**ЗВІТ**

навчально-наукового центру «Технологія функціональних матеріалів»

Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича

за 2023 рр.

1. *Підготовка висококваліфікованих наукових кадрів, сприяння у пошуку та виконанні наукових проблем, і, як результат, захист дисертаційних робіт з використанням обладнання та площ центру.*

Підготовка кваліфікованих наукових кадрів вимагає постійної і наполегливої праці. Для цього протягом звітного періоду в рамках навчальної програми зі спеціальності 102 Хімія 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». Зав. кафедрою хімії та експертизи харчової продукції, д.х.н. Халавкою Ю.Б. було прочитано курс «Методи дослідження наноматеріалів».

Виконання експериментальної частини НДР 28-808 дало змогу залучити студентів 5-х і 6-х курсів кафедри хімії та експертизи харчової продукції до цього процесу, цим самим сприяючи покращенню їх практично-експериментальних навичок. Отримані результати досліджень увійшли до магістерських робіт Нечесного Я., Абрамовича О. та Скоропанюка М.

Завідувачка лабораторії **ННЦ** Пилипко В.Г. під науковим керівництвом директора центру Фочука П.М. успішно захистила дисертаційну роботу за темою “Хімічні взаємодії в системі Mn2+ – S2- – стабілізатор – розчинник як передумови синтезу напівпровідникових наноматеріалів” і здобула наукову ступінь доктора філософії зі спеціальності 102 Хімія.

Крім того, під спільним керівництвом директора центру Фочука П.М та проф. кафедри інформаційних технологій та комп’ютерної фізики ННІФТКН Фодчука І.М. аспірант Михайлович В.В. захистив дисертаційне дослідження за темою «Проектування нанорозмірних оксидних діелектричних матеріалів для електронних пристроїв» і здобув наукову ступінь доктора філософії зі спеціальності 104 Фізика та астрономія.

В 2023 році на підставі угоди з ТОВ «Букнанотех» було продовжено виконання досліджень у формі НДР «Дослідження провідності та реологічних властивостей наноструктурованих металізаційних паст».

 В рамках виконання НДР 28-005 на основі угоди про співпрацю між Чернівецьким національним університетом імені Ю. Федьковича і ЦКБ «Ритм» було проведено заплановані дослідження.

Директор центру Фочук П.М. і зав. лабораторії Пилипко В.Г. у рамках співпраці із ТОВ «Донау Лаб Україна» протягом звітного періоду успішно пройшли навчання за програмою підвищення кваліфікації «Інструментальне забезпечення лабораторних досліджень у харчовій, фармацевтичній промисловостях та матеріалознавстві» обсягом – 30 годин (1 кредит) із теоретичною підготовкою та практикумом по застосуванню обладнання.

*2. Підготовка до підписання угоди про початок співпраці з ТОВ "НВП "ЄНАМІН" та «Укроргсинтез».*

На початку 2023 року було підписано угоду про початок співпраці Чернівецького національного університету імені Ю. Федьковича з ТОВ "НВП "ЄНАМІН" та «Укроргсинтез». В рамках підписаної угоди протягом звітного періоду відбулося стажування студентів 2, 3 та 5 курсів спеціальності 102 Хімія (Гойчев Д., Федорюк Р., Нечесний Я.).

*3. Покращення умов праці та матеріальної бази ННЦ «ТФМ» внаслідок запланованого переобланання та проведення ремонтних робіт в лабораторіях центру, а також закупівлі необхідного обладнання для проведення експериментальних наукових досліджень.*

Ситуація в країні, спричинена загарбницькою війною Росії, протягом звітного періоду суттєво не покращилася, тому можливості здійснити багато закупівель не було, проте отримано від партнерів і поставлено на баланс зарядну станцію ECOFLOW Delta Pro Powerstation Li-ion Schwarz, що дало змогу частково забезпечити безперебійну роботу наявного обладнання.

*4. Наукова робота працівників центру.*

Протягом звітного періоду проводилось чимало різноманітних наукових досліджень у різних напрямках. Серед котрих подані нижче дослідження та одержані по кожному напрямку результати.

