

УДК621.3.049.771

ВПЛИВ НЕЙТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ПАРАМЕТРИ ГЕТЕРОСТРУКТУР З ЧЕРВОНИМ ТА ЖОВТИМ КОЛЬОРОМ СВІЧЕННЯ

Руденко Н.М., Кузьменко О.М.

Різноманітні сфери життєдіяльності людини потребують сьогодні широкого впровадження та застосування пристроїв відображення інформації, складовою частиною яких є світлодіоди (СД). Підвищений попит використання СД в різних галузях господарства висуває високі вимоги щодо стабільності (або можливих змін) їх характеристик. Пошуки в цьому напрямку пов'язані з набуттям відповідних знань впливу різноманітних факторів навколишнього середовища на (СД) та їх структури. На сьогоднішній день домінуюче положення серед напівпровідникових структур (НПС) зайняли гетероструктури на основі твердих розчинів фосфіду алюмінію-індію-галію. Це структури червоного та жовтого кольору свічення, що використовуються для виготовлення (СД), мають високі характеристики сили випромінюваного світла та спектральної чистоти кольору.

У зв'язку з широким використанням світлодіодних пристроїв в апаратурі космічних апаратів та в зоні можливого радіаційного зараження (військова техніка, апаратура управління атомними станціями тощо) одним із важливих факторів, котрі роблять свій внесок в дестабілізацію (СД), слід виділити радіаційне випромінювання (РВ). При цьому потрібно зазначити, що необхідна довідкова інформація з вказаних питань має на сьогодні обмежений обсяг. Все це обумовлено складністю, трудомісткістю та високою вартістю відповідних наукових досліджень, наявністю спеціального оснащення та участі фахівців різних спеціальностей.

Комплекс робіт з визначення впливу радіаційного опромінення на характеристики гетероструктур був проведений авторами за сприянням д.т.н., проф. Рижикова І.В. у лабораторії Московського державного університету приладобудування та інформатики. В даній роботі представлені результати отримані при експериментальному дослідженні впливу нейтронного випромінювання на гетероструктури $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ (так звані алінгапи).

Умови проведення експериментів та дослідні зразки

В якості джерела нейтронів з енергією 2,65 MeV використовувався горизонтальний канал реактора "ІРТ-2000" з пристроєм, що дозволяв варіювати інтенсивність потоку нейтронів і, відповідно, контролювати загальну кількість нейтронів, що потрапили на дослідний зразок (контролювати величину флюенсу).

До і після опромінювання у дослідних зразках (ДЗ) вимірювались

вольт-амперні характеристики (ВАХ), люмен-вольт-амперні характеристики (ЛВАХ), розподілення концентрації заряджених центрів (ЗЦ) в найменш легованій області, що, за звичай, є оптично активною областю НПС. Вимірювання проводились в автоматичному режимі з використанням оригінальних методів та устаткування на базі персонального комп'ютера [2].

Для проведення дослідження були виготовлені¹ ДЗ – НПС, згідно схеми, наведеної на рис. 1. При виготовленні НПС використовувались поширені у виробництві СД матеріали основи та конструктивних елементів.

$Au + Ge$
$In_x Ga_{1-x} P$; p -тип; Mg ; 10^{18} см^{-3}
$(Al_x Ga_{1-x})_{0,5} In_{0,5} P$; $x = 0,7 - 1,0$; p -тип; Mg ; 10^{18} см^{-3}
Квантові ями $(Al_x Ga_{1-x})_{0,5} In_{0,5} P$ $x = 0,3$ (червоний); $x = 0,35$ (жовтий)
$(Al_x Ga_{1-x})_{0,5} In_{0,5} P$; $x = 0,7 - 1,0$; n -тип; Te ; 10^{18} см^{-3}
$Al_x Ga_{1-x} As$; n -тип; Te ; $(0,2 - 4) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$
$GaAs$; GaP ; сапфір
$Au + Ge$

Рис. 1.

