

Відгук

на кандидатську дисертацію Карпина Дмитра Степановича
«Вплив гетеромежі та домішок на стани та оптичний спектр поглинання
квантових точок» представленої до захисту на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07- фізика
твердого тіла.

З другої половини минулого століття представниками Львівської та
Дрогобицької наукової школи розвивається ефективний підхід до
дослідження електрон-деформаційної взаємодії у твердих тілах. При цьому
у рівняння Шредінгера виникають додатки, що відповідають обраній моделі
деформації. Пізніше даний підхід був поширений до напівпровідників з
різними видами дефектів. У дисертаційній роботі Карпина Д. С. «Вплив
гетеромежі та домішок на стани та оптичний спектр поглинання квантових
точок» розглядаються поверхневі ефекти у гетероструктурах з квантовими
точками (КТ). Особлива увага приділяється у роботі наявності поляризацій-
них зарядів на гетеромежах, впливу домішок, гетеромежі (КТ – матриця) та
електрон-деформаційної взаємодії на електрон-діркові стани у КТ та
оптичний спектр поглинання. За результатами дослідження Карпина Д. С.
можливо прогнозовано керувати параметрами приладів на основі КТ,
створювати високопродуктивні діоди Шотткі та конструювати джерела
випромінювання з високим коефіцієнтом корисної дії.

Виходячи з вищезазначеного можливо стверджувати, що актуальність
теми дисертаційних досліджень Карпина Дмитра Степановича « Вплив
гетеромежі та домішок на стани та оптичний спектр поглинання квантових
точок» не визиває сумніву.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів
Обґрунтованість наукових результатів підтверджується надійністю методів
розв'язування стаціонарного рівняння Шредінгера в наближенні однозонної

та чотиризонної моделі ефективної маси, розрахунку поверхневих станів у наногетеросистемах методами Рітца, стрільби, фазовим, методом самоузгодженого електрон-деформаційного потенціалу та поляризаційного потенціалу, визначенню коефіцієнту поглинання електромагнітних хвиль КТ з домішками і поляризаційною пасткою у дипольному наближенні.

Достовірність наукових результатів підтверджується з порівняння результатів моделювання з експериментальними даними, відповідністю загальноприйнятим уявленням фізики твердого тіла.

Публікації. Усього за темою дисертації опубліковано 10 друкованих праць, у тому числі 7 - фахових фізичних журналах, 4 із них індексуються у базі Scopus і одна з них – у журналі з Impact Factor) та 3 роботи, що є матеріалами міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел, що складається із 81 найменувань. Повний обсяг роботи становить 112 сторінок, у тому числі 23 рисунки.

Вступ містить усі обов'язкові пункти, які сформульовано достатньо чітко, предметно та відповідно до діючих умов. У вступі обґрунтовано тематику досліджень, визначено об'єкт та предмет дослідження, обрано методи дослідження. Сформульовано мету і завдання, наукову новизну, окреслено практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про результати досліджень, вказано на особистий внесок автора у визначенні результатів, винесених на захист, представлено структуру дисертації.

У **першому розділі** проаналізовано теоретичні та експериментальні роботи, які стосуються електрон-діркових станів у гетероструктурах з КТ, експериментальні роботи, що пов'язані з оптичними та фотолюмінесцентними властивостями наногетероструктур, описано методики, що застосовуються при дослідженні поверхневих станів, зумовлених домішками, гетеромежею КТ - матриця.

У другому розділі досліджено енергетичні спектри дірки у сферичній КТ за наявності йонів акцепторних домішок в межах чотиризонної моделі Латтінджера у наближенні Балдареші-Ліпарі. Конкретні обчислення проведено для CdSe квантових точок сферичної форми. Встановлено, що зміщення домішок від центра КТ спричинює розщеплення вироджених за магнітним квантовим числом енергетичних рівнів. Також встановлено, що поглинання світла КТ з двома іонами акцепторів відбувається інтенсивніше, ніж з одним (піки поглинання вищі), а зміщення йонів домішок від центра КТ веде до зміщення відповідних смуг поглинання у низькоенергетичну область. Як і для випадку одного акцептора, який розміщений не у центрі КТ, так і для двох акцепторів врахування складної структури валентної зони для дірки зумовлює появу «структури» у спектрі поглинання.

У третьому розділі розглянуто сферичну КТ з донорною домішкою у її центрі та враховано поляризаційний потенціал, що виникає внаслідок різних значень діелектричних проникностей КТ-матриця. Встановлено, що поляризаційні заряди та іон домішки є двома незалежними причинами існування поверхневих станів. Наявність поверхневих поляризаційних пасток та домішок відображається на лінійному коефіцієнті поглинання лінійно поляризованих електромагнітних хвиль. При обчисленні лінійного коефіцієнту поглинання враховано дисперсію КТ за розмірами $\sigma=5\%$.

У четвертому розділі приведено дослідження впливу екситон-домішкових комплексів на спектри оптичного поглинання КТ. Розглянуто гетеросистему з сферичною напівпровідниковою КТ, що поміщена у діелектричну матрицю. Отримані якісне узгодження для енергій та півширин у довгохвильових смугах поглинання та кількісне узгодження цих величин для екситонних смуг поглинання. Головні максимуми на експериментальних кривих пояснюються рекомбінацією екситонів Ваньє-Мотта, а у широкі смуги дає внесок рекомбінація за участю нейтрального акцептора. Слід зазначити, що при люмінесценції експериментально спостерігається зсув Стокса, максимуми якої припадають на 435 нм (середній радіус 17 Å) та

480nm (середній радіус 21,5 Å). Тоді як максимуми головного екситонного поглинання у роботі для аналогічних розмірів відповідають 420nm і 450 nm. Тобто експериментальні піки люмінесценції зсунуті у довгохвильову область порівняно з модельними результатами поглинання на 15nm і 30nm відповідно. різниці енергій узгоджуються з даними про зсув Стокса у КТ CdS.

