

**ПРОГРАМА**  
**77-Ї НАУКОВОЇ СТУДЕНТСЬКОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**  
**ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**  
**ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА**

**СЕКЦІЯ ФІЗИЧНИХ НАУК**

*Голова – к.ф.-м.н., доц. Н.В. Маслєєва.*  
*Секретар – аспірант Н.О.Фудулей.*

**Підсекція «Теоретичної фізики та астрономії»**

*Керівник – д.ф.-м.н., проф. В.М. Адамян.*  
*Секретар – аспірант А.В. Воробель.*

**26 квітня 13.30**

1. Модель ефективної теплопровідності неупорядкованих гетерогенних систем.  
*Доповідач – студ. IV курсу О.В. Єрьомін.*  
*Науковий керівник – к.ф.-м.н., доц. М.Я. Сушко.*
2. Структурні особливості скупчень галактик у багатих областях.  
*Доповідач – студ. 4 курсу В.М. Коршунов.*  
*Науковий керівник – д.ф.-м.н., проф. О.О. Панько.*
3. Закономірності та еволюція розподілу мас компонентів кратних зоряних систем з перетіканням речовини.  
*Доповідач – студ. IV курсу Д.Є. Твардовський.*  
*Науковий керівник – к.ф.-м.н., доц. В.І. Марсакова.*
4. Залежність показника кислотно – лужного балансу фізіологічних розчинів  $NaCl$  від концентрації та температури.  
*Доповідач – студ. 1-го курсу магістратури О. Д.Столярик.*  
*Науковий керівник – д.ф.-м.н., проф. Н. П.Маломуж.*

Обговорення доповідей

**Підсекція «Фізика напівпровідників та діелектриків»**

*Керівник – д.ф.-м.н., проф. В.А. Сминтина.*  
*Секретар – аспірант М.В. Кіосе.*

**27 квітня 13.30**

1. Вплив режимів сульфідної обробки на характеристики поверхні  $n-GaAs$ .  
*Доповідач – студ. IV курсу Я. П.Бурко.*  
*Науковий керівник – к. ф.-м.н., доц. Н. В. Маслєєва.*

2. Застосування тонких плівок оксиду цинку для створення газових сенсорів.

*Доповідач – студ. IV курсу В.О. Іванишина.*

*Науковий керівник – к.ф.-м.н., доц. А.П.Чебаненко.*

3. Вплив сульфідної обробки на спектри фотоструму р-п переходів на основі основі арсеніду галію.

*Доповідач – студ. I курсу магістратури Ю. Б. Матреницька.*

*Науковий керівник – к. ф.-м.н., доц. Н. В. Маслєєва.*

Обговорення доповідей

### **Підсекція «Фізики теплоенергетичних та хімічних процесів»**

*Керівник – д.ф.-м.н., проф. В.Я. Гоцульський.*

*Секретар – аспірант Н.О. Фудулей.*

**28 квітня 13.30**

1. Оптичні властивості модельних біологічних систем.

*Доповідач – студ. IV курсу М.О. Грац.*

*Науковий керівник – д.ф.-м.н., проф. В.Я. Гоцульський.*

2. Дистанційне керування пристроєм та індикація даних за допомогою ANDROID пристрою.

*Доповідач – студ. IV курсу Д.Д. Іванов.*

*Науковий керівник – к.ф.-м.н., доц. О.Є Сидоров.*

3. Цифрова обробка зображень МРТ мозку.

*Доповідач – студ. IV курсу А.О. Деревльова.*

*Науковий керівник – к.ф.-м.н., доц. Д.С. Дараков.*

Обговорення доповідей.

