



ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Директор з наукової роботи  
 Київського національного університету імені  
 Тараса Шевченка  
 О.І.Жилінська  
 (підпис)  
 М.П.

**АНОТОВАНИЙ ЗВІТ**

про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту  
 із виконання наукових досліджень і розробок

**Розробка новітніх тонкоплівкових матеріалів оптоелектроніки на основі зв'язаних гібридів квантових точок і двовимірних наноструктур**

Назва конкурсу: Конкурс НФДУ «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»  
 Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0134

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0134 «Розробка новітніх тонкоплівкових матеріалів оптоелектроніки на основі зв'язаних гібридів квантових точок і двовимірних наноструктур»

Рішення Наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21

**1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ**

Тривалість виконання Проєкту  
 Початок – 02.11.2020 року дата укладання договору про виконання наукових досліджень і розробок;  
 Закінчення – 2022 рік  
 Загальна вартість Проєкту, грн. 4309546

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік	<u>617599</u>
2-й рік	<u>1 753677</u>
3-й рік	<u>1 938270</u>

**2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ**

до виконання Проєкту залучено 7 виконавців, з них:

доктори наук	<u>2</u> ;
кандидати наук	<u>1</u> ;
інші працівники	<u>4</u> .

**3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка МОН України

## 4. ОПИС ПРОЄКТУ

### 4.1. Мета Проєкту

Проєкт спрямовано на розробку основних наукових засад і принципів керування оптичними і фотоелектричними властивостями тонких плівок на основі зв'язаних гібридів нанокластерів CdTe, CdSe, ZnCdTe і двовимірних наноструктур MoS<sub>2</sub> через встановлення закономірностей у перебігу процесу формування відгуку електронної підсистеми на оптичне збудження, пошук взаємозв'язку між морфологією, комплексною діелектричною проникністю, електропровідністю і ефективністю фотоелектричного перетворення.

### 4.2. Основні завдання Проєкту

(1) Отримати гібридні наноструктуровані плівки на основі зв'язаних гібридів нанокластерів CdTe, CdSe, ZnCdTe і двовимірних наноструктур; з'ясувати особливості електронної будови та спектру енергетичних станів наноструктур, інтерфейсних та дефектних станів в залежності від компонентного складу, форми та розміру наноструктур, використовуючи прецизійні вимірювання фотопровідності, експериментальні дані з Фур'є-спектроскопії, спектроскопії поглинання/відбивання, фотопровідності, фотолюмінесценції, спектральної еліпсометрії та фотоелектричну діагностику.

(2) Оптимізувати геометрію та морфологію гібридних з'єднань квантова точка-двовимірна наноструктура на підкладках різного типу провідності та рівня легування, в тому числі гнучких, для створення умов найбільш ефективного поглинання світла та відповідного підвищення ефективності фотоелектричного перетворення.

(3) Розробити ефективний метод виготовлення тонких плівок, який би мінімізував оптичні та рекомбінаційні втрати у оптоелектронних пристроях: фотодетекторах та сонячних елементах наступного покоління.

### 4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми.

2D-структури є перспективними з огляду застосування їх в оптоелектроніці. Однією з важливих проблем залишається отримання простого і дешевого способу отримання 2D-об'єктів із заданими характеристиками на підкладках різного типу. Одним із перспективних способів є спін-коатінг із готових колоїдних розчинів нанооб'єктів із подальшим вивченням отриманих структур за допомогою мікроскопії, а також різного роду оптичними методами.

- Новизна Проєкту.

Відпрацьовано техніку нанесення наноструктур MoS<sub>2</sub> на пластини Si та GaAs, скриті природним окислом. Досліджено оптичні константи моно- та кількешарових халькогенідів перехідних металів, спектри комбінаційного розсіювання та фотолюмінесценції, отримано основні оптичні та зонні параметри зазначених 2D-наноструктур і порівняно їх із літературними даними. Встановлено, що параметри екситонів та їхніх комплексів мало змінюються при переході від моношару до кількешарової структури.

- Методологія дослідження.

Для оцінки морфології отриманих зразків застосовано атомно-силову і скануючу електронну мікроскопію. З метою дослідження оптичних параметрів наноструктур використано спектральну еліпсометрію, оптичну спектроскопію поглинання, комбінаційного розсіювання світла та фотолюмінесценції, а також температурні вимірювання люмінесцентних характеристик, моделювання оптичних констант.

