

ВОЛИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ЛЕСІ УКРАЇНКИ

На правах рукопису

ГОНТАРУК ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 621.315.592, 548.4

**ДЕГРАДАЦІЙНІ І РЕЛАКСАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У СВІТЛОДІОДАХ GaP,
ЗУМОВЛЕНІ УЛЬТРАЗВУКОМ ТА РАДІАЦІЄЮ**

01.04.10 - фізика напівпровідників і діелектриків

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-
математичних наук

ЛУЦЬК-2000 рік

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Науковому Центрі "Інститут ядерних досліджень", Національна академія наук України та Національному педагогічному університеті ім. М.П. Драгоманова, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор фізико-математичних наук

Тартачник Володимир Петрович

Науковий центр "Інститут ядерних досліджень" НАН України (м. Київ),
провідний науковий співробітник.

Офіційні

доктор фізико-математичних наук, професор

Ромашок Борис Миколайович

Інститут фізики напівпровідників НАН України (м.Київ),провідний
науковий співробітник.

кандидат фізико-математичних наук, доцент

Богданюк Микола Сергійович

Волинський державний університет ім. Лесі Українки, Міністерство
освіти України (м. Луцьк), декан фізичного факультету.

Провідна установа: Інститут фізики, Національна академія наук України (м. Київ)

Захист відбудеться " 26 " квітня 2000 року о 15.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 32.051.01 при Волинському державному університеті ім. Лесі Українки (263021, м. Луцьк,вул. Потапова, 9).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Волинського державного університету.

Автореферат розісланий " 22 " березня 2000 року.

Вчений секретар

В.В.Божко

спеціалізованої вченої ради

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Перспективним напрямком у технології приладобудування є застосування ультразвуку (УЗ) для корекції і суттєвого поліпшення характеристик напівпровідникових приладів. До певної міри він є аналогічним використанню ефекту малих доз проникаючої радіації. В обох випадках зміна квантового виходу готових світловипромінюючих приладів досягається без підвищення їхньої температури та руйнування зразка. При умові добре підібраних режимів озвучення УЗ хвиля може служити також зручним інструментом для відновлення інтенсивності свічення, бути складовою частиною технології обробки зразка одночасно з температурою, електричним зміщенням та іншими факторами.

Дослідження процесів, пов'язаних із впливом ультразвуку та радіації на світлодіодні зразки GaP, вивчення електричних та оптичних властивостей деградованих приладів з метою зміни їхніх параметрів у бажаному напрямку, а також створення нових технологій, виготовлення надійних датчиків та індикаторів різноманітних фізичних полів -перспективні і актуальні задачі напівпровідникового приладобудування. Представлена дисертаційна робота присвячена розробці основ означених науково-технологічних напрямків.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота виконувалася у відповідності з плановими науковими програмами відділу радіаційної фізики Наукового центру "Інститут ядерних досліджень" НАН України і при підтримці Фонду фундаментальних досліджень України в межах проектів № 2.5.1/55 та "Розробка детекторів ядерного випромінювання" № ПР-1-05.

Метою роботи було з'ясування механізму дії ультразвуку на випромінювальну рекомбінацію у вихідних та оброблених радіацією *p-n*-структурах, вирощених на основі GaP; дослідження природи деградаційно-релаксаційних процесів, стимульованих УЗ та радіацією у світлодіодах; розробка способів покращення їхніх електричних характеристик та відновлення оптичних параметрів.

Комплексність досліджень забезпечувалось застосуванням багатосторонніх підходів для одержання інформації та використання різноманітних методик - електричних (ВАХ, *C-V*), електрооптичних, акустоелектричних, та ін., їхнього поєднання з різними видами відпалів (термічний, акустотермічний, інжекційно-акустичний, та ін.).

Наукова новизна. Більшість результатів, приведених у дисертації, є оригінальними і новими. Виконана робота була спрямована на знаходження способів очищення кристалів від нерівноважних дефектних утворень, пострадіаційного відновлення та підвищення інтенсивності електролюмінесценції.

Встановлено, що у процесі озвучування світлодіода інтенсивність випромінювання смуги $h\nu = 1,81$ еВ при 300 К монотонно зменшується, причому деградаційна крива має дві ділянки - швидкої та повільної деградації. Перша швидка стадія падіння яскравості задовільно описується лінійною часовою залежністю, друга завершальна - ближча до експоненційної. Кожне повторне озвучування зсуває деградаційні та релаксаційні криві вниз по осі яскравостей, збільшуючи кожного разу величину невідновленої частини інтенсивності випромінювання. Великі дози УЗ ($t > 26$ годин) приводять до повного гасіння електролюмінесценції.