## **ТЕЗИ**

**77-ї НАУКОВОЇ СТУДЕНТСЬКОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА**

**26 – 28 квітня 2021 року**

**СЕКЦІЯ ФІЗИЧНИХ НАУК**

### **1. МОДЕЛЬ ЕФЕКТИВНОЇ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ НЕВПОРЯДКОВАНИХ ГЕТЕРОГЕННИХ СИСТЕМ**

*Студент 4 курсу О.В. Єрьомін*

Неоднорідні неупорядковані матеріали завдяки своїм унікальним властивостям починають знаходити широке застосування в техніці в якості холодагентів, охолоджувальних елементів у процесорах, трансформаторах. З огляду на це виникає потреба не тільки розробки нових неоднорідних матеріалів, але й створення методів прогнозування їх теплопровідності перед застосуванням. Існує ряд підходів (наприклад, Нільсена-Льюїса, Хемілтона-Кроссера) до теоретичної оцінки ефективної теплопровідності, але вони фактично зводяться до моделі Максвелла-Гарнетта, слабо теоретично обґрунтовані й задовільно описують теплопровідність лише у випадку низьких концентрацій домішок.

Мета цієї роботи — послідовно вивести закон, який би задовільно пов'язував ефективну теплопровідність системи із теплопровідностями компонентів системи. Проблема розбивається на дві задачі, які розв'язуються на базі методу компактних груп неоднорідностей. По-перше, для системи нікель-полівінілхлорид застосовуються наявні правила змішування до опису її електропровідності, після чого вони застосовуються до опису теплопровідності. Отримана теорія добре описує електропровідність на всьому інтервалі концентрацій нікелю, і на меншому — теплопровідність. По-друге, ефективна теплопровідність неоднорідного середовища знаходиться в рамках методу гомогенізації через розв'язування статичного рівняння теплопровідності методом послідовних ітерацій. З умови задачі природно впливає потреба застосувати підхід ефективного середовища. Зокрема, у межах першої ітерації він визначає ефективну теплопровідність через середньозважене теплопровідностей

## **2. ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЄМ ТА ІНДИКАЦІЯ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ANDROID ПРИСТРОЮ**

*Студент 4 курсу Д.Д. Іванов*

*Науковий керівник доцент О.Є. Сидоров*

Використання бездротових технологій дозволяє відмовитися від прокладення кабельних з'єднань, підвищивши при цьому гнучкість і мобільність системи в цілому. Коли ж йдеться про обмін даними з пристроями, що рухаються, або пристроями, що знаходяться під високою напругою, у вибухонебезпечному середовищі, бездротові технології стають просто незамінними.

В даній роботі приведено результати спроби автоматизації стенду з дослідження процесів займання порошкових матеріалів в умовах вертикальної печі розробленого в Інституті горіння та нетрадиційних технологій ОНУ імені І.І. Мечникова.

В процесі експлуатації устаткування було встановлено, що похибки введення значень пов'язані з явищем брязкоту електричних контактів у кнопках. Це призводило до ускладнень керування устаткуванням, а у

останньому періоді експлуатації, навіть до декількох випадків спонтанної зміни параметрів.

В результаті аналізу доступних нам засобів, було вирішено застосувати метод бездротового керування пристроєм за допомогою bluetooth сполучення пристроїв. З метою перенесення управління дослідницьким стендом на смартфон і звільнення додаткових виходів на мікроконтролеріз блоку управління було вилучено блок рідкокристалічної індикації суміщений з механічною клавіатурою, а на його місце було підключено bluetooth-модуль. За допомогою «MIT AppInventor» було побудовано тестовий варіант програмного забезпечення під операційну систему Андроїд. Розроблений додаток дозволив дистанційно змінювати та контролювати параметри нагріву печі, затримки та тривалості розпилу порошку і, при необхідності, проводити дистанційний пуск.

Таким чином, проведена робота та отримані результати мають стати базою для подальшого вдосконалення стенду та експериментальної методики.

