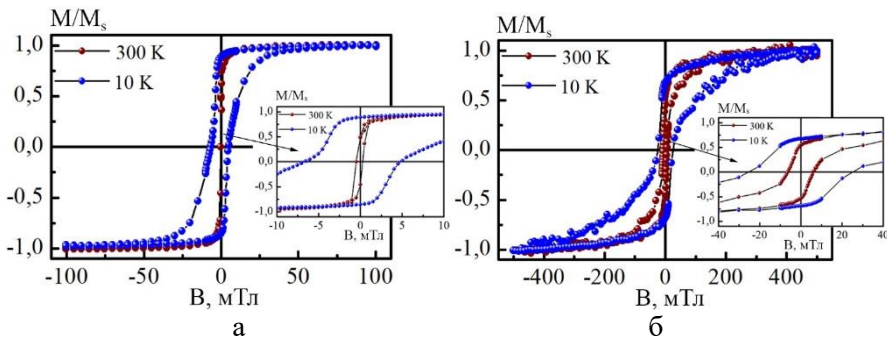


Рисунок 1 – Залежність відносної намагніченості від індукції магнітного поля при вимірюванні за температур 300 та 10 К для свіжесконденсованих (а) та відпалених за  $T_b = 700$  К (б) шаруватих структур  $[\text{Fe}(5)/\text{SiO}_2(3)]_{10}/\text{П}$

частинок. Причому, слабка залежність намагніченості від температури і насичення залежності  $M/M_S(B)$  у полях до 0,4 Тл і за температури 10 К також підтверджує, що у плівкові зразки не містять великої кількості парамагнітних домішок.

При збільшенні ефективної товщини шарів Fe до 6 – 10 нм форма петлі кривих намагнічування дещо змінюється. При таких товщинах Fe по формі залежностей  $M/M_S(B)$  можна говорити про внесок як від суперпарамагнітної, так і від феромагнітної фракції.

На відміну від структур  $[\text{Fe}/\text{SiO}_2]_{10}/\text{П}$  з  $d_{\text{Fe}} = 2 - 5$  нм, у структурах з  $d_{\text{Fe}} = 6 - 10$  нм виразно помітна тенденція до насичення намагніченості у малих полях, що є характерним для внеску від феромагнітної фази. Однак, ширина петлі гістерезису, особливо при 300 К, залишається ще малою. Це свідчить, що феромагнітної фази в плівках  $d_{\text{Fe}} = 6-10$  нм відносно мало. Структури з  $d_{\text{Fe}} > 10$  нм демонструють поведінку, типову для феромагнітних плівок, а саме - слабку температурну залежність намагніченості і вузьку, близьку до прямокутної форми, петлю гістерезису.

## Електропровідність острівцевих плівок Fe

Шкарупа Т.В., аспірант; Загорулько А.С., студент  
Сумський державний університет, м. Суми

Острівцеві плівки отримані на діелектричні підкладки викликають великий інтерес як з фундаментальної точки зору так і для прикладного використання. Електропровідність таких систем характеризується рядом закономірностей, що суттєво відрізняються від суцільних плівок, зокрема, від'ємним температурним коефіцієнтом опору (ТКО), нелінійністю вольт-амперної характеристики, значною тензочутливістю.

Острівцеві плівки та структурно-несуцільні плівки Fe були нанесені за допомогою магнетронного напилення при кімнатній температурі на склокерамічну підкладку з буферним шаром SiO<sub>2</sub> товщиною 10 нм. Це було зроблено з метою реалізації тривимірного росту острівців Fe на поверхні буферного шару [1, 2]. Ефективна товщина плівок змінювалася від 2 до 10 нм. Після формування системи острівців на них було нанесено захисний шар SiO<sub>2</sub> товщиною 10 нм.