Ультразвукова обробка діода при кімнатній температурі впродовж невеликого відрізка часу (< 10 хвилин) сприяє незначному зростанню (від 1 до 5 %) інтенсивності свічення у максимумі смуги $h\nu = 1,81$ еВ. При збільшенні тривалості часу озвучування світність зразка зменшується, і при $t > 60$ хвилин на фоні суцільного спектру випромінювання виникають вузькі, нестабільні лінії, положення яких може змінюватись. Зростання часу УЗ обробки світлодіодів ($t > 4,5$ годин) веде до утворення вузьких смуг із окремих ліній.

Опромінення p - n - структур на основі GaP γ - квантами ^{60}Co приводить до падіння інтенсивності свічення. В межах $D = 0,1 + 0,5$ Гр зафіксовано його зростання; більші дози ($D > 10$ Гр) спричиняють гасіння інтенсивності випромінювання за експоненціальним законом

$$I = I_0 \exp^{-kD},$$

де I_0 - інтенсивність свічення вихідного світлодіода. Виявлено ефект різкого зростання яскравості світлодіода у момент його опускання в γ - зону. Слідом за таким збільшенням інтенсивності свічення спостерігається швидка деградація, коли протягом 2 + 3 секунд випромінювальна здатність діода спадає майже до вихідного рівня. Лише після цього настає повільна деградація квантового виходу, зумовлена введенням точкових радіаційних дефектів.

' При озвученні попередньо опроміненого γ - квантами світлодіода виявлено частковий відпал радіаційних дефектів і зменшення кількості мікроплазм.

Запропоновано спосіб визначення дози радіації за допомогою світлодіодів на основі GaP. Показано перспективність використання діодів у ролі аварійних датчиків, точкових дозиметрів.

Практичне значення:

1. Прилади на основі червоних GaP світлодіодів можуть використовуватися, як дозиметри для вимірювання потоків γ - квантів ^{60}Co (10 +10 Гр). їхня перевага порівняно з існуючими - невеликий об'єм, швидкість і точність виміру, низька ціна.

2. P - n - структури на основі GaP в екстремальних умовах можуть бути використані як аварійні датчики.

3. Виявлене зростання квантового виходу світловипромінюючих приладів при УЗ обробці

може бути основою для розроблення технології відновлення характеристик опромінених структур та покращення їхніх параметрів.

Положення, що виносяться на захист:

♦ Основним фактором, який зменшує інтенсивність електролюмінесценції в GaP, є рухомі дислокації - нестационарні, нерівноважні області безвипромінювальної рекомбінації, які утворюють скупчення - джерела темних ліній (ДТЛ) і джерела темних плям (ДТП).

♦ Низькочастотні коливання в озвученому зразку виникають внаслідок утворення складного рухомого дефекту дислокаційної природи.

♦ Виникнення вузьких ліній та вузьких смуг на спектральній кривій діода, обробленого ультразвуком, зумовлене формуванням дислокаційних екситонів.

♦ При невеликих дозах γ - опромінення (менше 10^2 Гр) у фосфіді галію спостерігається "ефект малих доз", який проявляється у зростанні ефективності випромінювальної рекомбінації. Він зумовлений високим рівнем іонізації та активацією дефектів під дією γ - квантів ^{60}Co .

♦ Високі рівні збудження зразків GaP, спричинені γ - полем ^{60}Co , приводять до виникнення деградаційно-релаксаційних процесів, зумовлених рухом дислокацій та утворенням нерівноважних при температурі 300 К дефектів типу ДТЛ та ДТП.

Особистий внесок здобувана. Автором виготовлено установки для ультразвукової та акусто-термічної обробки досліджуваних зразків, пристрої для їхнього опромінення, виконано основний обсяг вимірювань. Він брав участь у обговоренні результатів та створенні моделей фізичних процесів.

Апробація	одержаних	результатів.	Основні	результати								
дисертаційній	роботі	апробовані	на	Міжнародних	наукових							
конференціях:	The	International	Conference	"Optical	Diagnostics	of						
Materials	and	Devices	for	Opto-,	Micro-,	and	Quantum	Electronics"				
OPTDIM'97	(Київ,	1997	р.),	Second	International	School-Conference						
"Physical	problems	in	material	science	of	semiconductors"	(Чернівці,					
1997	р.),	XIII	Національна	школа-семінар	з	міжнародною	участю					
"Спектроскопія	молекул	та	кристалів"	(Суми,	1997	р.),	Международная					
научная	конференция	"Современные	проблеми	физики								
полупроводников"	(Нукус,	Узбекистан,	1997	г.),	наукових	конференціях	Наукового	центру				
"Інституту	ядерних	досліджень"	НАН	України	(Київ,	1998	-	2000	pp.),	Fourth	International	
Conference	on	Material	Science	and	Material	Properties	for	Infrared	Optoelectronics	(Київ,	1998	р.),

Third International School-Conference "Physical problems in material science of semiconductors" (Чернівці, 1999 р.), Міжнародна школа-конференція з актуальних питань фізики напівпровідників (Дрогобич, 1999 р.), наукових конференціях професорсько-викладацького складу Національного педагогічного університету ім. М.П. Драгоманова (Київ, 1994 - 1999 рр.)