### **3. ДИНАМІЧНЕ РОЗСІЯННЯ СВІТЛА МОДЕЛЬНИМИ БІОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ**

*Студентка 4 курсу М.О. Грац  
Науковий керівник професор В.Я. Гоцульський*

Білкові компоненти в плазмі крові людини відіграють важливу роль у формуванні її властивостей, насамперед, їх зсувної в'язкості, що визначає швидкість транспортних процесів. При цьому детальне дослідження зсувної в'язкості для водних розчинів різної концентрації, а також щільності розчинів дозволяє отримати додаткову інформацію про структурні перетворення макромолекул альбуміну та явища перколяції у плазмі крові людини. Зокрема, експериментально було встановлено, що зменшення концентрації білка до 0,9 від початкової величини шляхом додавання до плазми ізотонічного фізіологічного розчину призводить до таких змін, що характерні для структурного фазового переходу в плазмі. Ця концентрація збігається з емпіричним значенням, що визначає допустиме розведення плазми крові заміниками [1]. Також Фудулей Н. досліджувались температурні та концентраційні залежності кислотно-лужного індексу (рН) для фармакологічного водного розчину альбуміну, розведеного водою та фізіологічного - 0,09% - розчину вода - NaCl (рис.1). Початкові значення рН дорівнюють 7,35 для розчину альбуміну та 6,0 - для фізіологічного розчину.

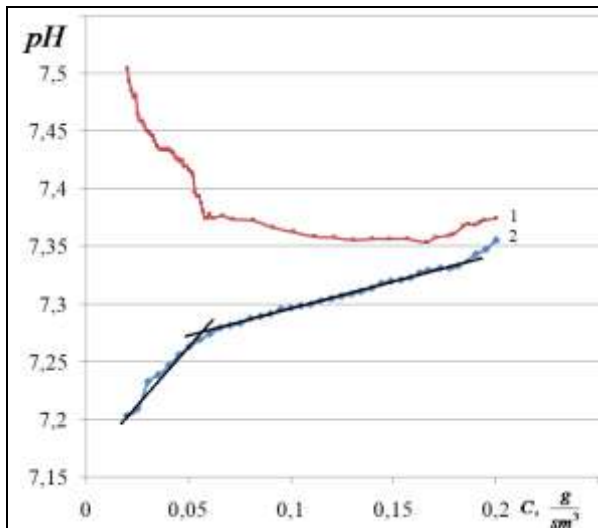


Рис.1. Індекс рН для розчинів людського альбуміну, розведених водою (1) та фізіологічним розчином (2).

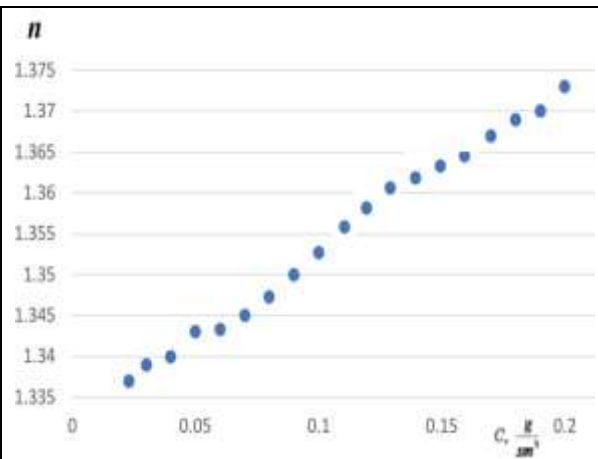


Рис.2. Показник заломлення для розчинів людського альбуміну, розведених водою

Нами отримана (рис.2) залежність показника заломлення водного розчину альбуміну за температури  $19^{\circ}C$ . Залежність  $n=f(C)$  теж має особливу точку за тієї ж концентрації, що і показник  $pH$ . Очікується, що результати вимірювання гідродинамічного радіусу оптичних неоднорідностей, отримані динамічним розсіянням світла, підтвердять олігомеризацію молекул альбуміну за граничних концентрацій для живих організмів.

Література:

1. Маломуж М.П., Булавін Л.А., Гоцульський В.Я., Гуслістий А.А. Характерні зміни густини та в'язкості плазми людської крові в залежності від концентрації білків. Український фізичний журнал, 65(2), 151 (2020). (10.15407/ujre65.2.151).