Для встановлення механізмів провідності острівцевих та структурно-несуцільних плівок SiO<sub>2</sub>/Fe/SiO<sub>2</sub>/П було проведено дослідження залежності їх питомого електроопору від температури. Варто зауважити, що питомий опір таких плівок сильно залежить від розмірів острівців та коефіцієнта заповнення підкладки, які визначаються ефективною товщиною. Так, питомий опір острівцевих плівок ефективною товщиною 2 нм складає величину  $7 \cdot 10^{-2}$  Ом·м. При збільшенні ефективною товщини зразків до 4 нм питомий опір зменшується до величини  $5 \cdot 10^{-5}$  Ом·м. Суттєве зменшення питомого опору обумовлено збільшення розмірів острівців Fe та збільшенням коефіцієнта заповнення підкладки. При цьому температурні залежності питомого опору мають експоненційний характер, а значення ТКО є від'ємними. Отже для острівцевих плівок можна говорити про діелектричний режим провідності. У діелектричному режимі провідність визначається термічно активованим тунелюванням електронів між розділеними прошарком діелектрику металевими частинками. Цей механізм є типовим для плівок з концентрацією металевої фази нижче порогу перколяції. Також слід відмітити, що за умови малих ефективних товщин Fe ( $d_{Fe} = 2-4$  нм) у області низьких

температур, електроперенесення може здійснюється одночасно тунелюванням електронів між металічними гранулами крізь діелектричні прошарки і стрибками електронів по локалізованим станам зі зміною довжини стрибка. Зі збільшенням товщини шарів Fe відбувається поступовий перехід від електронного тунелювання до стрибкового механізму провідності. Це пов'язано з тим, що діелектричні прошарки можуть перетворюватися на напівпровідникові за рахунок недостатчі молекул кисню.

При подальшому збільшенні ефективної товщини Fe ( $d_{\text{Fe}} \geq 5$  нм) фіксується перехід до металічної температурної залежності питомого опору (додатні значення ТКО). При ефективних товщина Fe ( $d_{\text{Fe}} = 5-7$  нм) плівки залишаються структурно-несуцільними, але вже є електрично суцільними. Тобто за таких ефективних товщин формується лабіринтна структура (утворюється нескінченний металічний кластер). Питомий опір при цьому зменшується до величини  $6 \cdot 10^{-7}$  Ом·м. Отже процеси електропереносу у даних структурно-несуцільних плівках обумовлені провідністю по металевих кластерах які формуються навіть при ефективній товщині шарів Fe 5 нм і визначаються розсіянням електронів провідності на границях зерен, домішках і фононах.

Порівнюючи результати досліджень для плівок  $\text{SiO}_2/\text{Fe}/\text{SiO}_2/\text{П}$  та плівок  $\text{Fe}/\text{SiO}_2/\text{П}$  (без захисного шару) слід відмітити наступне. Для плівок без захисного шару  $\text{SiO}_2$  зміна механізмів провідності відбувається при значно більших товщинах. Так перехід температурної залежності до металічного характеру для невідпалених плівок  $\text{Fe}/\text{SiO}_2/\text{П}$  відбувається лише при ефективних товщинах Fe більше 15 нм. Варто зауважити, що для таких зразків хоч і спостерігається лабіринтна структура, але вони залишаються електрично не суцільними. Така суттєва відмінність на нашу думку, обумовлена наявністю у зразках без захисного шару значно більшої кількості оксидної фази  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

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

1. Shiyang Liu, Yonghui Ma, Ling Chang, Guojian Li, Jianhao Wang, Qiang Wang, *Thin Solid Films*. **651**, 1 (2018).
2. Guojian Li, Jianhao Wang, Jiaojiao Du, Yonghui Ma, Tie Liu, Qiang Wang, *J. Magn. Magn. Mater.* **441**, 448 (2017).

## Наноструктури для електроніки на основі двовимірних матеріалів

Шевченко В.І. *магістрант*; Поляченко О.С. *магістрант*;  
Шумакова Н.І., *доцент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Наноструктуровані тонкі плівки мають багато різних застосувань у галузях промисловості. В електроніці їх використовують для виготовлення транзисторів, діодів, конденсаторів та пристроїв пам'яті; в оптиці - для створення покриттів, фільтрів, поляризаторів чи голограм. Їх також використовують для створення акумуляторів, суперконденсаторів та паливних елементів. У сенсоріці їх можна використовувати для створення газових сенсорів чи сенсорів тиску (див., наприклад, [1]).