На підкладку з сапфіру, арсеніду або фосфіду галію товщиною 350 мкм вирощувався перший шар $Al_x Ga_{1-x} As$. Другий легований телуrom шар $(Al_x Ga_{1-x})_{0,5} In_{0,5} P$ n – типу і товщиною 0,5 мкм слугував інжектором електронів у нелеговану оптично активну область, що містила одну або декілька квантових ям. Склад цих ям (величина x) визначає колір світла СД. Наступний легований магнієм p – шар $(Al_x Ga_{1-x})_{0,5} In_{0,5} P$ з підвищеним вмістом алюмінію дозволяв створити гетероперехід, що ефективно інжектував дірки в активну область. Максимум спектральної кривої світлодіодів з червоним кольори свічення розміщувався в межах 630 – 650 нм, а з жовтим – в межах 560 – 590 нм. З метою під'єднання НПС до зовнішніх конструктивних елементів на її поверхні наносились шари суміші золота та германію.

Кріплення НПС до основи (тепловідводу) здійснювалось пайкою або клеєм. При цьому було встановлено, що використання в якості основи міді дозволяло проводити експерименти при потоках нейтронів з флюенсом не більше 10^{13} н/см^2 , що пов'язано з сильним ефектом вторинного випромінювання.

¹ Дослідні зразки були виготовлені в Московському державному університеті приладобудування та інформатики і люб'язно передані авторам

нювання мідною основою після припинення дії потоку нейтронів. Це, звичайно, вносило суттєві похибки в результати вимірювань. Тому при флюенсах нейтронів більше 10^{13} н/см² НПС кріпилися до алюмінієвої або сапфірової основи. Були проведені експерименти і з опромінювання НПС без основи. В останньому випадку НПС припаювались (або приклеювались) до мідної основи-тепловідводу після опромінювання. За такий спосіб було отримано можливість проводити експерименти (вимірювати параметри НПС) при токах до 100 мА та флюенсах до $4,7 \cdot 10^{15}$ н/см².

Як було встановлено контрольними експериментами, кількісні результати досліджень впливу нейтронного випромінювання на параметри НПС не залежать від матеріалу, що вибирався в якості основи для формування НПС - сапфір, арсенід або фосфід галію, та від способу кріплення НПС до основи (паяння або приклеювання).

Для досліджень було використано по 10 НПС червоного та жовтого кольору свічення. Для зменшення розкиду початкових параметрів та спрощення процедури оброблення результатів експериментів НПС кожного типу відбиралися з однієї пластини (по можливості, з однієї області пластини).

Результати експериментальних досліджень

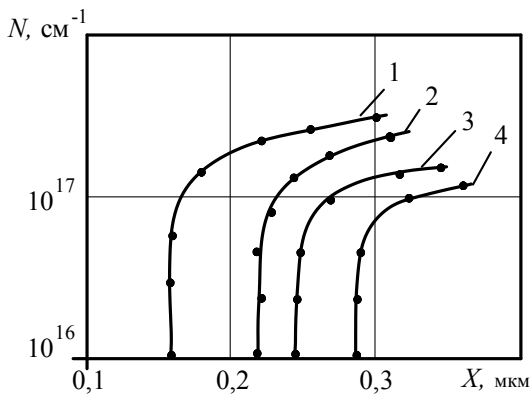


Рис. 2

Результати проведених експериментальних досліджень наведені на рис. 2 – 6. При цьому точками показані усереднені результати вимірювань. Отримання апроксимаційних кривих здійснювалось поетапно: 1) подання результатів вимірювання в шкалах, що традиційно використовуються в експериментальній фізиці під час дослідження НПС [3]; 2) відновлення залежності за методом найменших квадратів з використанням поліноміальних функцій

(звичайно, вже у перетворених шкалах).