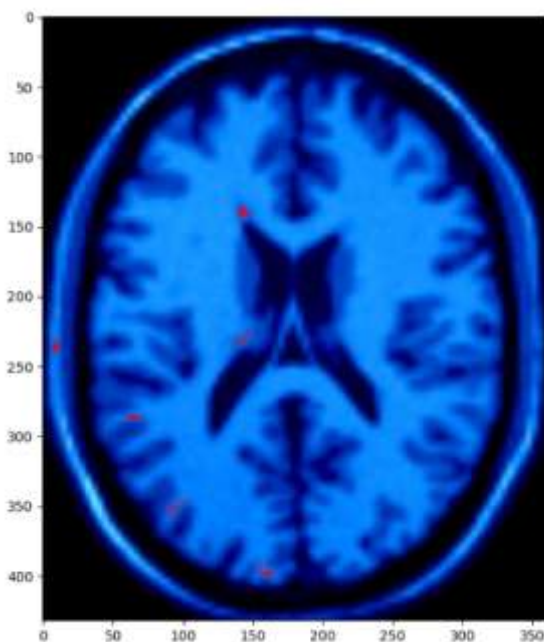
#### 4. ЦИФРОВА ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ МРТ МОЗКУ

*Студентка 4 курсу О.А. Деревльова  
Науковий керівник доцент Д.С. Дараков*

Актуальність полягає у необхідності точного і своєчасного діагностування захворювань мозку та інших органів, шляхом обробки знімків отриманих за допомогою МРТ. Цілі та задачі: 1) провести огляд основних видів медичних зображень; 2) провести огляд способів отримання та обробки цифрових медичних зображень; 3) описати структурну схему і проблематику обробки МРТ-зображень.

На відміну від радіології, ядерна медицина дозволяє здійснювати оцінку фізіології. Вся основна множина методів, які вирішують цю задачу, ділиться на методи обробки в частотній і просторовій областях. Етапами стандартної обробки та аналізу МРТ-зображень є: отримання зображення; попередня обробка; сегментація, що пов'язана з розбиттям зображення на області, що нас цікавлять; аналіз сегментованих зображень; розпізнавання та діагностика. Аналізовані МРТ - зображення не можна піддавати великій кількості операцій попередньої обробки. Даний процес може привести до значного зниження

точності роботи методу і до помилкового прийняття рішення. Для обробки зображень надається перевага мові програмування Python. Зазвичай, працюють з двома основними бібліотеками Python: OpenCV, NumPy.



Відомо, що пухлина відрізняється за кольором від частин мозку, які її оточують. Тому, ми підбираємо певні граничні значення R, G, B, в межах яких знаходиться колір пухлини. Програма за нашим алгоритмом перевіряє кожен піксель і якщо його значення не знаходиться в заданому діапазоні, то значення цього пікселя зануляються, тобто, він стає чорного кольору, а якщо його значення задовольняють заданому діапазону, то змінюються на максимальні (тобто піксель стає білим). Але при цьому залишаються на зображенні деякі частини мозку, що співпадають за кольором з пухлиною, а саме - межі поділу мозкової рідини. Тому, щоб прибрати з зображення те, що не стосується пухлини, використовується фільтр з маскою 15 на 15. Таким чином, ми прибираємо майже все зайве, щоб визначити місце знаходження пухлини. А незначні фрагменти мозку, які теж були виділені програмою, не заважатимуть при діагностиці.

## 5. ЗАСТОСУВАННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК ОКСИДУ ЦИНКУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ

*Студентка 4 курсу В.О. Іванишина  
Науковий керівник доцент А.П.Чебаненко*

Залежність властивостей ZnO від методів і режимів отримання, а також різних зовнішніх факторів, зокрема, адсорбційно-десорбційних процесів, особливо істотна в разі тонко плівкового матеріалу, в даний час викликає великий інтерес для застосування в області газової сенсорики. Залежно від режимів виготовлення зразка параметри адсорбції можуть істотно відрізнитися.

Питомий опір зразків ZnO змінюється в широких межах і залежить від ступеня відхилення складу від стехіометрії, методу виготовлення, стану поверхні. Тому актуальною є задача прогнозування електрофізичних властивостей ZnO з урахуванням різних процесів, в т.ч. адсорбційних, і застосування виявлених ефектів для виготовлення пристроїв газової сенсорики.

