

# ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Бардашевської Світлани Дмитрівної

“Квантово-розмірні структури на основі напівпровідникових сполук  $A^2B^6C$ ”,  
представленої до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-  
математичних наук за спеціальністю 01.04.18 – фізика і хімія поверхні

## Актуальність теми

Останні десятиріччя ознаменувалися значною активізацією досліджень та розробок в області елементної бази мікроелектроніки. У 20 ст. прогрес у підвищенні продуктивності комп'ютерних систем був досягнутий головно за рахунок удосконалення мікроелектронної бази, підвищення ступеня інтеграції та швидкодії інтегральних схем. Але безухильне виконання закону Мура у найближчому майбутньому, що безапеляційно визнається багатьма дослідниками, може бути реалізоване лише з використанням нових ідей та принципів, що суттєво модифікують елементну базу. Зважаючи на сказане, сьогодні сформовані декілька напрямків, що ґрунтуються на використанні кардинально нової елементної бази. Зокрема, виготовлення структур з почерговими ультратонкими шарами напівпровідників різної ширини забороненої зони, товщина яких співмірна з де-Бройлівською довжиною хвилі носіїв заряду, в кожному з яких реалізуються умови квантового розмірного ефекту. Найбільш унікальними у цьому аспекті є квантові точки–квазінульмірні структури напівпровідникового матеріалу, з розмірами близькими до довжини хвилі де-Бройля носія в цьому матеріалі (1 – 10 нм), у межах якої потенціальна енергія електрона менша, ніж за її межами. Таким чином рух електрона обмежений у всіх трьох вимірах. Квантова точка реалізує граничний випадок розмірного квантування в напівпровідниках, коли модифікація електронних властивостей матеріалів виражена найбільше. Найбільш типовими об'єктами такого типу сьогодні є напівпровідникові гетероструктури та колоїдні або високодисперсні частинки напівпровідника  $d \sim 30$  нм, нанесені на пористий

носій. Однак створення масивів напівпровідникових квантових точок на твердотільних підкладках для потреб оптоелектроніки є технологічно багатофакторно-контрольований процес, що вимагає дорогого наукоємкого обладнання. Тому розробка нових економічних технологій та методик формування структур з квантовими точками на хімічно інертних та доступних носіях є актуальною проблемою сьогоденного матеріалознавства. У зв'язку з цим дисертаційне дослідження Бардашевської С.Д. є своєчасним та актуальним.

**Метою** дисертаційної роботи є розробка методик синтезу квантових точок напівпровідникових сполук  $A^2B^6$  у вуглецевих матрицях, вуглецевих квантових точок, дослідження їх оптичних та електричних властивостей, а також встановлення закономірностей змін електричних та оптичних властивостей.

Актуальність теми дисертаційної роботи підтверджується також й тим, що вона виконана в межах важливих державних наукових програм по тематиці Міністерства освіти і науки України, а саме: “Фізико-хімічні процеси в псевдоємнісних системах накопичення електричної енергії на основі нанопористого вуглецю” (№ 0112U001658), “Нанокмпозитимезопористий вуглець/сульфіди, оксиди, фториди металів у системах генерування і накопичення енергії (№ 0115U002264).

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Бардашевської С.Д. є цілком достатньою та базується на аналізі літературних джерел за проблемою, конкретній постановці мети та завдань дослідження, використанні сучасних методів досліджень, фаховому аналізі отриманих результатів та формулюванні висновків за результатами проведених робіт. Обробка експериментальних результатів виконана з використанням сучасних методів. Результати роботи отримані зі застосуванням низки взаємодоповнюючих та взаємоконтролюючих

експериментальних методик, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній праці.

### **Достовірність результатів досліджень**

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю поставлених та виконаних задач, застосуванням стандартних математичних процедур та комп'ютерних методів обробки експериментальних результатів, використанням апробованих та загальноприйнятих моделей. Крім того, достовірність одержаних у роботі результатів зумовлена використанням низки сучасних експериментальних методик: контроль пористої структури (питому площу поверхні та розподіл пор за розмірами) НВМ визначали на основі аналізу ізотерм адсорбції/десорбції азоту при температурі його кипіння (77 К), отриманих з використанням приладу Quantachrome Autosorb Nova 2200 e; дослідження електропровідності вуглецевого матеріалу здійснювали на вимірювальному комплексі AUTOLAB PGSTAT100 фірми "ECO CHEMIE" (Нідерланди), з програмним забезпеченням FRA-2; для дослідження активних оптичних фононних мод систем CdS-C і ZnSe-C, та електронної структури квантових точок використана раманівська спектроскопія в розширеному діапазоні частот від 50 до 3500  $\text{cm}^{-1}$ . Питому площу поверхні визначали за допомогою багатоточкового методу BET в діапазоні ізотерми адсорбції для відношення  $p_0/p$  в межах від 0,05 до 0,35. Розподіл пор за розмірами отримували за допомогою DFT-методу.