У п'ятому розділі приведено результати досліджень впливу електрон-деформаційної взаємодії на формування поверхневих рівнів Тамма. Розглянуто гетеросистему InAs/GaAs з когерентно напруженими сферичним КТ InAs. Енергію пружної взаємодії КТ замінено на середнє поле пружних деформацій. Аналіз графічної залежності енергії стану електрона на гетеромежі КТ-матриця (енергія рівня Тамма) показав, що при зменшенні розмірів КТ енергія поверхневого рівня Тамма на гетеромежі InAs/GaAs з урахуванням електрон-деформаційної взаємодії є більшою від відповідної енергії без її урахування. Це зумовлено деформацією стиску матеріалу КТ, що спричинює збільшення ступеня перекриття електронних хвильових функцій окремих атомів на гетеромежі КТ-матриця. У результаті цього зростає енергія електростатичної взаємодії електронів. Отже, для розмірів КТ ($a \leq 25 \text{ Å}$) визначальну роль у заповненні електронних рівнів відіграють стани на гетеромежі КТ-матриця.

Дисертація написана грамотною українською мовою. Результати викладено чітко і зрозуміло.

Оцінюючи роботу в цілому, треба зазначити наступне: дисертаційна робота Карпина Д. С. «Вплив гетеромежі та домішок на стани та оптичний спектр поглинання квантових точок» є завершеною науковою працею.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

1. Встановлено, що як іон донорної домішки, так і потенціальна пастка на гетеромежі CdS/SiO₂ індують поверхневі електронні стани квантової точки на гетеромежі CdS/SiO₂.

2. Розраховано залежність енергії утворення екситона (EX) та екситон-домішкових комплексів з іоном донора (ED+-X), іоном акцептора (EA--X) та з нейтральними домішками (EA0 -X, ED0 -X) у наногетеросистемі CdS/SiO₂ від розміру квантової точки.
3. Встановлено, що у спектральному діапазоні ($1,24 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 1,55 \text{ мкм}$) коефіцієнт поглинання світла квантовою точкою з донорною домішкою у наногетеросистемі CdS/SiO₂, зумовлений електронними переходами в об'ємі квантової точки, є на п'ять порядків більшим за коефіцієнт поглинання світла у діапазоні ($0,517 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 0,539 \text{ мкм}$), зумовленого електронними переходами між об'ємним 1s та поверхневим 2p-станами.
4. Встановлено, що смуга сумарного спектрального коефіцієнта поглинання світла квантовими точками з розмірами 17 Å та 21,5 Å у наногетеросистемі CdS/SiO₂, зумовленого екситонами та екситон-домішковими комплексами (D+-X, D0-X, A--X, A0-X) характеризується двома максимумами, які припадають на довжини хвиль 420 нм і 450 нм відповідно.
5. Встановлено, що на напруженій гетеромежі квантова точка-матриця (InAs/GaAs) енергія таммівського стану електрона є більшою від відповідної енергії ненапруженої квантової точки

Отримані в роботі результати мають практичне значення. Так, встановлено, що результати теоретичних досліджень умов виникнення поверхневих поляризаційних пасток та локальних деформаційних потенціальних ям на межі КТ-матриця можуть бути використані для побудови нових приладів запису оптичної інформації з розширеним спектральним діапазоном у інфрачервону область, а також для створення ефективних детекторів мікрохвильового випромінювання та для методу електронної спектроскопії енергетичних рівнів у системах низької розмірності.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні. Разом з тим вважаю за необхідне висловити певні зауваження до роботи:

1. відсутнє визначення поняття "квантова точка";
2. не наведені у явному вигляді крайові умови задач, що розв'язувались;
3. не досліджено температурний ефект;
4. при порівнянні результатів моделювання з експериментальними даними не взято до уваги присутність у матеріалі меж зерен, дислокацій та інших дефектів;
5. відсутній аналіз ефекту форми квантової точки.

Однак, зазначені зауваження не знижують загальну наукову цінність дисертації Д. С. Карпина. За змістом дисертаційна робота Карпина Дмитра Степановича «Вплив гетеромежі та домішок на стани та оптичний спектр поглинання квантових точок» повністю відповідає спеціальності 01.04.07-фізика твердого тіла. Вона є завершеною самостійною науковою працею.

Анотеза дисертації відображає її основний зміст. У анотезі аргументовано пояснено актуальність теми та мету роботи, змістовно розкрито фізичні основи отриманих результатів.

Висновок.

Дисертаційна робота Карпина Д. С. є завершеним дослідженням, яке містить нові фізичні результати. Можна стверджувати, що за об'ємом та якістю результатів, їхньої апробацією на наукових конференціях та у наукових виданнях, дисертаційна робота «Вплив гетеромежі та домішок на стани та оптичний спектр поглинання квантових точок» повністю відповідає всім вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, а її автор Карпин Дмитро Степанович заслуговує

присудження йому ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри фізики

Південноукраїнського національного педагогічного
університету імені К. Д. Ушинського

 О. Р. Гохман