Принцип дії газових сенсорів ґрунтується на властивості ZnO змінювати свої електричні параметри при адсорбції молекул газу. Молекули кисню і діоксиду азоту при адсорбції на поверхні оксидів металів діють як акцептори, молекули водню як донори. Тому при адсорбції молекул кисню та діоксиду азоту відбувається зменшення провідності, а при адсорбції атомів водню відбувається збільшення провідності матеріалів на основі оксидів металів. Механізм газочутливості при адсорбції заснований на наявності поверхневих станів у оксиду металу, що утворюють приповерхневі локальні рівні енергії, які можуть займати електрони і дірки і тим самим утворювати поверхневий електричний заряд. При цьому в поверхневому шарі утворюється заряд, рівний за величиною і протилежний за знаком. Таким чином, формуються збагачені і збіднені області заряду, що змінюють електричний потенціал і провідність приповерхневої області плівки.

На газочутливість плівкового чутливого елемента впливають товщина плівки і розмір зерна. Тому для розробки перспективних газових сенсорів на основі ZnO необхідно використовувати наноструктуровані плівки, товщина і розмір зерен яких не перевищує товщину збідненого шару при адсорбції газу. Технологія формування нанокристалічних плівок ZnO для чутливих елементів газових сенсорів сумісна з технологією кремнієвої мікроелектроніки, в той час як для формування нанорозмірних монокристалічних плівок ZnO потрібні спеціальні підкладки ( $Al_2O_3$ , MgO та інші). Для забезпечення можливості вимірювання опору плівки ZnO в складі електричного вимірювального ланцюга газового сенсора без залучення складних вимірювальних схем, необхідно контролювано отримувати плівки з опором в діапазоні ( $10^4 - 10^6$ ) Ом.

Механізм роботи газових сенсорів на основі тонких плівок оксиду цинку має ряд фізико-хімічних та технологічних властивостей. Дуже часто для покращення властивостей плівок додають благородні метали. Як правило, два механізми можуть проілюструвати роль благородного металу в підвищенні газочутливих властивостей - хімічної сенсibiliзації та електронної сенсibiliзації:

**1. Хімічна сенсibiliзація.** Молекули кисню схильні до адсорбції на частинках благородних металів, отже, ці надлишкові молекули будуть далі "вилитися" на поверхню ZnO, збільшуючи кількість реакційно здатних молекул кисню, що беруть участь у процесі реакції, і одночасно забезпечуючи більш активні ділянки, як показано на рис. 1.

**2. Електронна сенсibiliзація.** Оскільки оксид цинку має нижчу роботу виходу, ніж благородний метал, то коли частинки благородних металів осідають на поверхні, частина вільних електронів буде переходити від ZnO до цих частинок, завдяки чому на контактній поверхні поділу будуть

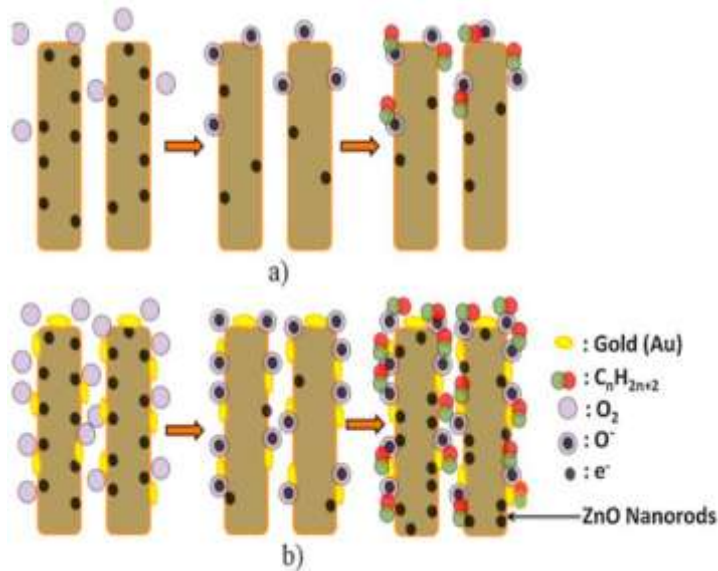


Рис.1. Принципова діаграма зондування алканів (а) чистих нанодротів оксиду цинку та (б) функціонованих нанодротів .