На рис. 2 наведено профілі розподілення ЗЦ в активній області НПС з червоним (криві 1, 2) та жовтим (криві 3, 4) кольором свічення до (криві 1, 3) і після (криві 2, 4) опромінювання нейтронами з флюенсом $4,7 \cdot 10^{15}$ н/см². Видно, що ширина компенсованого шару з концентрацією некомпенсованих домішкових центрів 10^{16} см⁻³ до опромінювання складала 0,16 мкм та 0,25 мкм, у НПС з червоним та жовтим кольором свічення відповідно. Після опромінювання ці величини збільшувались відповідно до 0,22 та 0,29 мкм, тобто на 24 і 36 %. Розподілення домішок в легованій області практично не змінилося. На рис. 3, 4 наведено ВАХ досліджуваних НПС відповідно з червоним та жовтим кольором свічення до (криві 1) та після

(криві 2 – 4) опромінювання. Як до так і після опромінювання нейтронами з флюенсом менше за $4,7 \times 10^{13}$ н/см² ВАХ складалися з двох експоненціальних та одного степеневого відрізків. При цьому відхилення експоненціальних відрізків від ідеальних суттєво зростало при напрузі більше 1,6 В та току менше 0,5 мкА більше 0,1 мА.

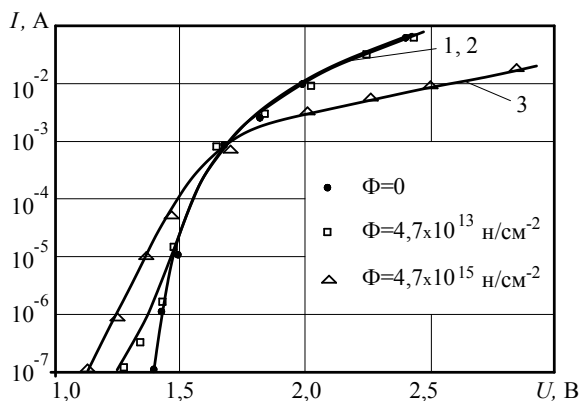


Рис. 3.

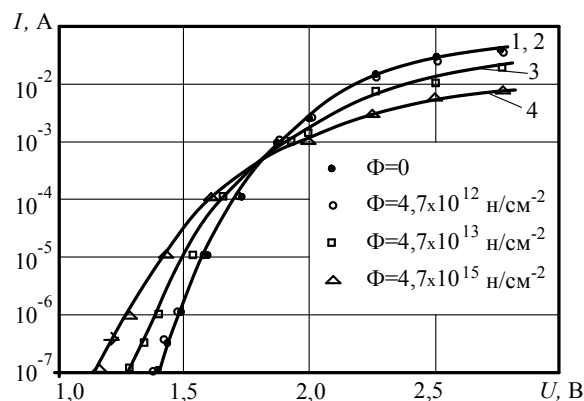


Рис.4.

На рис. 5, 6 наведено люмен-амперні характеристики досліджуваних НПС відповідно з червоним та жовтим кольором свічення до (криві 1) та після (криві 2 – 4) опромінювання.

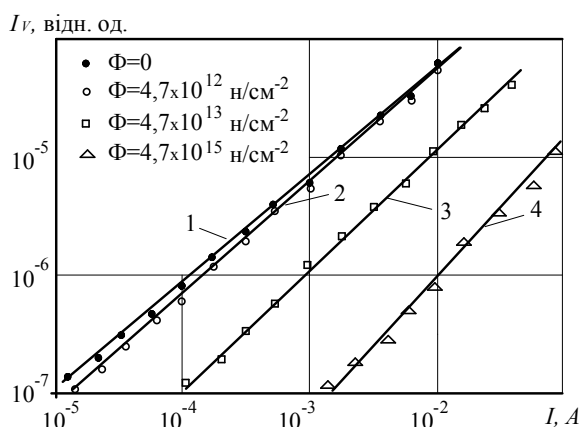


Рис. 5.

