

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента *Кириленко Олени Іванівни*

на дисертаційну роботу *Мосюк Тетяни Іванівни*

«Особливості фізичних характеристик вихідних і опромінених електронами з енергією $E = 2 \text{ MeV}$ гомо- та гетероперехідних світлодіодів»,

подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 10 «Природничі науки»

за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Актуальність теми дослідження

Світлодіодним джерелам світла належить провідна роль у функціонуванні оптоелектронних пар, систем перетворення, зчитування та передавання інформації, формування банку даних, у системах космічного зв'язку тощо. Якість світлодіодів у першу чергу залежить від стабільності їхніх параметрів, стійкості до зміни умов застосування і, особливо, до впливу проникної радіації. Швидкий розвиток сучасних технологій вирощування вихідних кристалів, а відтак і гомо – та гетероперехідних структур, стимулює розширення пошуку у напрямку накопичення інформації про вплив внутрішніх і зовнішніх факторів як на властивості базових матеріалів, так і на готові вироби.

Відомо, що головну роль у зміні характеристик напівпровідникових структур відіграють глибокі рівні, які змінюють час життя неосновних носіїв струму, деформують краї дозволених зон і створюють передумови для виникнення «аномальних» особливостей у приладах від'ємного диференціального опору, тунелювання носіїв, високочастотних коливань тощо. Оптичні характеристики напівпровідникових приладів особливо чутливі до наявності у кристалах структурних пошкоджень, тому використання оптичних методик для діагностики дефектів – доцільне і перспективне. Технології ядерного легування напівпровідників, чи одержання тонких плівок шляхом іонної імплантації ґрунтуються на закономірностях взаємодії швидких часток із речовиною.

Вивчення наслідків впливу радіації на характеристики світлодіодів сприяє нагромадженню інформації про властивості порушень структури, що важливо з погляду розробки методів підвищення ефективності та радіаційної стійкості, вдосконаленні технологій в оптоелектронній техніці.

Таким чином, тема дисертаційної роботи Мосюк Т.І., яка присвячена дослідженню електрофізичних та оптичних характеристик вихідних та

опромінених електронами з енергією $E = 2 \text{ MeV}$, гомоперехідних GaP, GaAsP, світлодіодів і гетероперехідних світлодіодів InGaN з квантовими ямами, є актуальною як з теоретичної, так і з практичної точок зору.

У роботі детально описано технологію опромінення зразків, приготування до експериментальних вимірювань, принципові схеми вимірювальних пристроїв, особливості низькотемпературних вимірювань, способи одержання потрібної інформації та методи опрацювання результатів. Це безумовно надає роботі особливу цінність.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

Дисертаційна робота складається з анотації українською та англійською мовами, списку публікацій здобувача, вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 102 сторінки. Робота містить 1 таблицю, 40 рисунків, які розміщені на 36 сторінках. До переліку використаних джерел увійшло 129 найменувань, більшість з яких англійською мовою.

У вступі обґрунтовано актуальність вибору теми дослідження, визначено об'єкт, предмет, мету і основні завдання дисертаційного дослідження, описано наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів, подано апробацію матеріалів дисертації та представлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами та грантами.

У першому розділі, на основі аналізу досліджень різних авторів, проаналізовано вплив квантових ям на випромінювальну рекомбінацію у вихідних та опромінених світлодіодів з гомо- і гетеропереходами.

У другому розділі описано об'єкти досліджень, експериментальні методики, режими електронного та γ – опромінення .

У третьому розділі розглянуті результати досліджень електрофізичних характеристик вихідних світлодіодів GaP, InGaP/GaN, а також опромінених електронами з $E=2 \text{ MeV}$, γ -квантами Co^{60} і Cs^{137} . Встановлено, що ефективність дії γ -квантів Co^{60} у 1,5 рази вища, ніж γ квантів Cs^{137} . Досліджено роль квантових ям у зміні ефективності випромінювання опромінених InGaN/GaN світлодіодів.

У четвертому розділі дисертаційної роботи досліджено та поглиблено розуміння особливостей впливу електронного ($E=2\text{MeV}$) опромінення на електролюмінесцентні характеристики гетероперехідних УФ InGaN світлодіодів із квантовими ямами.

У п'ятому розділі розширено і уточнено уявлення про природу дефектів радіаційного походження, які виникають у світлодіодних структурах GaAsP при електронному ($E = 2 \text{ MeV}$) опроміненні.

Висновки за результатами виконання дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень, відповідають змісту і поставленій меті роботи.

Перелік використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає встановленим вимогам МОН України.

Таким чином, дисертація Мосюк Т.І. повністю відповідає спеціальності 104 – Фізика та астрономія, галузі знань 10 - Природничі науки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота була виконана в рамках тематики науково-дослідницьких робіт, які виконувалися і виконуються на кафедрі експериментальної і теоретичної фізики та астрономії Українського державного університету імені Михайла Драгоманова - «Вплив радіаційних дефектів на ефективність світлодіодів із квантовими ямами» та тематики наукових досліджень відділу радіаційної фізики Інституту ядерних досліджень НАН України - «Фізичні властивості багатодолинних напівпровідників і світлодіодів у радіаційних, теплових та деформаційних полях».

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків

У роботі досліджено деградаційно-відновлювальні особливості електрооптичних характеристик гомоперехідних GaP, GaAsP та гетероперехідних InGaN світлодіодів із квантовими ямами.

Достовірність отриманих результатів забезпечується:

- результатами виконаних автором низки експериментальних досліджень (описані у розділах 3, 4 та 5);
- публікацією 3 статей у фахових виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus;
- апробацією отриманих наукових результатів на 4 міжнародних наукових конференціях та 2 щорічних наукових конференціях Інституту ядерних досліджень НАН України;

- впровадженням отриманих результатів в навчальний процес кафедри експериментальної і теоретичної фізики та астрономії Українського державного університету імені Михайла Драгоманова;
- дослідними випробуваннями у відділі радіаційної фізики Інституту ядерних досліджень НАН України.

