

ЗВІТ

навчально-наукового центру «Технологія функціональних матеріалів»
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича
за 2022 рр.

1. Підготовка висококваліфікованих наукових кадрів, сприяння у пошуку та виконанні наукових проблем, і як результат захист дисертаційних робіт на базі можливостей центру.

Для підготовки висококваліфікованих наукових кадрів протягом звітнього періоду в рамках навчальної програми було продовжено викладання лабораторного практикуму до спецкурсу «Лабораторні спеціалізації», який поєднує в собі наступні перелічені спецкурси, а саме: «Фізико-хімічний аналіз», «Хімія напівпровідників», «Дефекти в напівпровідниках». Крім того, було прочитано курс «Методи дослідження наноматеріалів».

Для покращення практично-експериментальних навичок студентів під час виконання наукових досліджень теми 28-807, до практичної роботи залучались студенти 5-х і 6-х курсів кафедри загальної хімії та хімічного матеріалознавства, що дало можливість останнім покращити свої вміння під час постановки та запуску технологічного процесу вирощування кристалів з подальшим моніторингом за ростом, а також обробкою та описом одержаних результатів. Отримані результати досліджень увійшли до магістерської роботи Готинчана А., а також кваліфікаційної роботи Нечесного Я.

Аспірантка Копач В.В. під науковим керівником директора **ННЦ** Фочука П.М. успішно захистила дисертаційну роботу за темою “Фізико-хімічні закономірності фазових перетворень та властивості стопів потрібної системи CdTe-ZnTe-MnTe”.

*2. Покращення матеріальної бази **ННЦ «ТФМ»** за рахунок закупівлі необхідного обладнання.*

У зв'язку з ситуацією в країні можливості здійснювати закупівлі не було, проте успішно провели інвентаризацію наявного обладнання. Обговорили і

сформували перелік обладнання, яке плануємо, як буде змога, закупити в 2023 році для поповнення матеріальної бази центру.

Крім того, в останні місяці виконання НДР 28-807 почалися відключення електроенергії, спричинені наслідками терористичних ракетних атак. Це дало розуміння того, що центр не повністю готовий до таких викликів, тому пріоритетною закупівлею на наступний рік заплановано альтернативні джерела електроенергії для безперебійної роботи наявного обладнання.

3. *Удосконалення розроблених методик отримання функціональних матеріалів. Виконання теми 28-807. Нові теми. Наукова робота працівників центру.*

Розпочата у 2021 році наукова робота по темі 28-807 дала нову гілку для досліджень перспективних і затребуваних кристалів перовскітів, а у виконавців НДР та співробітників центру з'явилась необхідність для глибшого вивчення розроблених методик для їх отримання. Активний аналіз літературних джерел та інтенсивні експериментальні дослідження посприяли удосконаленню вибраної методики для синтезу та адаптації її до наших можливостей і потреб. Із застосуванням власних наробок одержаних в ході технологічного синтезу науковцям теми вдалось виростити кристали з багатообіцяючими властивостями. Подальше дослідження характеристик одержаних кристалів перовскітів дало можливість зібрати достатньо матеріалу для висунення гіпотез та формулювання висновків про їхні властивості.

В результаті проведених експериментальних досліджень було:

- досліджено електрофізичні властивості повністю неорганічного перовскіту цезію плюмбуму триброміду CsPbBr_3 ;
- створено два типи структур з випрямляючим бар'єром $\text{Cr/CsPbBr}_3/\text{Ni}$ та з омічними контактами $\text{Ni/CsPbBr}_3/\text{Ni}$;
- з ВАХ для структури з омічними контактами визначено питомий опір напівпровідникового матеріалу $\rho \approx 7 \times 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}$;
- з температурної залежності питомого опору $\rho = \rho(T)$ знайдена енергія активації темної провідності, яка рівна $\Delta E \approx 0,8 \text{ eV}$;