Публікації. В ході виконання роботи за темою дисертації опубліковано 15 наукових праць, у тому числі 5 наукових статей у фахових журналах, серед них 2 - у міжнародних.

Структура і об'єм дисертації. Дисертаційна робота викладена на 140 сторінках комп'ютерного тексту, складається зі змісту, вступу, 5 розділів, 28 підрозділів, містить 56 малюнків, 1 таблицю, загальні висновки. Список використаної літератури складається з 171 найменування.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обгрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету та задачі роботи, розкрито наукову новизну, практичне значення, сформульовано основні положення, які виносяться на захист.

У першому розділі приведено огляд літературних джерел, пов'язаних із темою дисертаційної роботи: проаналізовано роботи, присвячені дослідженню деградації інтенсивності світлення діодів, впливу акустичних та радіаційних дефектів на випромінювальну рекомбінацію у фосфіді галію. Розглядаються властивості лінійних дефектів - дислокацій та їхня взаємодія, яка приводить до утворення дислокаційних скупчень. У літературному огляді також зроблено аналіз результатів, які стосуються впливу УЗ хвилі на електричні (зміна концентрації носіїв струму у зразках n - та p -типу, зменшення ємності переходу, та ін.) та оптичні (зростання інтенсивності фотолюмінесценції) властивості напівпровідників, розглянуто особливості процесів деградації діодів з великим квантовим виходом.

Другий розділ присвячено опису методик, за допомогою яких вимірювались деградаційні та релаксаційні процеси у світлодіодах. Подані блок-схеми спектральної установки, пристроїв для ультразвукової та акусто-термічної обробки зразків, опромінення у-квантами.

Розглянуто також способи відпалу деградованих приладів: інжекційний відпал, акустичний, інжекційно-термічний.

У **третьому розділі** приведено результати вивчення процесів деградації та релаксації інтенсивності світлення досліджуваних зразків під дією ультразвуку.

Встановлено, що внаслідок УЗ обробки світлодіода при 300 К інтенсивність його

випромінювальної рекомбінації монотонно зменшується (рис. 1), причому характер спаду в цілому є неекспоненційним. Деградаційна крива має дві ділянки - швидкої та повільної деградації. Перша швидка стадія падіння яскравості задовільно описується лінійною часовою залежністю, друга завершальна - ближча до експоненційної. Така поведінка характерна для всіх виміряних зразків. Великі дози ультразвуку ($t > 26$ годин) приводять до повного гасіння електролюмінесценції. Особливістю ефекту УЗ обробки є практично повне відновлення свічення деградованого зразка через деякий час після його озвучування при кімнатній температурі. При цьому час релаксації значно більший від часу озвучування і крива релаксації, як правило, не повторює ходу деградаційної кривої (рис. 1), спостерігається деякий гістерезис.

Основною причиною, яка зменшує інтенсивність електролюмінесценції, є рухомі дислокації - нестационарні, нерівноважні потужні області безвипромінювальної рекомбінації, здатні мігрувати по кристалу і утворювати скупчення - джерела темних ліній (ДТЛ) і джерела темних плям (ДТП). У зразках, оброблених ультразвуком при низькій температурі (77 К), спостерігається виникнення низькочастотних коливань (одиниці Герц). Такі коливальні цикли при повторному озвучуванні є наслідком формування складного рухомого дефекту, аналогічного за проявом домену Ганна в арсеніді галію, проте менш рухливого.

Виникнення низькочастотних коливань свічення при азотній температурі ніяким чином не може бути пов'язане із акустoeлектронними нестабільностями, в основі яких лежать формування акустoeлектронного домена із вільних носіїв струму. Як відомо [1], швидкість поширення подібного утворення по кристалу рівна швидкості звукової хвилі.

Набагато менша швидкість поширення виявлених нами осциляцій свідчить про їхню неелектронну природу. Труднощі спостереження цих утворень при кімнатній температурі зумовлені їхнім тепловим руйнуванням при підвищенні температури зразка від 77 К до 300 К.

Про мінімальну роль точкових дефектів у виникненні та розвитку деградаційно-релаксаційних процесів у GaP свідчать результати відпалу. Відомо [2], що перша стадія відновлення електропровідності у GaP, розташована в інтервалі $150 + 180$ °С, відповідає міграції V_P , і друга, при 250 -г 300 °С пов'язана з рухом V_{Ca} до стоків. Але, як видно з Рис. 1, у зразку, обробленому ультразвуком, процеси відновлення свічення ефективно протікають вже при 300 К і на кривій ізохронного відпалу озвученого зразка повністю відсутні стадії відпалу вакансій фосфору і галію.

Виявлено, що у момент введення УЗ струм через p - n - перехід зростає і одночасно зменшується інтенсивність свічення. Відносні зміни рівня інжекції та яскравості випромінювання не залежать від величини робочого струму крізь p - n - перехід. Ефект зумовлений руйнуванням екситонів під дією УЗ.

