

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кулик Надії Ярославівни «Вплив напруженої гетеромежі на електронні, дифузійні та електричні властивості наногетеросистем», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Дослідження квазінульвимірних напівпровідникових структур стимулюються як відкриттям ряду принципово нових фундаментальних явищ, так і наявністю великих прикладних можливостей. Такі гетероструктури привертають до себе увагу внаслідок їх оптичних, електронних властивостей і перспектив застосування в оптоелектроніці та у квантовій електроніці, зокрема, як нових матеріалів, перспективних для створення високошвидкісних оптичних перемикачів, надшвидкодіючих нанотранзисторів, оптоелектронних систем запису інформації та приладів високочастотної наноелектроніки. Відомо, що характеристики напівпровідникових приладів в значній мірі залежать від властивостей меж поділу між різними матеріалами в гетероструктурах та визначаються енергетичними спектрами квазічастинок і зокрема квантових точок.

Актуальність роботи полягає в тому, що в ній проведені теоретичні дослідження впливу якості та геометрії деформованої гетеромежі (InAs/GaAs) на квантові стани носіїв заряду, просторово-часовий перерозподіл дефектів у напружених наногетеросистемах GaAs/In_xGa_{1-x}As/GaAs (ZnTe/Zn_{1-x}Cd_xTe/ZnTe) та електричних властивостей діодів Шотткі з вбудованим шаром квантових точок в область просторового заряду напівпровідника.

Тема досліджень і отримані наукові результати дисертації відповідають науковому спрямуванню кафедри загальної фізики та основним напрямкам наукової діяльності Інституту фізики, математики, економіки та інноваційних

технологій Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, де виконувалась робота.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Розвинуто метод розрахунку квантових станів зарядів, які локалізовані в квантовій точці з врахуванням як самоузгодженої електрон-деформаційної взаємодії, так і неоднорідно-деформованої гетеромежі квантова точка – матриця.
2. Показано, що самоузгоджений електрон-деформаційний потенціал напруженої наногетеросистеми з квантовими точками приводить до формування додаткових квазітрикутних потенціальних ям в квантовій точці і квазітрикутних потенціальних бар'єрів в матриці та до пониження енергії основного та збудженого станів електрона в квантовій точці.
3. Встановлено, що аксіально-симетричне збурення сферичної форми квантової точки InAs і деформація її матеріалу приводять до перерозподілу густини ймовірності локалізації електрона в квантовій точці, а електрон-деформаційна взаємодія квантової точки з матрицею InAs/GaAs приводить до зменшення ймовірності локалізації електрона в квантовій точці.
4. Показано, що самоузгоджений дифузійно-деформаційний перерозподіл точкових дефектів виду центрів стиску (розтягу), зумовлений градієнтом концентрації точкових дефектів та градієнтом деформації, що викликана як точковими дефектами, так і напруженими гетеромежами GaAs/ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ /GaAs, приводить до зменшення (збільшення) їх концентрації в робочій області $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ структури GaAs/ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ /GaAs.
5. Встановлено, що вольт-амперна характеристика (ВАХ) низькобар'єрного ($\Delta \leq 0.5\text{eV}$) діода Шотткі (метал – n-GaAs: InAs – n^+ -GaAs) з вбудованим шаром квантових точок в область просторового заряду напівпровідника має S-подібний характер за

умови, коли шар квантових точок знаходиться на відстанях від межі контакту метал – напівпровідник порядку $10a_0$ (a_0 – період ґратки напівпровідника), тоді як із збільшенням висоти бар'єру від 0.5eV до 0.9eV, так і відстані від металу до шару квантових точок більшій 10 періодів ґратки S-подібний характер ВАХ зникає.

Наукове та практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що проведені дослідження впливу деформації та геометрії гетеромежі InAs/GaAs на квантові стани носіїв заряду та електричних властивостей діодів Шотткі з вбудованим шаром квантових точок в область просторового заряду напівпровідника можуть бути безпосередньо використані для проектування та створення низькобар'єрних діодів як детекторів мікрохвильового випромінювання без постійного робочого зміщення, нового класу високочастотних генераторів і для методу електронної спектроскопії енергетичних рівнів у системах низької розмірності. Дослідження впливу напружених гетеромеж на просторовий розподіл точкових дефектів може бути використане практично для очищення дефектів з епітаксійних шарів способом деформаційної дії.

Достовірність отриманих результатів та висновків забезпечується використанням сучасних добре апробованих теоретичних і експериментальних методів і комп'ютерних програмних пакетів.

Отримані теоретичні оцінки не викликають сумніву, оскільки низка одержаних результатів і, зокрема, проведені розрахунки нестационарного розподілу концентрації точкових дефектів та ВАХ діода Шотткі з вбудованим шаром квантових точок добре узгоджуються з експериментальними даними наявними в літературі.