- з вимірів спектрів оптичного пропускання визначено ширину забороненої зони CsPbBr_3 при температурі $T=300\text{K}$, $E_g=2.267\text{ eV}$, а також залежність ширини забороненої зони від температури: $E_g(T)=2,385 - 3,9 \cdot 10^{-4} T$, eV. Виявлено значне збільшення фоточутливості для структури $\text{Cr/CsPbBr}_3/\text{Ni}$ при підвищенні температури. Структури - $\text{Cr/CsPbBr}_3/\text{Ni}$ - виявились чутливими до γ -випромінювання. На структурі з випрямляючим потенціальним бар'єром
- $\text{Cr/CsPbBr}_3/\text{Ni}$ - проведено виміри спектру випромінювання ^{241}Am . Енергетична роздільна здатність для ^{241}Am виявилась рівною $\text{FWHM} \approx 15.8\text{ keV}$.
- досліджено монокристали $\text{Cd}_{0.96}\text{Mn}_{0.04}\text{Te}_{0.96}\text{Se}_{0.04}$ p-типу провідності. До монокристалів створено як структури з двома омичними контактами так і структури з потенціальним бар'єром;
- з ВАХ для структури з двома омичними контактами Au/CMTS/Au визначено питомий опір напівпровідникового матеріалу $\text{Cd}_{0.96}\text{Mn}_{0.04}\text{Te}_{0.96}\text{Se}_{0.04}$, який дорівнює $\rho \approx 4 \times 10^2\text{ Ом}\cdot\text{см}$ при $T=293\text{K}$;
- з температурної залежності питомого опору $\rho = \rho(T)$ знайдена енергія активації темної провідності, яка рівна $\Delta E \approx 24\text{ eV}$;
- з оптичних вимірювань коефіцієнта поглинання від енергії фотонів $\alpha = \alpha(h\nu)$ в області великих α знайдено ширину забороненої зони монокристалу, яка дорівнює $E_g = 1,495\text{ eV}$;
- досліджено діодні структури $\text{Al/Cd}_{0.96}\text{Mn}_{0.04}\text{Te}_{0.96}\text{Se}_{0.04}/\text{Au}$, отримані вакуумним напилюванням Al на поверхню монокристалу p- $\text{Cd}_{0.96}\text{Mn}_{0.04}\text{Te}_{0.96}\text{Se}_{0.04}$. Структура $\text{Al/Cd}_{0.96}\text{Mn}_{0.04}\text{Te}_{0.96}\text{Se}_{0.04}/\text{Au}$ має яскраво виражену діодну характеристику з коефіцієнтом випрямлення при напрузі $U=1\text{ В}$ рівним $K \approx 10^4$ при кімнатній температурі. Висота бар'єру, що утворюється при вакуумному напилюванні Al на поверхню p- $\text{Cd}_{0.96}\text{Mn}_{0.04}\text{Te}_{0.96}\text{Se}_{0.04}$ рівна не менше $\phi = 0,9\text{ eV}$. Домінуючим механізмом перенесення заряду в досліджуваних $\text{Al/Cd}_{0.96}\text{Mn}_{0.04}\text{Te}_{0.96}\text{Se}_{0.04}$ діодах є генерація-рекомбінація в збідненій ділянці;
- в рамках моделі генерації-рекомбінації носіїв Саа-Нойса-Шоклі досягнуто кількісного опису електричних характеристик діодів;

- проведено дослідження впливу відпалу в парах ртуті на електрофізичні параметри монокристалів ртутно-індієвого телуриду ($\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ - MIT) та діодних структур на їх основі. Показано що після відпалу в парах ртуті суттєво (≈ 10 раз) зменшується питомий опір напівпровідникового матеріалу і помітно збільшується коефіцієнт оптичного пропускання в області Урбаха ($\approx 1.5-2$ рази). Для порівняння впливу відпалу, випрямляючі структури виготовляли як на не відпаленому матеріалі, так і на матеріалі після відпалу. Випрямляючі структури $\text{Cr}/\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6/\text{Cr}$, виготовлені на монокристалах, які відпалені в парах ртуті, мали суттєво менші темнові струми (в ≈ 10 раз), більші коефіцієнти випрямлення, більшу струмову монохроматичну чутливість та більшу напругу розімкнутого кола. Темнові струми порівнювали при напрузі $U=10$ В, а коефіцієнти випрямлення при напрузі $U=1$ В.