При збільшенні тривалості УЗ обробки ($t > 60$ хвилин) на фоні суцільного спектру випромінювання спостерігається також поява вузьких, нестабільних ліній, положення яких

змінюється з часом. Щ^е більш тривалий час озвучування ($t > 4,5$ годин) веде до утворення вузьких смуг із окремих ліній.

Вузькі лінії, які мають характер окремих спалахів, нагадують описані в літературі спалахи акустолюмінесценції [3]. У роботі показано, що такі джерела локального випромінювання спричинені великою густиною дислокацій у зразку і утворенням нестабільних областей внутрішніх механічних напруг.

Вимірювання спектрів електролюмінесценції зразка, проведені в динамічному режимі (в процесі ультразвукового навантаження) показали, що в цих умовах спектр діода позбувається інтенсивних вузьких ліній і нагадує спектральну залежність вихідного зразка. Особливо ефективною така відновлююча дія УЗ проявляється при 77 К. Припинення ультразвукового навантаження через 1 - 2 хвилини переводить кристал у попередній стан, типовий для деградованого зразка. При цьому інтенсивність вузьких ліній стає знову майже такою, яка спостерігалася до вимірювання спектру в УЗ полі.

Ультразвукова обробка кристала впродовж тривалого часу ($t > 20$ годин) сприяє виникненню в його об'ємі дислокаційних скупчень із середньою густиною $\rho_D \sim 10^7 + 10^8 \text{ см}^{-2}$. До моменту утворення дефектів ДТЛ та дефектів ДТП ці лінійні дефекти є достатньо рухливими і здатними переміщуватись по зразку. Так як їхні геометричні розміри, електричні і деформаційні поля - неоднакові, їм відповідатимуть дислокаційні екситони з різними розмірами хвильових функцій a_n і $a_{\pm}$ у поперечному та поздовжньому напрямках, і таким чином, різними значеннями повної енергії $E_{\dots}$. Тому випромінювання, пов'язане з анігіляцією таких екситонів, може виникати в різних ділянках досліджуваного діапазону енергій квантів $h\nu = 1,5 - 2,0 \text{ eV}$.

Четвертий розділ присвячений дослідженню випромінювальної рекомбінації фосфіду галію в γ -полі ^{60}Co .

Виявлено, що криві $I_{\dots}(D)$ стають монотонними лише після дози γ -квантів $D = 10$ Гр. Невелике зростання інтенсивності свічення виявлено при $D = 0,1 - 0,5$ Гр та $D \approx 40$ Гр. На зразках, які відрізнялися від інших слабкою інтенсивністю свічення, ефект зростання яскравості більш виразний і проявляється в межах $D \approx 0 - 10$ Гр, що добре узгоджується з результатами роботи [4]. В області зовсім малих доз ($D < 0,1$ Гр) ніяких ознак немонотонності дозової залежності виявити не вдалося.

Необхідно відмітити, що поліпшуюча дія радіації в інтервалі малих доз є меншою для зразків, параметри яких були попередньо покращені іншими способами, наприклад за допомогою ультразвукової обробки. Спостерігалися також випадки, коли у вихідному стані діод не промінював світла зовсім, але після опромінення малими дозами квантів виникало слабке свічення, спектральна область якого була розширена в обидва боки і характеризувалася наявністю

інтенсивних змінних з часом смуг.

При значних часах експозиції ($D > 10^2$ Гр) крива $I_{ce}(D)$ має виразно експоненційний характер

$$I = I_0 \exp^{-kD},$$

де I_0 - інтенсивність свічення вихідного світлодіода; k - інтенсивність свічення опроміненого зразка.

Значення коефіцієнта пошкодження k досліджуваних діодів становило $(1,5 * 1,7) \cdot 10^{-6} \text{ Гр}^{-1}$.

Головна особливість змін електролюмінесценції, які виникають під впливом великих доз у-квантів - існування затяжних релаксаційних процесів.

При допороговому опроміненні іонізаційний фактор дефектоутворення у сполуках AlGaIn грає значно більшу роль, аніж у моноатомних напівпровідниках: у фосфіді галію при багатократному ступені іонізації атом фосфору може бути виштовхненим сусідніми атомами Ga^+ у міжвузля (механізм Варлі). Велика ймовірність утворення дефекту у бінарних сполуках реалізується також тоді, коли у ґратці присутній позитивний іон домішки. В умовах великого рівня іонізації прискорюється перехід одного із атомів - домішкового чи матричного - у міжвузля (іонізаційно-домішковий механізм Клінгера [5]).

З іншого боку, при наявності у зразку дефектних порушень в області кристалу з локальним підвищенням енергії порівняно з непошкодженою матрицею такі механізми можуть сприяти частковому, або повному розпаду дефектного утворення.