утворюватися переходи Шоттки, що може додатково зменшувати концентрацію вільних електронів в зоні провідності ZnO і поглиблювати товщину шару збіднення електронів. Крім того, оксиди благородних металів є великим акцептором кисню; контактуючи з відновлювальним газом, вони також відновлюються до благородного металу, який вносить багато електронів. Крім того, модифікація благородними металами може, очевидно, зрушити рівень Фермі ZnO і зменшити енергію, необхідну для переходу електрона, як показано на рис. 2.

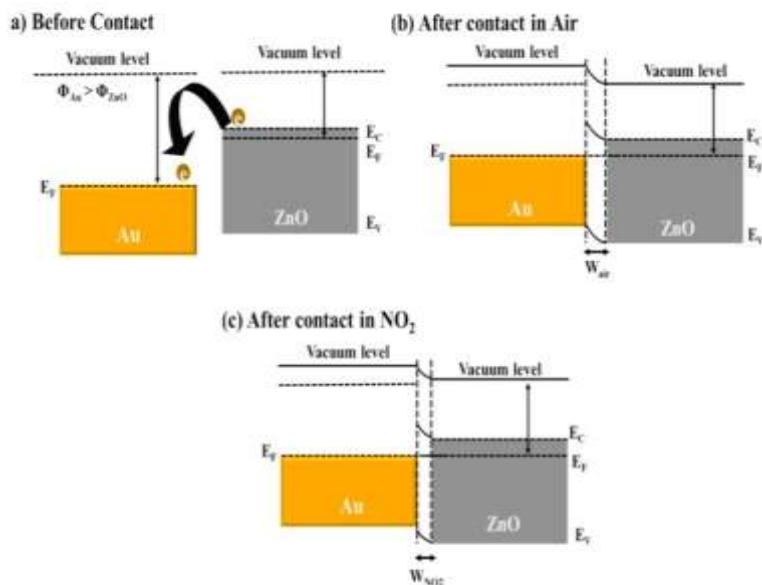


Рис. 2 .Принципова схема енергетичного рівня Au, функціонізованого ZnO(a) до контакту з повітрям, (b) під час контакту з повітрям та (c) під час контакту з NO<sub>2</sub>



Газові датчики можна використовувати для виявлення забруднювачів, що потрапляють у повітря. Основними компонентами газових датчиків є елементи, що реагують на зміни фізичних або хімічних властивостей, які перетворюються перетворювачами в електричні сигнали. Цей тип пристроїв широко використовується в моніторингу навколишнього середовища і зазвичай є частиною системи безпеки, охорони побуту, дослідницьких лабораторій та в промисловості, де газовий датчик використовується для виявлення витoku газу, і процес може бути автоматично вимкнений.

Таким чином, огляд літературних джерел свідчить, що завдяки своїм відмінним фізичним та технологічним властивостям: високій провідності, майже 100% прозорості та тонкості, плівки з оксидом цинку дуже часто використовуються у різноманітних приладах, а особливої уваги заслуговує їхнє застосування в газових сенсорах, що дає можливість реагувати на найменші концентрації газу та попереджати різноманітні техногенні ситуації.

Література:

1. П.Н. Крылов, А.С. Алалыкин и др. Влияние ионно-лучевой обработки в процессе ВЧ магнетронного распыления на свойства пленок ZnO. - Физика и техника полупроводников, 2019, том 53, вып. 11.
2. Г.С. Корнющенко\*, В.В. Наталіч, В.І. Перекрестов, Ю.О. Космінська. Отримання, структура та сенсорні властивості фрактально-перколяційних наносистем ZnO. ЖУРНАЛ НАНО- ТА ЕЛЕКТРОННОЇ ФІЗИКИ Том 10 № 6, 06021(4cc) (2018).

## **6. ВПЛИВ СУЛЬФІДНОЇ ОБРОБКИ НА СПЕКТРИ ФОТОСТРУМУ P-N ПЕРЕХОДІВ НА ОСНОВІ GaAs**

*Студентка 1-го курсу магістратури факультету МФІТ Ю.Б. Матреницька  
Науковий керівник доцент Н.В. Маслєєва*

У сучасній електроніці широко застосовується GaAs та сполуки на його основі. Використовуючи такі матеріали, можна створювати світлодіоди, фотодіоди, сонячні елементи, напівпровідникові лазери та інші прилади. Недоліком GaAs та сполук на його основі є велика щільність поверхневих станів і велика швидкість поверхневої рекомбінації, яка зазвичай є безвипромінювальною та зменшує квантовий вихід електролюмінесценції, підвищує поріг генерації лазерів, приводить до різкого зменшення фоточутливості p-n переходів. Покращити стан поверхні можна за допомогою різних обробок. Серед них однією з найбільш перспективних є сульфідна обробка поверхні [1].

