

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Інституту ядерних досліджень НАН України
Член-кореспонденту НАН України,
Доктору фізико-математичних наук, професору,
Головному науковому співробітнику відділу
Теоретичної фізики ІЯД НАН України
Сугакову Володимирі Йосиповичу

Відгук
офіційного опонента

доктора фізико-математичних наук, старшого дослідника,
заступника завідувача відділу кінетичних явищ та поляритоники Інституту
фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України

НАСЄКИ Юрія Миколайовича

на дисертаційну роботу СТРАТІЛАТА Дмитра Петровича на тему:
«Вплив радіаційних дефектів на характеристики гомоперехідних
світлодіодів (GaP; GaAsP) та гетероперехідних (InGaN/GaN)»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі знань «10 природничі науки»
за спеціальністю «104 фізика та астрономія»

1. Актуальність обраної теми дисертаційної роботи.

Цикл наукових досліджень аспіранта Стратілата Д.П. спрямований на одержання інформації про спектральні та електрофізичні характеристики світлодіодних (СД) структур, котрі наразі повсюдно використовуються у мікроелектроніці, системах керування, обробки і передавання інформації, космічного зв'язку, промисловості та побуту. Перспективність розвитку технологій одержання новітніх джерел свічення забезпечується наявністю результатів, одержаних на приладах попереднього покоління. Відтак актуальність роботи, виконаної дисертантом, додатково розширюється поєднанням двох напрямів напрямку – одержання експериментальних даних про вплив структурних дефектів на властивості гомоперехідних СД – GaP; GaAsP та гетероперехідних найсучасніших СД із квантовими ямами – InGaN

Безсумнівно актуальним слід вважати також напрям досліджень деградаційно-відновних процесів у СД, опромінених електронами проміжних енергій, враховуючи реальну можливість їхнього застосування у зонах із перевищеними рівнями доз проникного випромінювання, на АЕС, прискорювачах заряджених часток, у Космосі, чи у зоні військових дій

2. Оцінка структури дисертації, її наукового рівня та обґрунтованості/достовірності положень, що в ній сформульовані.

Для опонування одержано текст дисертаційної роботи загальним обсягом 145 сторінок. Дисертація складається з переліку умовних позначень, вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел з 96 найменувань, одного додатку і містить 77 рисунків та 5 таблиць. Структура дисертації з послідовним і логічним викладом матеріалу починається із детального огляду експериментальних засобів та методів досліджень і закінчується загальними висновками та списком літератури; кожен етап виконаної роботи завершується підсумковими висновками

Перший розділ – оглядового характеру, він містить результати, одержані іншими авторами, які дотичні до теми, вибраної автором дисертації. Розглянуто властивості гомоперехідних GaP, GaAsP та гетероперехідних InGaN із наноструктурною активною областю, а також можливості і застосування СД.

У *другому розділі* автор детально зупиняється на способах опромінення електронами з $E_e = 2 \text{ MeV}$, γ – квантами ^{60}Co , ^{137}Cs та методах вимірювань електричних і оптичних характеристик у межах $77 - 300 \text{ K}$. Особлива увага звернута на підготовчі процеси – конструювання необхідних пристроїв, виготовлення допоміжного обладнання. Важливо відмітити також, що додатково були проведені дослідження розподілу нейтронного потоку реактора з метою підвищення точності флюєнсу, одержаною зразком.

У *третьому розділі* приведено матеріали досліджень вихідних та опромінених переважно електронами з $E_e = 2 \text{ MeV}$ фосфідо-галієвих світлодіодів. За результатами вимірювань спектрів електролюмінесценції одержано глибини рівнів гасіння інтенсивності випромінювання; виявлено основні стадії відновлення електропровідності опромінених зразків – $20 - 50^\circ\text{C}$; $50 - 120^\circ\text{C}$ та $120 - 270^\circ\text{C}$, причому основна ($120 - 270^\circ\text{C}$) відповідає відновленню електропровідності n – та p – області діода. У цьому ж розділі приведені матеріали досліджень радіаційної стійкості СД GaP; результати визначення коефіцієнту пошкодження часу життя носіїв струму $K_{\tau 1} = 0,71 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$; $K_{\tau 2} = 1,67 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$.

Четвертий та п'ятий розділи містять результати досліджень електрофізичних характеристик СД GaAsP, виміряних у межах $77 - 300 \text{ K}$. Виявлено, що при $T \leq 90 \text{ K}$ на ВАХ СД виникає ділянка від'ємного диференційного опору, забезпечена існуванням внутрішнього оберненого зв'язку за струмом. В основі механізму виникнення електропровідності СД GaAsP при кімнатній температурі лежить дифузійно-рекомбінаційна компонента ($n_{\text{неід}} = 1,59$); в опроміненого зразку ($\Phi_e \geq 8,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$) вона зростає з дозою ($n_{\text{неід}} = 2$).