Ефект малих доз, виявлений на фосфідно-галієвих світлодіодах, зумовлений іонізуючим фактором у- опромінення. Зростання інтенсивності випромінювальної рекомбінації після дії гама квантів в межах $0,1 * 0,5$ Гр пов'язане зі зміною зарядового стану дефектів, які створюють рівні безвипромінювальної рекомбінації. Таким рівням у фосфіді; галію відповідають V_{Ga} та їхні комплекси. Концентрація рівноважних V_{Ga} при 300 К, які можуть перебувати у двох зарядових станах ($E_{Al} = 0,25$ і $E^+ = 0,50$ еВ) є найвищою і тому найбільш ймовірно, що зміна зарядового стану у у- полі в першу чергу стосується $FG_{\dots}$, а відтак ефект малих доз у фосфіді галію зумовлено активацією цих дефектів у-квантами ^{60}Co .

Показано, що поряд із утворенням радіаційних дефектів, які створюють основний внесок у формування експоненційного спаду інтенсивності електролюмінесценції з дозою, спостерігається своєрідний "феддінг" після припинення опромінення зразків, при якому інтенсивність люмінесценції починає частково відновлюватися (рис. 2). Релаксаційно-відновна крива повністю не завершується навіть за годину. Це означає, що у процесі радіаційної деградації свічення брали участь також дефектні утворення, стабільність яких невисока при кімнатній температурі.

Деградаційна ділянка, яка є сумою двох компонент - швидкої та повільної є результатом сумарного впливу як точкових дефектів, породжених у- квантами, так і дефектами ДТЛ та ДТП,

виникнення яких зумовлене взаємодією рухомих дислокацій.

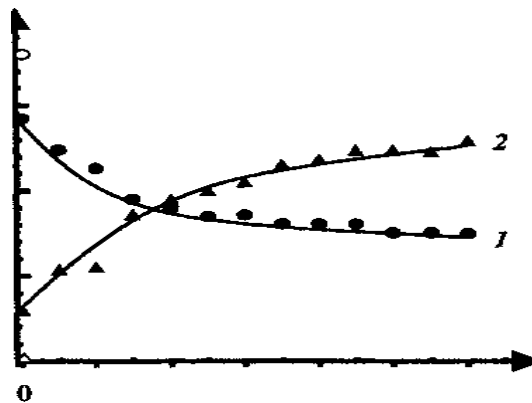


Рис. 2. Деградаційна (1) та релаксаційна (2) криві інтенсивності світіння світлодіодів GaP для одного циклу γ - опромінення ($D = 3,810^3$ Гр, 300 К).

Очевидно, що високий рівень іонізації може бути фактором, який підвищує дислокаційну активність. Про це свідчать також спектральні залежності інтенсивності електролюмінесценції опромінених діодів, які нагадують спектри зразків із характерними вузькими лініями, які змінюють своє положення з часом.

Встановлено, що при зростанні дози γ - опромінення релаксаційні криві стають пологішими, тобто швидкість релаксаційних процесів падає. Відомо також, що радіаційні дефекти можуть служити ефективними стопорами, які перешкоджають рухові дислокацій. Тому, факт сповільнення релаксаційних процесів при зростанні дози γ - опромінення свідчить про те, що зміна інтенсивності світіння озвучених зразків зумовлена переміщенням дислокацій.

Показано, що за допомогою УЗ можна відновлювати яскравість випромінювання деградованих p - n - структур і компенсувати деструктивну дію радіації на випромінюючі елементи оптоелектронних схем.

У п'ятому розділі приведені результати дослідження поліпшуючого впливу радіації та ультразвуку на характеристики фосфідо-галієвих діодів.

Встановлено, що при малих дозах опромінення (D м 0,5 Гр) спостерігалось незначне зростання квантового виходу приладів до 5 %. УЗ обробка, зразків опромінених γ - квантами ^{60}Co ($D < 10^5$ Гр), в більшості випадків спричиняє зростання інтенсивності електролюмінесценції. При цьому спостерігається збільшення амплітуди вузьких змінних з часом ліній; застосування динамічного режиму ультразвукового навантаження приводить до їхнього повного зникнення. Ультразвукова хвиля, стимулюючи рух дислокацій, сприяє поглинанню ними точкових дефектів і зменшує локальні напруженості в областях підвищеної неоднорідності кристала.

Встановлено, що при великих часах експозиції кристала в ультразвуковому полі ($t > 30$ хвилин) кількість мікроплазм зменшується. Важливою особливістю впливу УЗ на випромінювання зворотно-зміщеного діода є мала величина відновленої яскравості в процесі релаксації. Кожний

наступний деградаційно-релаксаційний цикл приводить до часткового зменшення інтенсивності свічення мікроплазм і, відповідно, до покращення структури кристала. Подібний ефект спостерігається також при тривалому неперервному озвучуванні зразка.

