

КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК621.3.049.771

НЕРУЙНІВНИЙ ЕКСПРЕС-МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ РАДІАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧИХ СТРУКТУР

Руденко Н.М., Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м Київ, Україна

Запропоновано метод визначення констант зниження сили світла напівпровідникових світловипромінюючих структур та пристроїв на їх основі. Метод відрізняється від традиційного суттєвим зменшенням часу аналізу та підвищеною точністю

Вступ. Постановка задачі

Світлодіоди та світлодіодні пристрої (СДП) на сьогодні знайшли широке розповсюдження в аерокосмічній та військовій техніці, ядерній електроніці тощо [1]. Це обумовлює значний інтерес з боку споживачів до інформації щодо стійкості СДП в умовах радіаційного опромінювання. Роботи в цьому напрямку ведуться повільно з цілої низки причин, серед яких виділимо складність організації та проведення відповідних експериментів, що обумовлена не тільки необхідністю у специфічному обладнанні, але і складністю математичних моделей напівпровідникових структур (НПС), що використовуються для інтерпретації отриманих результатів.

Для визначення впливу опромінювання на характеристики НПС, які входять до складу СДП, за звичай, використовують інформацію щодо зміни, деградації, ушкодження (під впливом опромінювання) часу життя носіїв заряду, припускаючи при цьому, що вказані зміни стосуються лише часу життя носіїв, рекомбінація, яких не супроводжується випромінюванням світла (так званий, безвипромінюваний час життя носіїв заряду) [2]. Цей метод за своєю суттю є руйнівним, бо опромінювання СДП значними дозами випромінювання перешкоджає їх подальшому використанню. Крім того, на практиці застосування цього методу дослідження впливу радіації на характеристики світловипромінюючих НПС вимагає значного обсягу експериментальних та розрахункових робіт та призводить до суттєвого розкиду отриманих результатів, що не відповідає сучасним вимогам виробництва СДП, яке потребує методів неруйнівного контролю деградації НПС та СДП, заснованих на детальному аналізі фізичних процесів у світловипромінюючих НПС. При цьому актуальним залишається зниження розкиду отриманих результатів та витрат часу на проведення необхідних експериментальних та розрахункових робіт.

Теоретичні основи методу

Загальноновизнаним методом визначення константи змінення (ушкодження) безвипромінюваного часу життя K_{τ} та константи зниження сили світла

$K = K_\tau \tau_0$ (де τ_0 - інтегральний час життя носіїв заряду) після опромінювання є вивчення залежності I_{V0}/I_V (де I_{V0}, I_V - сила світла, що випромінюється НПС до і після опромінювання відповідно) від флюенса (доза опромінювання) при малих струмах на експоненціальній ділянці залежності сили світла I_V та щільності струму j від напруги. Згідно моделі Барнса [2] при нерівномірному розподілі активаторів люмінесценції в оптично активній області сила випромінюваного НПС світла визначається як

$$I_V = C_n a n_{op} n! (D_n \tau_n)^{(n+1)/2} \exp[eU/(kT)], \quad (1)$$

де C_n - переріз захвату електрона центром рекомбінації; n_{op} - концентрація рівноважних неосновних носіїв заряду в активній області (для визначеності вважатимемо, що це область - p -типу); D_n і τ_n - коефіцієнт дифузії і час життя неосновних носіїв заряду в активній області; a, n - константи, якими визначається функція апроксимації розподілення $N_R = ax^n$ активаторів люмінесценції в перерізі активної області; k - стала Больцмана; e - заряд електрону; T - температура за абсолютною шкалою.

Зазвичай можна прийняти $n = 1$ і, відповідно, (1) записати як

$$I_V = A \tau_n \exp[eU/(kT)], \quad (2)$$

де $A = C_n a n_{op} D_n$.

Згідно [2] маємо

$$1/\tau_0 = (1/\tau_{0n}) + K_\tau \Phi = (1 + \tau_{0n} K_\tau \Phi) / \tau_{0n}, \quad (3)$$

де τ_{0n} - час життя носіїв заряду до опромінювання; Φ - доза опромінювання (величина флюенса).

На підставі (2) та (3) можна записати

$$I_{V0}/I_V = 1 + \tau_{0n} K_\tau \Phi. \quad (4)$$

Тобто величина відношення I_{V0}/I_V є лінійною функцією флюенса опромінювання. Дослідження залежності сили світла при фіксованій напрузі від флюенса в широкому діапазоні змінення останнього дозволяє оцінити величину добутку $\tau_{0n} K_\tau$ незалежно від вигляду вольт-амперної характеристики НПС.