***Дослідження умов синтезу, вирощування та властивостей кристалів перовскітів;***

* розроблено методи синтезу та вирощування галогенідних перовскітів свинцю CsPbBr3, які можуть бути використані як детектори оптичного, рентгенівського та γ-випромінювання. Вирощування монокристалів проводили методом Бріджмена в кварцових ампулах з галогенідів Цезію і Плюмбуму чистотою 99.9 %;
* досліджено їх електрофізичні властивості;
* створено два типи структур з випрямляючим бар’єром Cr/CsPbBr3/Ni та омічними контактами Ni/CsPbBr3/Ni;
* визначено питомий опір напівпровідникового матеріалу (ρ≈7×109 Ом×см) та енергію активації темнової провідності (ΔE ≈ 0,8 еВ);
* встановлено, що ширина забороненої зони CsPbBr3 при 300 К становить Еg= 2,27 еВ (за результатами вимірювання спектрів оптичного пропускання);
* визначено температурну залежність забороненої зони: Eg(T)=2,385-3,9·10-4 Т (еВ). Спостерігалося значне підвищення фоточутливості структури Cr/CsPbBr3/Ni при підвищених температурах;
* показано, що структури Cr/CsPbBr3/Ni чутливі до γ -випромінювання. Виміряна FWHM (напівширина на напіввисоті) енергетичної роздільної здатності для джерела 241Am становила 15,8 кеВ;
* досліджено особливості топлення та кристалізації комбінованого перовскіту CsPbBr2I (методом диференціального термічного аналізу);
* встановлено, що повне топлення стопу складу CsPbBr2I та перехід його в рівноважний рідкий стан має місце за нагрівання зразка до температур не нижчих за 495 ℃. За витримки стопу CsPbBr2I в інтервалі температур 475-495°С його розтоп кристалізується без переохолодження, а за температур, вищих ніж 495°С – з переохолодженням по відношенню до температури початку топлення стопу. Як у випадку кристалізації розтопу CsPbBr2I з переохолодженням, так і у випаду кристалізації розтопу без переохолодження, спостерігається тенденція до зниження швидкості кристалізації розтопу з підвищенням температури його кристалізації.

 ***Вивчення властивостей кристалів МІТ після термічної обробки;***

- досліджено вплив постростового відпалу в парах ртуті на електрофізичні параметри монокристалів Hg3In2Te6, вирощених методом Бріджмена;

- встановлено, що в результаті такої обробки питомий опір напівпровідникового матеріалу знижується в 10-100 разів (до ρ~20-200 Ом·см), а коефіцієнт його оптичного пропускання в області Урбаха значно збільшується;

- зазначено, що така технологічна обробка призводить до суттєвого покращення параметрів поверхнево-бар’єрних випрямляючих структур типу Cr/Hg3In2Te6/Cr. Зокрема, спостерігалося значне зменшення темнового струму (приблизно в 10 разів) та підвищення коефіцієнта випрямлення;

- відмічено, що виготовлені діодні структури витримували зворотні напруги 200-250 В при помірних значеннях темнових струмів. Для фотодіодних структур динамічний діапазон ват-амперної характеристики збільшився на 1-2 порядки;

- підсумовано, що одержані результати є важливими для створення світлочутливих діодів на основі Hg3In2Te6, який має високу радіаційну стійкість.

***Вирощування кристалів на основі CdTe, легованих Mn, In, Se, та дослідження їх властивостей;***

- проведено дослідження особливостей фазових рівноваг в стопах твердих розчинів складу Cd0.96Mn0.04Te0.96Se0.04 та властивостей вирощених методом Бріджмена нелегованих та легованих Індієм монокристалів вказаного складу;

- показано, що витримка зразка Cd0.96Mn0.04Te0.96Se0.04 за температур 1088 – 1096 °С не приводить до його повного топлення, а за цих температур витримок має місце двофазна рівновага тверда фаза – розтоп. Повне топлення Cd0.96Mn0.04Te0.96Se0.04 реалізується лише за перегрівів зразка вище 1096 °С. Застосування вищих швидкостей нагрівання/охолодження призводить до швидшої, а отже – і менш рівноважної кристалізації розтопу Cd0.96Mn0.04Te0.96Se0.04;