На базі центру у 2022 році виконано НДР «Дослідження провідності та реологічних властивостей металізаційних паст» на замовлення ТОВ "Букнанотех".- 50 тис. грн. Встановлено ряд закономірностей провідності та реологічних властивостей металізаційних паст від програми їх відпалу. Проаналізовано вплив реологічних властивостей на провідні характеристики паст та покриттів на їх основі.

В 2023 укладено угоду на продовження цих робіт у формі НДР «Дослідження провідності та реологічних властивостей наноструктурованих металізаційних паст» - 90 тис грн.

Зав. лабораторії Пилипко В.Г. під керівництвом директора центру Фочука П.М. завершує дисертаційне дослідження по темі «Хімічні взаємодії в системі Mn^{2+} - S^{2-} - стабілізатор – розчинник як передумови синтезу напівпровідникових наноматеріалів».

4. Підготовка запитів на фінансування НДР за кошти держбюджету.

Завідувачем кафедри загальної хімії та хімічного матеріалознавства Халавкою Ю.Б. було подано заявку і виграно фінансування МОН на виконання проекту наукового дослідження для молодих учених “Оптично-активні багат шарові матеріали на основі напівпровідникових наночастинок типу $\text{A}^{\text{I}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}^{\text{VI}}$ та

полімерів”. Це один з трьох проектів університету, який одержав державне фінансування. Виконання роботи планується здійснювати у співпраці з працівниками центру та з використанням його матеріальної бази.

5. Продовження співпраці зі структурними підрозділами університету та організаціями з подібними напрямками досліджень.

Активна співпраця працівників **ННЦ** з кафедрою фізики напівпровідників та наноструктур дала можливість підготувати матеріали для подання спільних тез на міжнародні конференції та друку спільних статей у рейтингових журналах. Наукова взаємодія відбувалась в рамках виконання запланованих наукових досліджень по темі 13-807;

Результатом виконання наукового дослідження по темі 28-807 у співпраці співробітників центру зі кафедрою оптики та видавничо-поліграфічної справи, а саме д.ф.-т.н. Склярчуком В.М. стала підготовка матеріалу для подання тез та друку статей на конференції та у міжнародні журнали.

В результаті тісної співпраці директора ННЦ «ТФМ» професора Фочука П.М. з чеськими колегами було подано і виграно спільний проект з науковцями Карлового університету (Прага, Чеська Республіка) вартістю 4000 \$. Мета проекту – вирощування і дослідження перовскітів як перспективних матеріалів для детекторів іонізуючого випромінювання та сонячної енергетики.

Директор центру Фочук П.М. і зав. лабораторії Пилипко В.Г. у рамках співпраці із ТОВ «Донау Лаб Україна» успішно пройшли навчання «Інструментальне забезпечення лабораторних досліджень» обсягом – 60 годин (2 кредити) із теоретичною підготовкою та практикумом по застосуванню обладнання. У 2023 році заплановано продовження співпраці з подальшим теоретичним та практичним навчанням на сучасному обладнанні ТОВ «Донау Лаб Україна».

*6. Налагодження контактів з **ННЦ** інших ВНЗ регіону з подальшим співробітництвом.*

Зважаючи на ситуацію в країні налагоджувати контакти для співпраці в межах держави не було можливості, але завдяки підтримці міжнародної спільноти

активізувалася взаємодія з науковцями європейських вузів, що посприяло активізації участі у наукових зустрічах за кордоном.

Протягом звітнього періоду працівники центру взяли участь у наступних заходах:

директор Фочук П.М. пройшов стажування в університеті П.Шафарика в місті Кошіце, Словацька Республіка з 28.06 по 5.07.2022р.;

завідуюча лабораторії Пилипко В.Г. долучилася до:

- ECerS Summer School “Fundamentals and Advanced Technologies of Sintering” в Гірничо-металургійній академії імені Станіслава Сташиця в місті Краків, Польща з 08.07 по 9.07 2022р;

- школи і конференції «*Analysis of diffraction data in real space (ADD2022)*», яка проходила в місті Гренобль, Франція з 16.10 по 21.10.2022р.