Шляхом аналізу спектральних температурних залежностей вихідних та опромінених електронами СД GaAsP визначено величини їхніх електронних температур. Показано, що введення радіаційних дефектів супроводжується

зростанням T_e та збільшенням ширини спектральних ліній. Виявлено, що порівняно з СД GaP аналогічні структури мають вищу радіаційну стійкість.

Шостий і сьомий розділ присвячені розгляду результатів вимірювання спектральних характеристик гетероструктурних «білих» СД InGaN із квантовими ямами. Встановлено, що профіль спектральної лінії активного елемента - СД InGaN із $\lambda_{max1} = 443 \text{ нм}$ відповідає класичному розподілу Гауса; випромінювання люмінофора – результат накладання двох ліній $\lambda_{max} = 540 \text{ нм}$ та $\lambda_{max} = 570 \text{ нм}$.

Зменшення інтенсивності випромінювання при великих струмах ($I > 20 \text{ mA}$) може бути результатом дії ефекта балістичного перенесення носіїв над квантовими ямами. Опромінення СД приводить до захоплення носіїв струму глибокими рівнями радіаційних дефектів і відповідно до падіння концентрації носіїв котре зменшує екранування ними внутрішніх полів. Посилення впливу ефекта Штарка спричиняє зменшення інтеграла перекриття хвильових функцій електрона і дірки, а відтак падіння інтенсивності рекомбінації. Виявлено що радіаційна стійкість люмінофора дещо вища від радіаційної стійкості СД InGaN в (~1,6 рази).

3. Наукова новизна одержаних результатів

1. Виникнення області від'ємного диференційного опору у СД GaAsP при низьких температурах ($T \leq 90 \text{ K}$) зумовлене існуванням внутрішнього позитивного оберненого зв'язку.
2. Виявлено зростання ширини спектральних ліній СД GaAsP внаслідок електронного опромінення (майже на 5 нм при $\Phi_e \geq 1,23 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$)
3. Профіль спектральних ліній СД InGaN із квантовими відповідає класичному розподілу Гауса
4. Виявлено існування затяжних релаксаційних процесів СД InGaN із квантовими ямами, пов'язана із впливом хвостів густини станів у забороненій зоні активного шару InGaN.

4. Практичне значення отриманих результатів

Одержані результати мають практичне і теоретичне значення.

Зокрема:

1. Результати моделювання нейтронних потоків у активній зоні реактора ВВР – М можуть бути корисними дослідникам зайнятим в області радіаційної фізики
Числові значення
2. Коефіцієнтів пошкодження часу життя носіїв у СД необхідні для розрахунку радіаційної стійкості оптронів.
3. Виявлена область від'ємного диференційного опору у СД GaAsP може бути основою для конструювання швидкісних перемикачів сигналів.
4. Виявлене існування затяжних релаксаційних процесів у СД InGaN повинно бути враховано при проектуванні високочастотних інформаційно-обчислювальних ліній.

5. Запропонований спосіб підготовки зразків до електронного опромінення та спосіб його проведення може бути використаний фахівцями зайнятими в області експериментальної радіаційної фізики.

5. Повнота викладення наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях.

Список публікацій автора включає 5 статей у журналах, що входять до наукометричної бази Scopus (квартиль - Q3) та 12 тез доповідей на наукових конференціях. Публікації містять повноцінне викладення основних положень дисертації. Наукові публікації повністю відповідають вимогам п. 8 "Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії "філософії", затвердженого Постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р.

6. Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи.

Основні ідеї дисертації подано лаконічною, логічною та водночас простою для розуміння мовою. Однак вважаю за необхідне звернути увагу автора на деякі окремі зауваження.

1. З мого погляду розділи 4.2 став би значно інформативнішим при наявності у ньому хоча б гіпотетичної моделі виникнення від'ємного диференційного опору.
2. У розділах 6.2 йдеться про існування затяжних релаксаційних явищ у СД InGaN (мал 6.9). Була б корисною також спроба повторити експериментальні експеримент на гомоперехідних СД GaAsP, і таким чином, однозначно пов'язати існування релаксаційного ефекту із ХГС активного шару квантової ями.
3. Виконана робота містить деяке число технічних недоглядів та стилістичних огріхів. Висловлені зауваження ніяк не знижують цінності одержаних результатів і висновків.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам.

Вимоги щодо оформлення дисертації за структурою, стилем представлення матеріалу, мовою, затверджені наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40, не порушено.

Дисертаційна робота здобувача Д.П. Стратілата – самостійне наукове дослідження здобувача. Порушень академічної доброчесності ні у дисертаційній роботі, ні у наукових працях, де представлено результати, не виявлено.

8. Загальний висновок.

Загалом, дисертаційна робота – повноцінне та завершене дослідження, яке відповідає вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. №261

(зі змінами) та вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженому Постановою КМУ від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ №341 від 21.03.2022 р.), а її автор Стратілат Дмитро Петрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 - фізика та астрономія.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, старший дослідник,
заступник завідувача відділу кінетичних явищ
та поляритоніки Інституту фізики напівпровідників
імені В.Є. Лашкарьова НАН України



Юрій НАСЄКА

22 серпня 2024 р.