- підсумовано, що вони характеризуються незначною кількістю непрозорих вкраплень діаметром менше 5 мкм, шириною забороненої зони 1,49±0,01 еВ, а легування In у кількості 5·1017 см-3 приводить до зменшення питомого опору злитку Cd0.96Mn0.04Te0.96Se0.04 на 3 порядки (на основі проведених вимірювань властивостей зразків, вирощених методом Бріджмена нелегованих монокристалів Cd0.96Mn0.04Te0.96Se0.04 та легованих монокристалів Cd0.96Mn0.04Te0.96Se0.04:In).

***Синтез наноматеріалів AgInS2 (***дослідження проводились в рамках виконання НДР 28-808 під керівництвом д.х.н. Халавки Ю.Б.);

* проведено огляд літератури щодо використання наночастинок AgInS2,як температурних сенсорів;
* апробовано та описано способи звуження спектру фотолюмінесценції (підвищення чистоти емісії) шляхом легуючих домішок, додаткових стабілізаторів (етаноламінів, L-цистеїну, аргініну, полівінілпіролідону, поліакрилової кислоти, полівінілового спирту);
* розроблено відтворювані методики синтезу великих об’ємів водних колоїдів НК AgInS2 із заданими оптичними властивостями;
* здійснено оцінку світлоконверсійної ефективності AgInS2;
* встановлено вплив параметрів процесу пошарового осадження на оптичні властивості композитних плівок “полімер-НК”, природи та концентрації полікатіону; концентрації колоїдного розчину НК, його рН та йонної сили на оптичні властивості та морфологію композитів;
* досліджено вплив оптичних властивостей (колір емісії), структури та товщини плівок на їх хвилеводні властивості;
* за допомогою опромінення УФ-світлом високої інтенсивності досліджено фотостабільність НК AgInS2 у середовищі полімерної матриці;
* розроблено технологічні рекомендації для одержання полімерних плівок на основі НК AgInS2. В одержаних плівках наночастинок домінують не явища переносу енергії, а локалізація заряду.

  ***Синтез та дослідження оптичних властивостей колоїдних розчинів MnS та наночастинок сірки;***

- досліджено вплив вмісту попередників та рН середовища на характер взаємодії в 3-компонентній системі MnCl2 – Na2S – стабілізатор (L-цистеїн, тіогліколева кислота, натрій цитрат);

- встановлено умови утворення наночастинок MnS, стабілізованих їх молекулами та оцінено межу їх стабілізуючої дії при збільшенні вмісту кристал-формуючих йонів ([Mn2+] ≥ 7,5·10-3 М);

- оцінено можливість утворення різних за природою продуктів реакції в залежності від рН середовища зокрема Mn(OH)2;

- виявлено, що лужне середовище під час синтезу наночастинок MnS, стабілізованих L-цистеїном, збільшує інтенсивність фотолюмінесценції;

- встановлено, що зростання координаційного числа досліджуваних стабілізуючих агентів з 2 до 6 не впливає на вигляд спектральних кривих поглинання при співвідношенні [Mn2+]:[S2-] = 1:1, але за співвідношення компонентів системи [Mn2+]:[S2-] = 1:2, відмічено помітний спектральний зсув у довгохвильову область, що підтверджує домінуючий вплив концентрації аніону S2- на швидкість зародкоутворення та ріст наночастинок MnS;

- встановлено що синтез наночастинок MnS в етиленгліколі за температури понад 353 К сприяє утворенню наночастинок MnS з незначним розкидом за розміром та високими ФЛ властивостями. Схожого ефекту можна досягти післясинтезовою термообробкою за температур ≥ 373 К для наночастинок MnS синтезованих і за нижчих температур;

- проведено дослідження закономірностей хімічної взаємодії у системі L-цистеїн – натрій цитрат – Na2S; показано, що в залежності від складу системи хімічна взаємодія між компонентами відбувається по-різному і тільки наявність усіх компонентів забезпечує утворення люмінесцентних наночастинок сірки;

- встановлено, що синтезовані наночастинки сірки стабільні протягом щонайменше семи місяців та володіють хорошими фотолюмінесцентними властивостями з керованим випромінюванням, що залежить від енергії збудження. Термічна обробка протягом 8 год. сприяє суттєвому зростанню інтенсивності фотолюмінесценції одержаних наночастинок сірки.