### **До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести:**

- 1) розроблена технологія формування напівпровідникових квантових точок матеріалів сполук  $A^2B^6$  в матриці нанопористого вуглецю;
- 2) запропоновані оптимальні технологічні умови отримання вуглецевих квантових точок методом термохімічного синтезу з речовини рослинного походження за використання різних прекурсорів;
- 3) досліджено спектри фотолюмінесценції та фотолюмінесцентне збудження квантових точок ZnSe/C, особливості комбінаційного розсіяння системи CdS-C

з різною концентрацією кадмію, оптичні властивості вуглецевих квантових точок, спектри фотолюмінесценції та кінетика згасання;

4) розраховані розміри напівпровідникових квантових точок у системі CdS-C;

5) показані перспективи практичного використання вуглецевих та напівпровідникових квантових точок у матриці вуглецю для приладів оптоелектроніки.

### **Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання**

Результати дисертаційної роботи Бардашевської С.Д. дають змогу з'ясувати основні фізичні властивості вуглецевих квантових точок та аналогічних квантових напівпровідникових об'єктів у вуглецевій матриці, а також дозволяють формувати матеріали з прогнозованими електрофізичними та оптичними властивостями. Приведені у дисертаційній праці результати можуть бути використані для розробки фотодетекторів, світловипромінювальних приладів, тонкоплівкових транзисторів та сонячних елементів, структур мікро- та наноелектроніки, а також новітніх сенсорних елементів для медицини. Матеріали дисертації можуть знайти застосування при викладанні навчальних дисциплін матеріалознавчого спрямування для студентів фізичних та хімічних спеціальностей університетів.

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях**

Основні положення та результати дисертаційної роботи Бардашевської С.Д. достатньо повно опубліковані у 20 наукових публікаціях. У тому числі 8 статтях, опублікованих у фахових виданнях, з них 4 у фахових журналах, що включені до реєстру міжнародних науково-метричних баз Scopus та Web of Science. Дисертантка представляла свої результати на 12 наукових конференціях. Загалом, рівень та кількість публікацій, апробація дисертаційних результатів на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України щодо захисту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.



Автореферат ідентичний за змістом з головними положеннями дисертації та достатньо відображає її основні наукові результати, отримані здобувачем.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. Дисертаційна робота перевантажена експериментальним матеріалом та насичена технічними деталями, які не є інформативними. Загальна інформація та типові схеми не прикрашають роботу, зокрема: п.2.1 (с.51-59), схеми типових установок ФЛ та дослідження КРС (п.2.8), сорбтометр NOVA 2200e з детальним технічним описом (рис.2.3 та 2.4 ). Рисунок 2.7 та 2.8 без цифрових значень по осях не мають змісту. Водночас фізична інтерпретація деяких практично важливих результатів носить описовий характер. Наприклад, “червоне зміщення” максимуму ФЛ в КТ ZnSe у вуглецевій матриці приписується глибоким центрам невідомої природи, а твердження “Форма лінії перетворюється на багатогранну структуру, яка виникає внаслідок насичення стану дефектів домішок від глибшого до меншого енергетичного рівня для структури ZnSe/C” ( п.3,с.16 автореферату) не має фізичного змісту.
2. У дисертаційному дослідженні значна увага акцентується на дослідженні енергоємнісних характеристик вихідних нанопористих вуглецевих матеріалів, що являє собою самостійну проблему та розв’язання якої є сьогодні актуальним для створення твердотільних джерел струму. Однак у контексті вирішуваної дисертанткою проблеми доцільним було б встановити взаємозв’язок між параметрами отриманих квантових точкових структур та питомою ємністю відповідних пристроїв накопичення заряду, сформованих на основі даного матеріалу.
3. Оцінка розміру і форми квантових точок CdS у вуглецевій матриці виконана без врахування наявності поверхневих функціональних груп (Розд. 3).
4. У дисертації (розділ 4) приведено результати оптичних властивостей квантових точок ZnSe у матриці вуглецю. Практично важливим результатом було б встановлення залежності оптичних властивостей наночастинок ZnSe від їхнього розміру.

5. Приведені результати в розділі 4 по моделюванню точкових дефектів у ZnTe віддалено корелюють з темою дисертації та завданнями до дисертаційного дослідження. Логічним результатом таких досліджень було б встановлення залежностей характерних параметрів напівпровідникових квантових точок від їхньої стехіометрії.

### Загальний висновок

На основі вище приведеного вважаю, що дисертаційна робота «Квантово-розмірні структури на основі напівпровідникових сполук  $A^2B^6C$ », за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 01.04.18 – фізика і хімія поверхні. Дисертація є завершеною науковою працею, яка розв'язує важливу наукову проблему отримання напівпровідникових квантових точок у вуглецевих матрицях та вуглецевих квантових точок з прогнозованими властивостями, виконана на високому науковому рівні та за актуальністю, науковою повизною і практичною значимістю відповідає вимогам МОН України до дисертаційних робіт, представлених на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук, п. 11 – 15 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. (зі змінами згідно з Постановою КМ України № 656 від 19.08.2015 р.), а її автор Бардашевська Світлана Дмитрівна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.18 – фізика і хімія поверхні.

#### Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,  
професор кафедри системного проєктування  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка

  
Коман Б.П.

Підпис професора Комана Богдана Петровича-  
засвідчую:

Вчений секретар Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
доцент

  
Грабовецька О.С.