Основні наукові результати, одержані автором, та їхня новизна

Основні наукові результати та висновки дисертації пройшли апробацію під час міжнародних наукових конференцій та знайшли відображення в публікаціях у фахових виданнях. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано: 11 наукових праць, серед яких: 3 статті у наукових фахових виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus та 8 праць – у матеріалах і тезах конференцій.

Дисертантка отримала наступні наукові результати:

вперше:

- виявлено «голубий зсув» основної лінії $\lambda_{\max}=505$ нм у світлодіодах $\text{In}_{0,21}\text{Ga}_{0,79}\text{N}$ при $T=77$ °К на величину $\Delta\lambda = 7,2$ нм, зумовлений квантуванням енергетичних станів квантової ями;

- встановлено, що різке падіння квантового виходу світлодіодів InGaN після $I = 5$ мА виникає внаслідок переповнення квантових ям носіями струму і зростання ролі квазібалістичного перенесення нетермалізованих носіїв над квантовими ямами;

- виявлена додаткова лінія з $\lambda_{\max}=420$ нм у спектрі світлодіода InGaN при $T=77$ °К, яка виникає після опромінення електронами з $E=2$ МеВ ($\Phi = 5,74 \cdot 10^{14}$ см⁻²) внаслідок введення в УФ світлодіоди дефектів радіаційного походження;

- визначена температура носіїв струму T_e в області р-п-переходу світлодіодів InGaN , яка при $I=20$ мА становить $T_e=252$ °С. Велике значення T_e порівняно з кімнатною пов'язане з першочерговим доланням бар'єрного поля високоенергетичними носіями.

уточнено:

- спектральну структуру випромінювання УФ світлодіодів InGaN/GaN , яка при $T=300$ °К характеризується наявністю трьох ліній випромінювання $\lambda_{1\max}=370$ нм, $\lambda_{2\max}=550$ нм, $\lambda_{3\max}=770$ нм. Перша з них - основна, узгоджується з класичними розподілами Лоренца та Гауса; дві інші – дефектного походження, зумовлені переходами у межах квантових ям;

- спектральний розподіл інтенсивності свічення опромінених УФ світлодіодів InGaN/GaN.

подальшого розвитку набули:

- методи дослідження спектральних характеристик гомоперехідних GaP, GaAsP та гетероперехідних світлодіодів InGaN з квантовими ямами, зокрема розроблено метод опорних світлодіодів з використанням цифрового спектрометра Green-Wave (350-1150 нм) компанії StellarNet (USA) з оптоволоконними насадками регулювання світлового потоку для підвищення чутливості та точності вимірювання;

- підходи та методи радіаційної обробки промислових світлодіодів для контрольованого формування дефектної структури зразка.

Практичне значення одержаних результатів

1. Залежності інтенсивності свічення світлодіодів від струму та температури можуть бути використані розробниками оптоелектронних приладів.

2. Залежності величини квантового виходу світлодіодів від струму можуть бути корисними виробникам опто-електронних модулів.

3. Результатами досліджень термічної стабільності світлодіодів GaP можна скористатись для визначення області їхніх робочих температур.

4. Конструкторам, які використовують світлодіоди InGaN для створення оптоелектронних блоків, необхідно враховувати існування «голубого зсуву» досліджуваних діодів.

5. Дозними залежностями електрофізичних величин світлодіодів GaAsP можна скористатись при розрахунку режиму їхньої роботи в умовах підвищення рівнів радіаційного впливу.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушення академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі відсутні.

Зауваження до дисертації

1. Н ст. 61 рис. 5.3. головний максимум $\lambda_{\max}=376$ нм при $I=15$ мА виявився плоским. Імовірно, що його розщеплення на основну лінію та її повторення за участі акустичного фонуна можна було б виявити шляхом збільшення

інжекційного струму вище $I=15$ мА. Одержаний результат міг би додатково збагатити одержану авторкою детальну спектральну характеристику УФ діодів.

2. У дисертації Мосюк Т.І. зроблено висновок, що зменшення параметра E_0 при збільшенні струму через діод зумовлене заповненням глибоких рівнів хвостів густини станів. Його переконливим підтвердженням могли б бути температурні залежності $E_0(T)$.

3. Практичне значення результатів досліджень радіаційної стійкості, дисертації Мосюк Т.І. було б вагомим при наявності порівняльного аналізу дозних залежностей квантових виходів $\eta(\Phi)^{\text{GaAsP}}$ та $\eta(\Phi)^{\text{InGaN}}$.

4. У незначній кількості виявлено орфографічні та стилістичні помилки.

Вище викладені зауваження не впливають на загальне позитивне враження від роботи.

Висновки щодо дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Мосюк Тетяни Іванівни «Особливості фізичних характеристик вихідних і опромінених електронами з енергією $E = 2$ MeV гомо- та гетероперехідних світлодіодів», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» (галузь знань 10 «Природничі науки») є завершеним і самостійним науковим дослідженням, яке за актуальністю теми, її новизною та обґрунтованістю наукових результатів, що мають теоретичне і практичне значення, відповідає вимогам до наукової кваліфікації ступеня доктора філософії, що встановлені «Порядком присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року, а здобувачка Мосюк Тетяна Іванівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 10 - Природничі науки за спеціальністю 104 - Фізика та астрономія.

Рецензент:

кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри експериментальної
і теоретичної фізики та астрономії
Українського державного університету
імені Михайла Драгоманова