Виявлено також, що в опромінених електронами діодах GaP при великих струмах спостерігається насичення інтенсивності свічення червоної смуги, що є наслідком високої концентрації глибоких рівнів у зразках. Невеликі флюенси електронного опромінення ($E_a = 1 \text{ MeV}$, $\Phi < 10^{14} \text{ см}^{-2}$) зменшують інтенсивність мікроплазмового свічення ($\sim 10 * 20 \%$), але зростання флюенсу понад 10^{16} см^{-2} спричиняє його збільшення. На окремих зразках виникнення центрів мікроплазмового свічення спостерігалось тільки після радіаційної обробки великими дозами ($\Phi > 10^{16} \text{ см}^{-2}$).

Показано, що опромінення приводить до розширення об'єму і- шару внаслідок компенсації електропровідності зразка глибокими рівнями радіаційних дефектів.

Запропоновано метод визначення поглинутої дози γ - квантів Co за допомогою фосфідо-галієвого світлодіода та обгрунтовано можливість його використання як точкового дозиметра.

ВИСНОВКИ

1. Показано, що ультразвукова обробка світлодіодів на основі GaP приводить до неекспоненційного падіння квантового виходу приладів. При припиненні дії УЗ починається монотонне відновлення їхньої яскравості.
2. В озвучених діодах виявлено низькочастотні коливання інтенсивності свічення, синхронні з коливанням струму. Такі коливальні цикли є наслідком формування складного рухомого дефекту. Зародження такого дислокаційного пакету може відбуватися в полі p - n - переходу, чи у приконтантній області.
3. При збільшенні тривалості УЗ обробки ($t > 60$ хвилин) на фоні суцільного спектру випромінювання виникають вузькі, нестабільні лінії, положення яких змінюється з часом. Більш тривала дія ультразвуку ($t > 4,5$ годин) веде до утворення вузьких смуг із окремих ліній.
4. Показано, що у динамічному режимі озвучування структура спектру електролюмінесценції позбувається інтенсивних "блукаючих" смуг і нагадує спектральну залежність вихідного зразка. Припинення УЗ навантаження переводить кристал протягом 1 4- 2 хвилин у попередній стан, типовий для деградованого зразка.
5. Зростання інтенсивності електролюмінесценції опромінених зразків при УЗ обробці зумовлене рухом дислокацій, які захоплюють на своєму шляху точкові дефекти. Ультразвукова обробка зразка також зменшує локальні напруженості в областях радіаційних пошкоджень.

6. При малих дозах опромінення γ - квантами ^{60}Co ($D \approx 0,1 \dots 0,5$ Гр) виявлено зростання квантового виходу світлодіодів ($\sim$ до 5 %); при великих дозах ($D > 10^2$ Гр) інтенсивність свічення зменшується по експоненційному закону.
7. Після припинення впливу γ - поля деградаційний процес завершується монотонним відновленням інтенсивності свічення, аналогічним до того, який спостерігається при УЗ обробці зразків. Головною причиною виникнення релаксаційних процесів у кристалі є нерівноважні при кімнатній температурі дефекти ДТЛ і ДТП.
8. Особливість впливу УЗ на випромінювання зворотно-зміщеного діода полягає у малій величині відновленої яскравості під час релаксації. Виявлено, що кожний наступний деградаційно релаксаційний цикл приводить до зменшення кількості мікроплазм.
9. Показано, що за допомогою ультразвуку можна відновлювати яскравість випромінювання і форму спектру деградованих p - n -структур та частково компенсувати деструктивний вплив радіації на світлодіоди.
10. Висока чутливість діодів GaP до радіації та їхня мініатюрність може бути використана у галузі ретроспективної дозиметрії і застосована при конструюванні дозиметрів та аварійних датчиків точкового типу.

СПИСОК ОСНОВНИХ ДРУКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. **Гонтарук О.М.**, Кудін А.П., Куц В.І., Корбутяк Д.В., Оліх Я.М., Тартачник В.П., Тичина І.І. Особливості деградації електролюмінесцентного випромінювання фосфіду галію, спричиненої ультразвуком // УФЖ. - 1997. - Т. 42, № 10. - С. 1267-1270.
2. Литовченко В.Г., **Гонтарук О.М.**, Пінковська М.Б., Корбутяк Д.В., Корбут Є.В., Оліх Я.М., Тартачник В.П. Деградаційно-релаксаційні процеси у фосфіді галію, стимульовані ультразвуком // ДАН України. - 1998. - № 11. - С. 83-88.
3. **Гонтарук А.Н.**, Корбутяк Д.В., Корбут Е.В., Мачулін В.Ф., Оліх Я.М., Тартачник В.П. О впливі ультразвуку на деградаційно-релаксаційні явища в світлоізлучаючих фосфідах галію- p - n -структурах // Письма в ЖТФ. - 1998. - Т. 24, № 15. - С. 64-68.
4. **Гонтарук О.М.**, Крайчинський А.М., Литовченко П.Г., Оліх Я.М., Опилат В.Я., Пінковська М.Б., Тартачник В.П., Шахов О.П. Деградаційно-релаксаційні процеси у фосфіді галію, спричинені радіацією та термічною обробкою // Вop. атом, науки и техн. - 1998. - Вип. 5, № 71. - С. 29-31.
5. **Gontaruk O.M.**, Korbutyak D.V., Kudin A. P., Olikh Ya. M., Kuts V.I., Tartachnik V.P., Tychnina I.I.

