

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи **Начальник НФДУ**
Київського національного університету імені
Тараса Шевченка **Олеся НЕМБАЛЮК**
Таня ТОЛСТАНОВА



АНОТОВАНИЙ ЗВІТ
про виконану роботу у 2021 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. 4 420769

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 617599

2-й рік 1 664900

3-й рік 1 938270

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту залучено 7 виконавців, з них:

доктори наук 2;

кандидати наук 1;

інші працівники 4.

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 MoS₂ 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 MoS₂ на пластини Si та GaAs, скриті природним окислом. Досліджено оптичні константи моно- та кількшарових 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 кількшарової 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)

Встановлено взаємозв'язок між умовами формування, морфологію та оптичними властивостями тонких плівок з гібридними 2D-0D наноструктурами з наперед заданими оптичними властивостями та морфологією. Для цього було оптимізовано технологію виготовлення тонких плівок, які містять суміш 2D флейків MoS_2 та напівпровідникових нанокластерів. Контроль морфології тонких плівок за допомогою атомно-силової мікроскопії, фотолюмінесцентної спектроскопії, спектральної еліпсометрії та Раманівської спектроскопії показав, що розроблений метод робить можливим виготовляти тонкі плівки, однорідність оптичних властивостей яких, відтворюваність їх формування, а також передбачуваність електронного відгуку на оптичне збудження дозволяє в подальшому їх застосовувати для розробки високоефективних оптоелектронних пристроїв. Встановлено механізми електропровідності та фотопровідності тонких плівок з гібридними 2D-0D наноструктурами. Досліджено просторовий розподіл провідності з роздільною здатністю порядку кількох десятків нанометрів за допомогою електропровідних зондів атомно-силового мікроскопа, що дозволило отримати інформацію про механізм електропровідності різних ділянок поверхні наноструктурованої плівки з квантовими точками AgInS_2 між електропровідними плівкою ІТО на та флейком MoS_2 . Встановлено взаємозв'язок між морфологію, оптичними та локальними електричними властивостями тонких плівок з гібридними 2D-0D наноструктурами на основі двовимірних (2D) наноструктур MoS_2 та напівпровідникових квантових точок. Методами спектральної еліпсометрії, спектроскопії фотопровідності та фотолюмінесценції досліджено комплекс оптичних і електричних характеристик гібридних плівок, виготовлених на діелектричних та напівпровідникових підкладках. Встановлено взаємозв'язок між структурно-морфологічними, оптичними та електричними характеристиками тонких плівок з окремими 2D флейками MoS_2 , зв'язаними з нанокластерами AgInS_2 . Проведено моделювання оптичного відгуку гетеросистем MoS_2 - AgInS_2 з врахуванням спектра екситонних станів напівпровідникових наноструктур, що дозволило визначити енергію зв'язку екситона та визначити внесок інтерфейсних станів. Визначено механізми локальної електропровідності та фотопровідності тонких плівок з гібридними 2D-0D наноструктурами на основі окремих 2D флейків MoS_2 , які зв'язані з напівпровідниковими нанокластерами AgInS_2 . Досліджено просторовий розподіл локальної провідності плівок MoS_2 - AgInS_2 та $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ за допомогою електропровідних зондів атомно-силового мікроскопа та визначено механізми електропровідності різних ділянок поверхні з врахуванням морфології плівок. Гібридні 2D наноструктури MoS_2 на поверхні напівпровідникових квантових точок виявили потенціал застосування у мікро- та наноелектронних фотодетекторах, принцип дії яких засновано на екситонному поглинанні в MoS_2 , підсиленому напівпровідниковими квантовими точками. Результати оформлені у вигляді звіту і підготовлені до публікацій в провідних фахових журналах.

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 тонкоплівкових матеріалів оптоелектроніки на основі зв'язаних гібридів квантових точок і двовимірних наноструктур MoS_2 , здатних здійснювати різноманітні функції оптоелектронного перетворення, зокрема ефективну генерацію випромінювання та фотоелектричне перетворення у

широкому діапазоні температур при одночасному забезпеченні вимог щодо малого енергоспоживання, високої надійності, високої швидкодії і сумісності з кремнієвими технологіями. Зокрема, нові знання щодо механізмів передачі енергії та переносу заряду в зв'язаних гібридах з 2D-0D наноструктурами є корисними для оптимізації параметрів мікрофотодетекторів та сонячних елементів. Його виконання сприятиме підсиленню позитивного іміджу України як країни, яка підтримує фундаментальні дослідження у напівпровідниковій наноелектроніці та фотовольтаїці. Були отримані нові експериментальні результати та фундаментальні знання про перенос фотозбуджених носіїв заряду, що сприятиме створенню конкуренто-спроможних технологій виготовлення та практичного застосування новітніх матеріалів оптоелектроніки з прогнозованими оптичними константами та оптичним відгуком. Результати виконання проекту будуть впроваджені в освітній процес, зокрема у лекційні курси «Основи наноелектроніки» та «Оптична діагностика напівпровідників» та в подальшому використані при написанні навчальних посібників та монографій.

Науковий керівник Проекту

Професор кафедри оптики

Сергій КОНДРАТЕНКО

(підпис)