Шляхом інтеграції технології розпорошення методом PVD з нанотехнологією можна створювати нові матеріали з унікальними властивостями та функціями, що знайде широке застосування в різних галузях промисловості.

Серед наноструктур 2D матеріали, які кристалізуються у вигляді атомарно тонких шарів, вирізняються своїми унікальними властивостями та різноманітністю галузей застосувань. Починаючи з відкриття графену на початку 2000-х років, клас 2D матеріалів став більш широким, оскільки були синтезовані нові матеріали, такі як гексагональний нітрид бору (hBN) або чорний фосфор (BP).

Через прояв розмірних ефектів, 2D матеріали виявляють електронні властивості, значно відмінні від властивостей масивних зразків такого ж хімічного складу. Якщо 2D матеріали сформовані у вигляді багат шарової структури, то властивості окремих шарів реалізують в одній 2D структурі.

1. M.Z. Merad, L. Fellah, A. Diha, *J. Nano- Electron. Phys.* 15, 5 (2023).

## Using the additivity principle in the study of electronic properties of high-entropy materials

Krytskiy V.V. *Masters*; Rylova A.K., *Graduate student*;  
Shumakova N.I., *Associate Professor*

Sumy State University, Sumy, Ukraine

Research on the crystal structure and electrophysical properties of high-entropy film alloys based on Fe, Co, Ni, Cr, and Cu was initiated in [1]. Film samples were obtained by either simultaneous condensation of individual components or layer-by-layer condensation followed by heat treatment to homogenize the phase composition. In both cases, the main one was the fcc phase (parameter  $a = 0.360$  nm) with a slight admixture of the bcc phase ( $a \cong 0.284$  nm). To compare the experimental results regarding the specific resistance ( $\rho$ ) and the thermal coefficient of resistance (TCR,  $\beta_T$ ), we used the theoretical relations given in [2]:

$$\rho = \sum_{i=1}^n c_i \rho_i + \rho_r, \quad (1)$$

$$\beta_T = \frac{d \ln \rho}{dT} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \rho_i \beta_{Ti}}{\sum_{i=1}^n c_i \rho_i}, \quad (2)$$

where  $\rho_r$  is the residual resistance that satisfies the requirement  $\rho_r \ll \rho$ ;  
 $c_i$  - the atomic fraction of the  $i$ -th element.

It was found that the experimental data for  $\beta_T$  ( $\beta_T = 3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ) correspond well to the calculated data based on relation (2). According to [3], such  $\beta_T$  values correspond to medium-entropy alloys.

To solve the problem of the concentration dependence of the resistivity, we firstly considered bulk multicomponent alloys, since very limited experimental data for film materials are known in the literature. At the same time, the obtained results for bulk alloys allow us to generalize them to the case of film alloys.

The calculations were based on the relation from work [4] for the concentration dependence of the Debye temperature for bulk high-entropy alloys (HEA).

$$\rho = \frac{1-x}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \rho_i + x \rho_n.$$



The multiplier  $(1-x)/(n-1)$  in front of the sum sign means that we are considering equiatomic alloys, the concentration (atomic fraction) of which gradually decreases as the concentration  $x$  of the doping element increases (it is denoted by the index  $n$ ), which is alternately represented by all  $n$  elements of HEA. The maximum value of  $\rho$  was obtained for the 5-component HEA, which is realized when  $Me_n = Cr$  (changes from  $4.9 \cdot 10^{-7}$  Om·m at the  $x = 0$  to  $4.2 \cdot 10^{-7}$  Om·m at the  $x = 0.2$ ), and the minimum value is obtained when  $Me_n = Co$  ( $\rho$  changes from  $3 \cdot 10^{-7}$  Om·m at the  $x = 0$  to  $4.2 \cdot 10^{-7}$  Om·m at the  $x = 0.2$ ). For other supporting elements, the value of  $\rho$  varies within the values for  $Me_n = Cr$  and  $Me_n = Co$ . These results correspond to similar results given in [5]. Thus, it is possible to conclude about the possibility of varying the  $\rho$  value in the HEA when using different supporting elements.