Degradation of GaP radiative ability in ultrasonic field // Second International School-Conference "Physical problems in material science of semiconductors", 8ⁱ -12* of September 1997. - Chernivtsi (Ukraine). - 1997. - P. 294.

6. Гонтарук О.М., Литовченко П.Г., Пінковська М.Б., Оліх Я.М., Тартачник В.П. Деградація свічення фосфідо-галієвих діодів в ультразвуковому полі // Мат. наук. конф. НЦ ІЯД НАНУ, 27-30 січня 1998 року. - Київ (Україна). - 1998. - С. 199-201.

7. **Gontaruk O.M.**, Korbutyak D.V., Kudin A.P., Kuts V.I., Olikh Ya. M., Tartachnik V.P., Tychina I.I. Electroluminescent Control Technique of Dislocation Density in GaP//The Intern. Confer. OPTDIM'97, 13-15 May 1997. - Kyiv (Ukraine), Proceeding SPIE. - 1998. -Vol. 3359. -P. 236-243.

8. Вернидуб Р.М., **Гонтарук О.М.**, Оліх Я.М., Кудін А.П., Куц В.І., Тартачник В.П., Тичина ТІ. Вплив нерівноважних дислокацій ультразвукового походження на електролюмінесценцію опроміненого GaP // XIII Національна школа-семінар з міжнародною участю "Спектроскопія молекул та кристалів", 20-26 квітня 1997 р. -Суми (Україна). - 1997. - с. 76.

9. Вернидуб Р.М., **Гонтарук А.Н.**, Корбутяк Д.В., Оліх Я.М., Тартачник В.П., Шахов А.П. Влияние малых доз у- облучения и ультразвуковой обработки на интенсивность излучательной рекомбинации в фосфиде галлия // Международная научная конференция "Современные проблемы физики полупроводников", 8-11 сентября 1997 г. - Нукус (Узбекистан). - 1997. - с. 33.

10. Вернидуб Р.М., **Гонтарук О.М.**, Кудін А.П., Литовченко П.Г., Пінковська М.Б., Оліх Я.М., Тартачник В.П., Хіврич В.І. Електролюмінесценція фосфіду галію, обробленого ультразвуком // Збірник наук, праць ІЯД НАН України. - 1999. - Київ. - С. 215-218.

11. Tartachnyk V.P., **Gontaruk O.M.**, Vernydub R.M., Kryvutenko A.M, Olikh Ya. M., Opilat V.Ya., Petrenko TV., Pinkovska M.B. Radiation-Acoustic Treatment of Gallium Phosphide Tight Diodes // Fourth Intern. Confer, on Material Science and Material Properties for Infrared Optoelectronics, 29-02 October 1998. - Kyiv (Ukraine), Proceeding SPIE. - 1999. - Vol. 3890. - P. 559-563.

12. Tartachnyk V.P., **Gontaruk O.M.**, Korbutiak D.V., Krajchynskyj A.M., Kudin A.P., Opilat V.Ya., Pinkovska M.B., Shakhov O.P. The influence of Radiation Defects on the Heterogeneity Distribution and Radiant Recombination of GaP // Fourth Intern. Confer, on Material Science and Material Properties for Infrared Optoelectronics, 29-02 October 1998. -Kyiv (Ukraine), Proceeding SPIE. - 1999. - Vol. 3890. - P. 555-558.

13. Тартачник В.П., **Гонтарук О.М.**, Крайчинський А.М., Кудін А.П., Литовченко П.Г., Пінковська М.Б., Шахов О.П. Деградаційно-релаксаційні процеси в опромінених GaP світлодіодах // Міжнародна школа-конференція з актуальних питань фізики напівпровідників, 23-30 червня 1999 року. - Дрогобич (Україна). - 1999. - С. 28.14.

14. Vernydub R.M., **Gontaruk O.M.**, Korbutyak D.V., Kudin A.P., Kuts V.I., Tartachnik V.P., Tychina I.I.

Utilization of GaP Light diodes for

'nuclear radiation dosimetry // Second Inter. School-Conference "Physical problems in material science of semiconductors", 8th-12th of September. - Chernivtsi (Ukraine). - 1997. - P. 293.