Перший розділ дисертації є оглядовим. У цьому розділі аналізується стан експериментальних і теоретичних досліджень впливу геометрії деформованої гетеромежі, форми та розмірів квантових точок на квантові стани носіїв заряду, деформаційно-дифузійного перерозподілу точкових

дефектів в напружених наногетеросистемах, електричних властивостей поверхнево-бар'єрних структур виду Шотткі.

У другому розділі приведено дослідження впливу як самоузгодженого електрон-деформаційного потенціалу сферичної квантової точки, взаємодіючої з матрицею, так і неоднорідно-деформованої гетеромежі квантова точка – матриця (InAs/GaAs) на квантово-механічні стани зарядів, локалізованих всередині деформованої квантової точки. Показано, що самоузгоджений електрон-деформаційний потенціал напруженої наногетеросистеми з квантовими точками приводить до пониження енергії основного та збудженого станів електрона в квантовій точці розміром $R_0 = 100 \text{ \AA}$ на 16 меВ, 21 меВ відповідно. Встановлено, що аксіально-симетричне збурення сферичної форми квантової точки InAs і деформація її матеріалу приводять до перерозподілу густини ймовірності локалізації електрона в квантовій точці, а електрон-деформаційна взаємодія квантової точки з матрицею InAs/GaAs приводить до зменшення ймовірності локалізації електрона в квантовій точці.

Третій розділ дисертації присвячений дослідженню нестационарного розподілу точкових дефектів у тришарових напружених наногетеросистемах GaAs/In_xGa_{1-x}As/GaAs (ZnTe/Zn_{1-x}Cd_xTe/ZnTe). Показано, що самоузгоджений дифузійно-деформаційний перерозподіл точкових дефектів виду центрів стиску (розтягу), приводить до зменшення (збільшення) їх концентрації в робочій області In_xGa_{1-x}As структури GaAs/In_xGa_{1-x}As/GaAs.

У четвертому розділі дисертації досліджено вплив квантових точок (InAs), розміщених в області просторового заряду напівпровідника на топологію розподілу потенціалу та характер ВАХ поверхнево-бар'єрної структури метал – n-GaAs: InAs – n⁺-GaAs. Встановлено, що вольт-амперна характеристика низькобар'єрного ($\Delta \leq 0.5eV$) діода Шоткі з вбудованим шаром квантових точок в область просторового заряду має S-подібний характер за умови, коли шар квантових точок знаходиться на відстанях від

межі контакту метал-напівпровідник порядку $(10-30)a_0$, де a_0 – період ґратки напівпровідника.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. В роботі відсутня мотивація вибору матеріалу досліджуваних структур GaAs/In_xGa_{1-x}As/GaAs та їх основні вихідні характеристики. На стор.69 не вмотивовано додатково введена структура ZnTe/Zn_{1-x}Cd_xTe/ZnTe.

2. В розділі 2.6(стор.63) відмічається «Хвильова функція квазічастинки у неоднорідно-деформованому сферичному наноб'єкті, що знаходиться в матриці, чутлива як до збурення форми поверхні наноб'єкта, так і до деформації його матеріалу. Зміна густини ймовірності локалізації квазічастинки буде проявлятися на оптичних, фотолюмінесцентних, контактних і поверхневих властивостях наногетероструктур». Бажано було б навести хоча б літературні дані щодо оптичних досліджень, що підтверджують такий висновок.

3. В розділі 4.5(стор.106) S-подібний характер ВАХ, що спостерігався на низькобарерних діодах Шоттки з вбудованим шаром квантових точок в область просторового заряду, підтверджений подібними дослідженнями на структурах з квантовими точками InAs. Було б доцільним провести вимірювання ВАХ на досліджуваних в даній роботі структурах.

4. В. роботі містяться деякі невдалі вирази (наприклад «гладка гетеромежа», «не гладка гетеромежа», «когерентно напружені квантові точки»), які треба було б взагалі виключити, або пояснити їх значення.

В цілому наведені зауваження не впливають на зміст основних висновків роботи.

Автореферат дисертації в достатній марі відбиває результати проведених досліджень. Основні результати дисертаційної роботи представлені у провідних фахових вітчизняних і зарубіжних виданнях та збірниках матеріалів наукових конференцій.

Дисертаційна робота Кулик Надії Ярославівни є **завершеним науковим дослідженням**, яке підтверджує високу кваліфікацію дисертанта.

Вважаю, що за актуальністю теми, обсягом досліджень, науковою новизною, практичним значенням отриманих результатів і висновків дисертаційна робота «Вплив напруженої гетеромежі на електронні, дифузійні та електричні властивості наногетеросистем» задовольняє всім вимогам Вищої атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України до кандидатських дисертацій, а її автор, Кулик Надія Ярославівна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07– фізика твердого тіла.

Доктор фізико-математичних наук, професор,
декан фізичного факультету
Одеського національного університету
імені І.І. Мечникова



Ю.Ф.Ваксман



Заступник секретаря ОНУ імені І.І. Мечникова



Гурандо С.В.