В 2023 в рамках угоди між Чернівецьким національним університетом імені Ю.Федьковича і ТОВ «Букнанотех» виконано НДР «Дослідження провідності та реологічних властивостей наноструктурованих металізаційних паст».

На основі угоди про співпрацю між Чернівецьким національним університетом імені Ю. Федьковича і ЦКБ «Ритм» в рамках виконання НДР 28-005 «Дослідження стану поверхні напівпровідникового матеріалу» в лабораторіях **ННЦ** було проведено заплановані дослідження. В результаті виконання наукової роботи були одержані мікрофотографії та профілограми досліджуваних пластин, проведена статистична обробка результатів, здійснено їх аналіз. На підставі одержаної інформації встановлено закономірності та характеристики досліджуваних поверхонь.

Протягом звітного періоду працівники центру були учасниками проєкту Simons Foundation (Award ID:1030286, проєкт «Novel functional materials and biologically active compounds»), за рахунок якого відбувалася фінансова підтримка науковців, що дало їм можливість продовжувати наукову роботу у цей складний для країни воєнний період. Крім того, вказаний проєкт продовжено на 2024 рік.

5. *Підготовка запитів на фінансування НДР за кошти держбюджету.*

Директором **ННЦ** «ТФМ» Фочуком П.М. було підготовлено та подано запит на фінансування НДР за кошти держбюджету, проте не отримано.

*6. Підготовка запитів на фінансування НДР за кошти європейських грантових програм та спонсорів.*

Подана заявка керівником **ННЦ** «ТФМ» Фочуком П.М. на програму EURIZON була підтримана, фінансування наукової роботи буде проводитися протягом 2024 року. Виконання наукових досліджень буде відбуватися на базі лабораторій та обладнання центру. Крім того, на цю ж програму подана заявка на фінансування д.х.н. Халавкою Ю.Б., де центр буде ключовим елементом інфраструктури.

*7. Продовження співпраці зі структурними підрозділами університету.*

Директором ННЦ «ТФМ» проф. Фочуком П.М. підготовлено матеріали для викладання студентам ННІФТКН дисципліни «Технологія напівпровідників».

У результаті співпраці співробітників центру зі кафедрою оптики та видавничо-поліграфічної справи було подано тези на 16-ту міжнародну конференцію «Сorrelation Optics 2023», а в подальшому на їх основі статтю до друку.

Разом з д.ф.-т.н. кафедри оптики та видавничо-поліграфічної справи Склярчуком В.М. було підготовлено матеріали для подання тез та друку статей на конференції та у міжнародні журнали.

*8. Налагодження контактів з ННЦ «ТФМ» інших ВНЗ регіону з подальшим співробітництвом.*

Протягом звітного періоду проводилися спільні дослідження співробітників центру з науковцями ННЦ Прикарпатського університету імені В. Стефаника, в результаті якої готуються матеріали для подання тез на конференції.

Зав. лабораторії **ННЦ** «ТФМ» Пилипко В.Г. стала учасницею літньої школи і конференції RAC International Summer School 2023. Cutting-edge Neutron and X-ray Research for Sustainable Future. Серпень 20-27, 2023, Люнебург, Німеччина. Крім того, у квітні 2023 року взяла участь у вебінарі «Європейські програми – грантові можливості та практичні рекомендації».

В рамках угоди між Чернівецьким національним університетом імені Юріґ Федьковича та MANSID (Інтегрований центр досліджень, розробок та інновацій для сучасних матеріалів, нанотехнологій і розподілених систем виробництва та управління (Університет Сучави, Румунія) проводилися спільні наукові дослідження, що дали змогу підготувати матеріали для подання на міжнародні конференції.

Директор ННЦ «ТФМ» проф. Петро ФОЧУК