## **5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:**

### **5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)**

Було проведено дослідження з осадженням двовимірних (2D) структур на напівпровідникові та діелектричні підкладки методом спінової коатингу при різних режимах і подальшого відпалу при різних умовах. Відпрацьовано технологію нанесення флейків  $\text{MoS}_2$  на вкриті природним окислом пластини кремнію та арсеніду галію з водних розчинів методом спінової коатингу. Комплексні оптичні константи плівок  $\text{MoS}_2$  виміряно за допомогою спектральної еліпсометрії та Стокса-поляриметрії. Визначено комплексні показники заломлення, коефіцієнт поглинання, а також розраховано оптичну провідність. Порівняння оптичних констант плівок, виготовлених на різних підкладках, з відповідними результатами об'ємних матеріалів виявляє відмінності внаслідок посилення електронно-діркових взаємодій у моношарах 2D-структур. Для остаточної ідентифікації отриманих наноструктур і підтвердження їхніх морфологічних параметрів було досліджено і проаналізовано спектри фотолюмінесценції та раманівські спектри отриманих структур. Показано, що плівки виявляють очікувані оптичні властивості, типові для таких структур. Виявлено чіткі піки екситонного поглинання A і B в червоній області для всіх моношарових  $\text{MoS}_2$  плівок. Показано, що їх природа пов'язана з електронними переходами у спіно-орбітально розщеплених прямих зонах у точці K зони Бриллюена. На додачу до низькоенергетичних екситонних піків, в оптичних спектрах моношарів 2D-структур спостерігається серія різких піків з більшою енергією ( $E > 2,5$  eV). Сильна фотолюмінесценція в моношарах 2D-структур при кімнатній температурі обумовлена перетворенням непрямозонного об'ємного в прямозонний напівпровідник в атомарно тонкому моношарі. Спектри мікро-фотолюмінесценції 2D-флейків  $\text{MoS}_2$  показують дві широкі смуги, пов'язані з екситоном A, що перекривається з тріоном, і екситоном B, що спостерігаються завдяки спіно-орбітальному розщепленню валентної зони  $\text{MoS}_2$ . Розщеплення оцінене для флейків товщиною 2 та 10 моношарів як 130-137 меВ при 290 K і незначно зменшується при пониженні температури. Виміри при різних температурах показують, червоний зсув ФЛ при збільшенні температури і гасіння інтенсивності відбуваються внаслідок термічно активованої безвипромінювальної рекомбінації зі збільшенням електрон-фононої взаємодії. Детальне вивчення температурної поведінки тріонної люмінесценції дозволило отримати енергію активації її теплового гасіння ( $\sim 29$  та  $\sim 18$  меВ для 2-шарових та 10-шарових структур, відповідно) та оцінити ефективний розмір тріона ( $\sim 0,82$  і  $\sim 0,75$  нм відповідно). Всі параметри, оцінені для екситонів та тріону, узгоджуються із літературними даними для моношарового  $\text{MoS}_2$ . Зроблено висновок про те що, незважаючи на зміщення смуг ФЛ екситона та тріона, інші оптичні характеристики не сильно змінюються з товщиною при переході від прямозонного (одношарового) до непрямозонного кількешарового 2D- $\text{MoS}_2$ . Нанорозмірні світловипромінювальні флейки мають потенціал застосування наноприладах, що працюють при низьких температурах із залученням зовнішньої модуляції оптичних властивостей. Результати оформлені у вигляді звіту і підготовлені до публікації в провідному фаховому журналі.

### **5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами**


### **5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)**

### **5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.**

Проєктом передбачено створення та дослідження фундаментальних властивостей нового типу новітніх тонкопліткових матеріалів оптоелектроніки на основі зв'язаних гібридів квантових точок і двовимірних наноструктур, здатних здійснювати різноманітні функції оптоелектронного перетворення, зокрема ефективну генерацію випромінювання та фотоелектричне перетворення

при одночасному забезпеченні вимог щодо малого енергоспоживання, високої надійності, високої швидкодії і низької вартості. Його виконання сприятиме підсиленню позитивного іміджу України як країни, яка підтримує фундаментальні дослідження у напівпровідниковій оптоелектроніці. Будуть отримані нові фундаментальні знання, які сприятимуть створенню конкурентоспроможних технологій для отримання новітніх матеріалів з прогнозованими оптичними характеристиками та вдосконаленню оптоелектронних пристроїв на їх основі. Результати виконання проекту будуть впроваджено в освітній процес, зокрема у лекційні курси «Основи наноелектроніки» та «Основи фотовольтаїки».

**Науковий керівник Проекту**  
Професор кафедри оптики  
Кондратенко Сергій Вікторович

\_\_\_\_\_   
(підпис)