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of Ukraine (2022-2024, No. 0122U000785)

1. Vorobiov S.I., Kondrakhova D.M., Nepijko S.A., Poduremne D.V., Shumakova N.I., Protsenko I.Yu. *J. Nano- Electron. Phys.*, **8**, 3 (2016) 03026.
2. Vasyukhno M.V., Klochok V.S., Shumakova N.I., Rylova A.K., Protsenko I.Yu. *IEEE 11 th International Conference on Nanomaterials Applications & Properties* (2021), <https://ieeexplore.ieee.org/document/9568521>.
3. L.V. Odnodvoretz, I.Yu. Protsenko, Y.M. Shabelnyk, N.I. Shumakova, *J. Nano- Electron. Phys.* **12**, 2 (2020) 02014.
4. Protsenko I. Yu. , Odnodvoretz L. V., Shumakova N. I., Protsenko S.I., Shabelnyk, Yu. M. *Eur. Phys. J. Plus* (2024) 139:252
5. Protsenko I.Yu., Odnodvoretz L.V., Vasyukhno M.V., Klochok V.S., Rylova A.K., Shumakova , N.I., *J. Nano-Electron. Phys.* **14**(4), (2022) 04021.

Scientific supervisor – Protsenko I.Yu., *Dr. Sci, Professor*

## Максени як матеріал майбутнього

Дмитрій Будко<sup>1</sup>, студент гр. ФЕ.М-31  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Максени — це двовимірні наноматеріали, які мають унікальні властивості, завдяки яким вони можуть стати перспективними матеріалами для вдосконалення електроніки. Ось декілька проблем, які максени можуть допомогти вирішити:

1. Зменшення ваги та розміру електронних пристроїв:

Вони значно легші за традиційні матеріали, такі як сталь і алюміній, що дозволяє значно зменшити вагу електронних пристроїв, що сприяє зменшенню розміру електронних компонентів.

2. Підвищення продуктивності електронних пристроїв:

Через свою високу провідність максени можуть використовуватися для виготовлення нових типів транзисторів, які є більш швидкими та енергоєфективними, ніж традиційні транзистори.

3. Створення гнучких та прозорих електронних пристроїв:

Деякі максени гнучкі та прозорі. Це дає змогу для створення нових типів електронних пристроїв, таких як гнучкі дисплеї та прозорі сенсорні екрани.

4. Підвищення стійкості електронних пристроїв до пошкоджень:

Максени мають високу механічну міцність, що робить їх стійкими до пошкоджень. Тим самим створювати більш міцні електронні пристрої.

5. Розробка покращених сонячних батарей:

Деякі максени здатні до більш ефективного поглинання світла, ніж традиційні матеріали, що використовуються в сонячних батареях.

6. Спрощення виробництва електронних компонентів:

Максени можуть бути виготовлені різними методами, включаючи 3D-друк. Це може допомогти спростити виробництво складних електронних компонентів.

1. M. Naguib, V.M. Mochalin, M.W. Barsoum, Y. Gogotsi, "MXenes: A New Family of Two-Dimensional Materials," *Advanced Materials* 26 (7), 992—1005 (2013) (invited review).
2. Naguib, M.; Kurtoglu, M.; Presser, V.; Lu, J.; Niu, J.; Heon, M.;
3. Hultman, L.; Gogotsi, Y.; Barsoum, M.W. (2011).

Наукове видання

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**ФЕЕ :: 2024**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

**МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ**

Відповідальний за випуск  
Декан ф-ту ЕлІТ

**Юрій Волк**

Комп'ютерне верстання  
Дизайн обкладинки

**Юрій Шабельник  
Юрій Шабельник**

Відповідальний редактор

**Юрій Шабельник**

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 8,08    Обл.-вид. арк. 6,30    Тираж 100 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Р.-Корсакова, 2, м. Суми, 40007,  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007

**Секції конференції:**

- 1. Електронне інформаційні системи.**
- 2. Електронні системи, прилади та засоби кодування інформації.**
- 3. Електротехніка та енергетика.**
- 4. Прикладна фізика та наноматеріали**

**Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Сумський державний університет  
вул. Харківська, 116, 40007 м. Суми, Україна  
тел. +38 0542 33 11 72  
<https://elitconference.sumdu.edu.ua>**