15. **Gontaruk** O.M., Tartachnyk V.P., Olikh O.M., Pinkovska M.B., Korbutiak D.V., Opilat V.Ya., Litovchenko P.G. Ultrasound influence on microplasma emission of GaP Light diodes // Third International School-Conference "Physical problems in material science of semiconductors", 7th-11th of September 1999. - Chernivtsi (Ukraine). - 1999. - P. 242.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рнсаков В.М. Акустозлектронная неустойчивость в пьезопроводниках // УФИ. - 1991. - Т. 161, № 12. - С. 1-37.
2. Тартачник В.П. Радіаційні дефекти у напівпровідникових фосфідах A^3B^5 і $A^2B_2^5$. Автореф. дис. д-ра фіз.-мат. наук:01.04.10 / Черн. держ. унів. - Чернівці, 1993. - 30 с.
3. Островский И.В. Акустолюминесценция и дефекты кристаллов. -К.: Вища школа, 1993. - 224 с.
4. Болотов В.В., Коротченко В.А., Мамонтов А.П. и др. Радиационные эффекты в полупроводниках при малых дозах облучения частицами // ФТП. - 1980. - Т. 14, № 11. - С. 2257-2260.
5. Клиггер М.И., Луцкич Ч.Б., Машовец Т.В., и др. Создание дефектов в твердых телах при распаде электронных возбуждений // УФН. - 1985. - Т. 147, вып. 3. - С. 523.

АНОТАЦІЇ

Гонтарук О.М. Деградаційні і релаксаційні процеси у світлодіодах GaP, зумовлені ультразвуком та радіацією. - *Рукопис*.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.10 - фізика напівпровідників і діелектриків. - Волинський державний університет ім. Лесі Українки, Луцьк, 2000.

Дисертацію присвячено дослідженню р-п- структур на основі фосфіду галію. У роботі досліджено деградаційні та релаксаційні процеси у GaP, що відбуваються при УЗ обробці та у- опроміненні. У кристалі, обробленому ультразвуком при температурі 77 К, виявлено низькочастотні коливання яскравості свідчення, котрі відбуваються в такт із коливаннями струму. Поява таких осциляцій може бути зумовлена формуванням рухливих дислокаційних пакетів, які беруть участь у формуванні дефектів темних ліній та дефектів темних плям. Аналіз сукупності деградаційно-релаксаційних змін опромінених зразків GaP показує, що основною причиною їхнього виникнення є стимульований високим рівнем іонізації рух дислокацій та утворення дислокаційних сіток. Показано, що ультразвук може бути засобом для покращення характеристик GaP світлодіодів з високою концентрацією дефектів, зокрема опромінених швидкими частинками.

Ключові слова: деградація, релаксація, ультразвукова хвиля, радіація, люмінесценція, світлодіод, коливання, дислокація.

Гонтарук А. Н. Деградационнне и релаксационнне процессы в светодиодах GaP, обусловленне ультразвуком и радиацией. - *Рукопись*.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников и диэлектриков. - Волнский государственный университет им. Леси Украинки, Луцк, 2000.

Диссертация посвящена исследованию р-п- структур на основе фосфида галлия. В работе исследовались деградационнне и релаксационнне процессы в GaP, которые происходят при УЗ обработке и у- облучении. В кристалле, обработанном ультразвуком при температуре 77 К, обнаружены низкочастотные колебания яркости свечения, происходящие в такт с колебаниями тока. Возникновение таких осцилляций может быть обусловлено формированием подвижных дислокационных доменов, участвующих в создании дефектов темных линий и дефектов темных пятен. Анализ совокупности деградационно-релаксационных изменений облученных образцов GaP указывает на то, что основной причиной их возникновения является стимулированное высоким уровнем ионизации движение дислокаций и создание дислокационных сеток. Показано, что ультразвук может быть перспективным инструментом для улучшения характеристик GaP

светодиодов с высокой концентрацией дефектов, в частности облученных быстрыми частицами.

Ключевые слова: деградация, релаксация, ультразвуковая волна, радиация, люминесценция, светодиод, колебания, дислокация.

Gontaruk O. M. Degradation and relaxation processes in GaP light diodes stimulated by ultrasonic and radiation, - *Manuscript*.

Thesis for the Candidate of science degree by speciality 01.04.10 -physics of the semiconductors and dielectrics. - Lesya Ukrainka Volyn State University, Lutsk, 2000.

The dissertation concerns the study of GaP *p-n*- structures. Degradation-relaxation processes in GaP samples, treated by ultrasonic and γ - irradiation are studied. In crystals, treated by ultrasound at 77 K low-frequency oscillations of the luminescence intensity appear, which are synchronous with those of the current. The oscillations mentioned, are caused by the formation of mobile dislocations domains involved in the creation defects of dark lines and defects of dark spots. From the analysis of the degradation-relaxation modifications under irradiation it's clear that the main reason of their appearing is the movement of dislocations and the creation of dislocations network, stimulated by the high ionization level. Ultrasonic wave is shown to be the promising tool for improving characteristics of GaP light diodes with high concentration of defects, especially of irradiation origin.

Keywords: degradation, relaxation, ultrasonic wave, radiation, luminescence, light diode, oscillation, dislocation.

"Підписано до друку 20.03.2000 Формат 60х84/1 6" Зам. 109 Наклад 100 прим. Віддруковано з оригіналів.

Друкарня

національного педагогічного університету

ім. М.П.Драгоманова

М.Київ, 1(044)221-99-26