Метою даної роботи було вивчення механізмів впливу сульфідної обробки поверхні на спектри фотоструму p-n-переходів на основі GaAs.

Сульфідна обробка проводилася у 30% водному розчині сульфиду натрію при освітленні. Після обробки діоди промивалися у дистильованій воді та просушувалися у повітрі.

Вимірювалися спектри фотоструму  $p-n$  переходів на основі  $GaAs$  до та після сульфідної обробки з різною тривалістю.

Порівняння отриманих спектрів фотоструму показало, що положення максимуму спектральної чутливості досліджених діодів в інфрачервоній області не змінюється, але величина фотоструму після короткотривалої (до 50с) сульфідної обробки поверхні суттєво зростала. Це можна пояснити зменшенням густини поверхневих станів після видаленням шару природних оксидів з поверхні оброблених діодів. В той же час більш довготривала обробка супроводжувалася зменшенням величини фотострумів у інфрачервоній області спектру, що можна пояснити утворенням на поверхні нанорозмірного шару сульфиду галію. Це підтверджується появою другого максимуму на спектрі фотоструму в ультрафіолетовій області спектру. Положення цього максимуму залежало від тривалості обробки і при її збільшенні співпадало з шириною забороненої зони сульфиду галію у макростані. На основі моделі прямокутної нескінченно глибокої потенційної ями було проведено оцінку товщини наночару сульфиду галію в залежності від тривалості сульфідної обробки.

Література:

1. М. В. Лебедев. Модификация атомной и электронной структуры поверхности полупроводников  $A^{III}B^V$  на границе с растворами электролитов // ФТП. - 2020. - 54 (7) – С. 587-600.

## **7. ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОКАЗНИКА КИСЛОТНО– ЛУЖНОГО БАЛАНСУ ФІЗІОЛОГІЧНИХ РОЗЧИНІВ $NaCl$ ВІД КОНЦЕНТРАЦІЇ ТА ТЕМПЕРАТУРИ**

*Студентка 1-го курсу магістратури факультету МФІТ О. Д.Столярик  
Науковий керівник професор Н. П.Маломуж*

Робота присвячується дослідженню температурної і часової залежності показника кислотно-лужного балансу води і фізіологічного розчину. Цей показник відіграє вирішальну роль в процесах життєдіяльності живих організмів, так як впливає на електрохімічні властивості білка. Тому дослідження даного питання є особливо важливим і для медицини, зокрема. При падінні концентрації хлориду натрію у плазмі крові, вода переходить із судинного русла до міжтканинного простору, відбувається загушення крові. При значному дефіциті  $NaCl$  спостерігаються судомні гладенької мускулатури і судомні скорочення скелетної, порушуються функції нервової та серцево-судинної систем. Варто зазначити, що кислотно-основний баланс крові є жорсткою константою організму і для людини коливається у межах 7,36-7,44. Зсуви рН змінюють електрохімічні властивості білків і викликають загальні порушення метаболізму. Перевищення нормального рН на 0,4-0,5 викликають незворотні зміни гомеостазу, які несумісні з життям. Тому метою роботи є дослідження впливу концентрації  $NaCl$  і температури розчину та на кислотно-

основний баланс водних розчинів хлориду натрію при їх розбавленні дистильованою водою.

В роботі запропоновано метод оцінки показника кислотно-лужного балансу рН у воді та водних розчинах солі NaCl (фізіологічному розчині); отримано оцінку показника рН у чистій воді, яка добре погоджується з експериментальним значенням для температури 25 °C . Розглянуто залежність рН води та фізіологічного розчину від температури та концентрації солі. Показано, що за температури 42°C, у вузькому температурному інтервалі відбувається суттєва зміна характеру залежності рН від концентрації солі та часу перебування розчину під впливом атмосферного вуглекислого газу. Ці результати є вагомим свідченням існування температури динамічного фазового переходу у воді та водних розчинах.

