

ВІДГУК



офіційного опонента на дисертацію Малого Євгена Вікторовича «Властивості дефектів структури у фосфіді галію та їхній вплив на параметри світлодіодів», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла

Останнім часом значна увага науковців приділяється дослідженню напівпровідникових світлодіодів, що випромінюють в різноманітних областях спектру. Це зумовлено широким використанням таких енергоощадних, швидкодійних та мініатюрних джерел світла в оптоелектроніці, світлотехніці, складних електронних системах спеціального використання та ін..

Подальший розвиток і застосування світлодіодів спрямований на підвищення інтенсивності випромінювання, оптимізації спектрального складу, встановлення впливу зовнішніх факторів: електронного та нейтронного опромінення, акустичних полів.

Актуальність роботи Малого Є.В. «Властивості дефектів структури у фосфіді галію та їхній вплив на параметри світлодіодів» полягає в тому, що вона спрямована на встановлення механізмів впливу опромінення електронами, нейтронами та акустичним полем на формування дефектів структури у фосфіді галію, що впливають на оптичні і електрофізичні характеристики світлодіодів.

Результати таких досліджень можуть бути корисними для підвищення радіаційної стійкості світлодіодних структур, оскільки їх використовують у електронних пристроях на АЕС та космічних апаратах.

Дисертаційне дослідження є складовою частиною науково-дослідної роботи, що виконувалась у відповідності з плановими науковими програмами відділу радіаційної фізики Інституту ядерних досліджень НАН України, а також відповідно до планів держбюджетних тем, перелік яких наводиться в роботі та авторефераті.

Достовірність і наукова обґрунтованість одержаних результатів базується на експериментальних дослідженнях, а також на результатах числових оцінок запропонованих моделей. Одержані експериментальні результати ґрунтуються на використанні сучасних методик досліджень: оптичних (аналіз спектрів електролюмінесценції в видимому діапазоні довжин хвиль, залежності

інтенсивності світіння від величини інжекційного струму, температури, зовнішніх факторів: іонізуючого випромінювання та акустичних полів), електрофізичних (вимірювання ВАХ в режимах генератора струму та генератора напруги).

Опромінення електронами з $E = 2$ МеВ відбувалося на прискорювачі ИЛУ-6 в імпульсному режимі; нейтронами – на горизонтальному каналі дослідницького ядерного реактора ВВР-М.

В ряді випадків одержані експериментальні результати добре узгоджуються з результатами досліджень інших авторів.

Наукові результати роботи є новими. Найбільш значними є такі:

1. Встановлено, що основна смуга свічення зелених світлодіодів при 77К зумовлена рекомбінацією екситона, зв'язаного на домішкових атомах азоту, які займають сусідні місця в підгратці фосфору (NN₁-лінія). Лінія меншої інтенсивності, розташована біля краю фундаментального поглинання, виникає в результаті анігіляції екситона, локалізованого на ізольованому атомі N.

2. Формування смуги випромінювання з максимумом $h\nu_{\max} = 2,206$ еВ червоних світлодіодів GaP обумовлено донорно-акцепторними переходами між неконтрольованою домішкою – оловом та основною легуючою – цинком, а її головною особливістю є зростання інтенсивності при малих струмах та, зумовлене тепловим ефектом, падіння – при великих.

3. Виявлено, що УЗО світлодіодів GaAs_{1-x}P_x спричиняє виникнення низки деградаційно-відновлювальних процесів, зумовлених захопленням носіїв струму дислокаціями. Встановлено причини часткового зростання інтенсивності світіння на початкових циклах УЗО та його подальше гасіння зумовлене зміною зарядового стану дефектів.

4. Запропоновано модель зв'язку зонної структури фосфіду галію з формуванням S- та N-ділянок від'ємного диференційного опору на ВАХ GaP-світлодіодів при низьких температурах;

Наведені результати досліджень визначають **наукову значимість роботи**, яка полягає у розв'язанні проблеми формування домішкових центрів та їх зв'язку з оптичними і електрофізичними властивостями випромінюючих структур при електронному, нейтронному та акустичному опроміненні GaP-світлодіодів.

Практична значимість роботи. Результати роботи можуть бути застосованими розробниками світлодіодів на базі структур, що включають GaP.

Визначено коефіцієнти радіаційної стійкості фосфіду галію для електронного та нейтронного опромінення, які можуть бути корисними розробникам електронних приладів для експлуатації в умовах іонізуючого випромінювання.

Одержані результати щодо механізмів випромінювання і впливу неконтрольованих домішок на квантовий вихід діодів можуть бути корисними при розробці методів підвищення їх ефективності і контрольованого керування спектральним складом випромінювання.

Очевидно, що результати оптичних та електрофізичних досліджень світлодіодів на основі GaP, можуть бути поширеними на інші напівпровідникові структури.