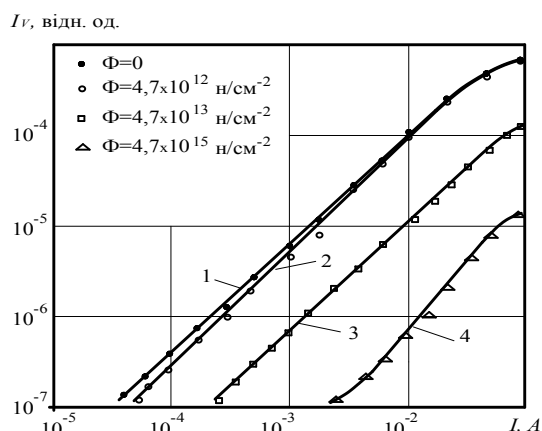


Рис. 6.

Видно, що до опромінювання та при невеликих (до $\sim 4,7 \times 10^{12}$ н/см²) флюенсах залежність сили світла від току для НПС з червоним кольором свічення близька до лінійної, і відхиляється від неї при флюенсах завбільшки $\sim 4,7 \times 10^{15}$ н/см². Для НПС з жовтим кольором свічення залежність сили світла від струму як до так і після опромінювання показувала нелінійний характер ($I_v \sim I^m$), причому $m > 1$ при струмах до 10 мА та $m < 1$ при струмах більше 10 мА. Після опромінювання нейтронами з флюенсом $4,7 \times 10^{15}$ н/см² показник степені m в значному інтервалі струмів дорівнював 1,6 і наближався до 0,5 при токах 100 мА.

Висновки

Проведені експериментальні дослідження впливу нейтронного опромінювання на параметри гетероструктур $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ з червоним та жовтим кольором свічення дозволяють прогнозувати суттєві зміни основних параметрів СД, побудованих на базі таких структур. Отримані кількісні результати слугуватимуть основою для розрахунків (в поєднанні з відповідними теоретичними дослідженнями) ступеня деградації електрофізичних параметрів НПС та прогнозування характеристик відповідних СД.

Виявлені особливості проведення досліджень зміни параметрів НПС під впливом нейтронного опромінювання можуть бути узагальнені та розповсюджені на експерименти з потоками електронів та гамма-випромінюванням.

Література

1. Коган Л.М. Современное состояние полупроводниковых излучающих диодов // Электронные компоненты. — 2000. — №2. — С. 22-27.
2. Руденко Н.М. Метод моніторингу електрофізичних характеристик напівпровідникових структур. // Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів. VIII всеукраїнська науково-технічна конференція. Кременчук. — 2009. — С. 109-110.
3. Bergh A. Dean P. Light-emitting diodes // Clarendon Press. Oxford. — 1976. — 686 p.

Руденко Н.М., Кузьменко О.М. Вплив нейтронного випромінювання на параметри гетероструктур з червоним та жовтим кольором свічення. Виконано дослідження впливу нейтронного випромінювання на параметри гетероструктур $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$. Представлені результати експериментів, які дозволяють прогнозувати деградацію характеристик напівпровідникових структур під впливом нейтронного опромінювання та зміни електричних, випромінюваних характеристик світлодіодів.
Ключові слова: світлодіод, радіаційне випромінювання, надійність світлодіодів, гетероструктура

Руденко Н.Н., Кузьменко О.Н. Влияние нейтронного излучения на параметры гетероструктур с красным и жёлтым цветом свечения. Выполнено исследование влияния нейтронного облучения на параметры гетероструктур $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$. Представлены полученные результаты эксперимента, которые позволяют прогнозировать деградацию характеристик полупроводниковых структур под влиянием нейтронного облучения и изменения электрических, излучательных характеристик светодиодов.
Ключевые слова: светодиод, радиационное излучение, надежность светодиодов, гетероструктура

Rudenko N. M., Kuzmenko O. M. The Influence of Neutron Radiation on Characteristics of the Heterostructures with Red and Yellow Emission Color. A research of influence of neutron radiation on the characteristics of heterostructures $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ was carried out. The received results of experiment that allow us to predict the degradation of characteristics of semiconductor structure under the neutron radiation influence and to predict the changes of electric and light-emitting characteristics of the LED had shown.
Key words: LED, radiation, LED reliability, heterostructure