### Література

1. Л.А. Булавин, Н.П. Маломуж. Динамический фазовый переход в воде как важнейший фактор провоцирования денатурации белков в теплокровных организмах. *Физика живого*. 2010. Т. **18**, № 2. С. 16-22.
2. A.I. Fisenko, N.P. Malomuzh. To what extent is water responsible for the maintenance of the life for warm-blooded organisms? *Int. J. Mol. Sci.* **10**, 2383 (2009).
3. A.I. Fisenko and N.P. Malomuzh. Role of the H-bond network in the creation of life-giving properties of water// *Chem.Phys.* 345 (2008) 164-172.
4. V.Yu. Bardic, A.I. Fisenko, S. Magazu, N.P. Malomuzh. What water properties are responsible for physiological temperature interval the limits of warm-blooded organisms // *JML* 306 (2020) 112818.

## 8. ВПЛИВ РЕЖИМІВ СУЛЬФІДНОЇ ОБРОБКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНІ *n-GaAs*

*Студентка 4 курсу Я. П. Бурко  
Науковий керівник доцент Н. В. Маслєєва*

Сульфідна обробка поверхні є ефективним способом покращення властивостей напівпровідників  $A^{III}B^V$  та приладів на їх основі. Вона дозволяє в одному технологічному циклі як зняти поверхневий шар, так і нанести захисне покриття з сульфіду галію [1].

Метою роботи є дослідження закономірностей і механізмів зміни структури і властивостей поверхні *n – GaAs* (100) до та після сульфідної обробки з різною тривалістю.

Сульфідна обробка проводилася у 30% водному розчині сульфіду натрію при освітленні сфокусованим світлом від лампи розжарювання. Після обробки пластини *n-GaAs* промивалися у дистильованій воді та обдувалися потоком повітря для видалення води з поверхні.

Дослідження морфології поверхні проводилися за допомогою атомно-силового мікроскопу (АСМ) NT-206. Обробка експериментальних даних здійснювалася з використанням програми Gwyddion.

Аналіз зображення ділянок поверхні *n-GaAs*, які були отримані за допомогою АСМ до та після сульфідної обробки поверхні сіркою з різною тривалістю, показав, що після обробки середнє значення шорсткості поверхні суттєво зростає. При цьому на поверхні з'являються неоднорідності. Дослідження шорсткості поверхні у цих неоднорідностях проводилося на однаковій базовій довжині з фіксованих центрів у різних напрямках від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  з кутовим кроком у  $15^\circ$ . Внаслідок цих вимірювань було встановлено, що всі неоднорідності поверхні можна поділити на дві групи. У неоднорідностей першої групи значення шорсткості перевищували її значення у однорідних частинах зразка, але були однакові у всіх напрямках. У неоднорідностей другої групи значення шорсткості суттєво перевищували її значення у однорідних частинах зразка і були значно різними для двох взаємно перпендикулярних напрямків. Поява такої анізотропії властивостей може вказувати на появу поверхневих локальних наноутворень  $Ga_2S_3$ , який має іншу структуру кристалічної ґратки у порівнянні з  $GaAs$ . Арсенід галію має кубічну ґратку, а поява на поверхні сульфїду галію  $Ga_2S_3$  призводить до реконструкції поверхні за типом  $2 \times 1$ [2]. Локальна зміна шорсткості та анізотропія її значень свідчать про локальний характер початкової стадії утворення шару  $Ga_2S_3$ .

#### Література

1. М. В. Лебедев. Модификация атомной и электронной структуры поверхности полупроводников  $A^{III}B^V$  на границе с растворами электролитов // ФТП. - 2020. - 54 (7) – С. 587-600.
2. Н.Н. Безрядин, Г.И. Котов. Формирование наноструктур в системе  $Ga_2S_3 / GaAs$  // ФТП. - 2005. - 39 (9) – С. 1025-1028.