Дисертаційна робота складається з п'яти розділів. Перший розділ є оглядовим. Наведено відомі в літературі результати досліджень оптичних і електрофізичних характеристик вихідних та опромінених частинками різних видів світлодіодів на основі GaP. Проаналізовано особливості дефектоутворення у кристалах, опромінених різними видами частинок.

В другому розділі описуються технічні засоби вимірювання спектрів електролюмінесценції, установка для вимірювання вольт-амперних характеристик у режимі генератора струму і генератора напруги. Вказані засоби електронного, нейтронного та ультразвукового опромінення досліджуваних світлодіодів.

У третьому розділі наведено оптичні та електрофізичні характеристики вихідних світлодіодів. Аналізуються механізми випромінювальної рекомбінації досліджуваних світлодіодів та особливості їх електрофізичних характеристик. Запропоновано механізм виникнення від'ємного диференціального опору у кристалах GaP.

Четвертий розділ присвячений обговоренню результатів досліджень впливу електронного та нейтронного опромінення на оптичні та електрофізичні властивості GaP-світлодіодів. Розглянуто процеси деградації світлодіодів під дією електронного та нейтронного опромінення.

П'ятий розділ присвячений розгляду діодів на основі GaAsP-структур. Наведено електрооптичні характеристики вихідних та опромінених електронами

структур. Встановлено та досліджено акустостимульовані релаксаційні процеси електролюмінесценції GaAsP-світлодіодів.

Недоліками роботи є:

1. Аналіз спектрів випромінювання GaP-світлодіодів (рис.3.1,3.2) приводить автора роботи до висновку про виключно фононну структуру спектрів екситонної люмінесценції на центрах N та NN_1 . Разом з тим, лінії випромінювання на центрах NN_1 з енергією випромінювання менше 2.175eV можуть бути ідентифіковані з урахуванням особливостей випромінювальної рекомбінації на асоційованих парах атомів азоту з різними відстанями між ними, що не враховувалось в роботі.
2. Енергія зв'язку екситона з атомом азоту є меншою порівняно з енергією зв'язку з NN_1 -центром. Чому при підвищенні температури від 77 до 300K в спектрі електролюмінесценції спостерігається смуга випромінювання на атомах азоту і повністю відсутнє випромінювання на NN_1 центрах?
3. Залежності інтенсивності ліній N і NN_1 від величини струму (рис.3.4) пояснюються змінами перерізу захоплення неосновних носіїв заряду на відповідні центри у процесі зростання рівня інжекції. Можливі механізми таких змін перерізу захоплення носіїв заряду не обговорюються.
4. В роботі відмічається, що основна смуга випромінювання на 1,845 eV GaAsP-діодів характеризується аномально великою шириною, що може бути зумовлено внутрішньою структурою пастки Zn-O, на якій зв'язується екситон. В чому полягає особливість внутрішньої структури такого центру? Чи не є значне розширення спектру люмінесценції результатом прояву пар Zn-O з різними відстанями між донором і акцептором?
5. В тексті дисертації зустрічаються деякі неточності та використовуються терміни обмеженого вжитку, що не є загальноприйнятними (наприклад, «коефіцієнт пошкодження часу життя», стор.76 «Видно, що зростання рівня інжекції супроводжується збільшенням інтенсивності свічення та зсувом у бік більших енергій до тих пір, поки він не перекриється тепловим ефектом» та ін.), мають місце деякі порушення при складанні списку переліку використаних джерел, відсутні посилання на літературу в підписах

до рисунків оглядової частини, деякі рисунки (наприклад, рис.3.3) перевантажені та важко читаються.

Наведені зауваження не впливають на зміст основних наукових висновків роботи. В цілому робота написана послідовно, містить достатню кількість експериментального матеріалу, наведеного у вигляді інформативних рисунків, та числових оцінок фізичних величин.

Найбільш суттєві результати роботи опубліковано у 14 наукових статтях в вітчизняних та зарубіжних журналах, доповідались на 18 фахових конференціях. Автореферат в достатній мірі відбиває зміст дисертації.

Розглянута робота є завершеним науковим дослідженням, результатом якого є встановлення особливостей утворення дефектів в GaP-світлодіодах при електронному, нейтронному та ультразвуковому опроміненні та їх вплив на оптичні і електрофізичні властивості випромінюючих структур. Отримані в дисертації науково обгрунтовані експериментальні результати є суттєвими для розвитку фізики світлодіодів, що працюють в умовах дії іонізуючих випромінювань.

Вважаю, що робота «Властивості дефектів структури у фосфіді галію та їхній вплив на параметри світлодіодів» відповідає вимогам щодо кандидатських дисертацій, а її автор Малий Євген Вікторович заслуговує надання йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент
доктор фізико-математичних наук,
професор кафедри експериментальної фізики

Ю.Ф.Ваксман