Для прогнозування радіаційної деградації параметрів світлодіодів при заданому струмі необхідна інформація про структуру випромінюючого $p-n$ переходу та механізмах протікання електричного струму.

Зазвичай залежності (1) відповідає рекомбінація носіїв в області просторового заряду або в компенсованому шарі, коли [3]

$$j = j_s \exp[eU/(2kT)], \quad (5)$$

де $j_s = edn_i / \tau_n$ або $j_s = (2eD_n n_i)^{1/2} / \tau_n^{1/2}$ відповідно до випадку, коли довжина дифузії носіїв заряду (дифузійна довжина - L_n) менше або більше ширини оптично активного компенсованого шару - d ; n_i - концентрація носіїв заряду в матеріалі з власною провідністю.

Вважаючи, що від опромінювання залежить лише час життя носіїв заряду, з (2) та (5) матимемо

$$I_V = B\tau_n^3 j^2, \quad I_V = B\tau_n^2 j^2 \quad (6)$$

відповідно для НПС, у яких дифузійна довжина менше або більше (не менш ніж у три рази [3]) ширини компенсованого шару.

Відмітимо, що $I_V \sim \tau_n^3$ і в тому випадку, коли безвипромінювана рекомбінація переважно відбувається в області просторового заряду.

З виразів (3) та (4) випливає

$$I_{V0} / I_V = (1 + \tau_{0n} K_\tau \Phi)^n, \quad (7)$$

де $n = 3$ для НПС з $L_n \leq d$; $n = 2$ для НПС з $L_n \geq 3d$.

Дослідження зниження сили світла при заданому струмі також дозволяють визначити величину добутку $\tau_{0n} K_\tau$, і, внаслідок більш сильної залежності від флюенса, потребують менший обсяг досліджень. Однак, у зв'язку з нелінійною залежністю I_{V0} / I_V від Φ та різних значень n для НПС з різною дифузійною довжиною відбувається суттєве "накопичення" похибки при вимірюваннях та розрахунках $\tau_{0n} K_\tau$.

Для зменшення обсягу досліджень і, відповідно, прискорення оцінювання радіаційної стійкості світловипромінюючих НПС нами запропоновано використання малих доз радіаційного опромінювання - метод малих флюенсів. Для використання запропонованого методу необхідно забезпечити умови, за яких $\tau_{0n} K_\tau \Phi \ll 1$. При цьому співвідношення (7) можна розкласти у ряд Тейлора та обмежитись лінійним членом. В результаті отримуємо

$$I_{V0} / I_V - 1 = n\tau_{0n} K_\tau \Phi, \quad (8)$$

Використання запропонованого методу потребує лише одного опромінювання, а похибка оцінювання $\tau_{0n} K_\tau \Phi$, навіть за умови не точного вибору величини n , не перевершує 50%. Суттєвою перевагою даного методу є можливість масової перевірки на радіаційну стійкість НПС та відповідних СДП різних типів. Зважаючи на те, що при малих флюенсах не відбувається помітного зниження показників якості СДП, забезпечується можливість їх подальшого використання.

Експериментальне обґрунтування методу

З метою експериментального обґрунтування методу були вибрані НПС

$GaP(Zn - O)$ з червоним кольором світіння. НПС опромінювались нейтронами з енергією $\geq 0,1$ МеВ в імпульсному реакторі при тривалості імпульсу 100 нс.

При реалізації запропонованого методу були вибрані флюенси $1,0 \cdot 10^{12}$ н/см² та $3,1 \cdot 10^{12}$ н/см². Дослідження проводились при різних значеннях прямого струму, що протікає крізь НПС в робочому режимі (з метою отримання додаткової інформації щодо можливостей запропонованого методу). В експериментах було використано тридцять НПС. Розрахунки проводились на підставі співвідношення (8). При цьому було отримано значення

$$\tau_{0n} K_{\tau} = (5,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2/\text{н}.$$

Аналогічні дослідження були проведені за традиційним методом. Звичайно, порівняння методів здійснювалось на аналогічних структурах. При цьому, як і раніше, було використано тридцять НПС. Були вибрані флюенси $5,6 \cdot 10^{10}$, $4,7 \cdot 10^{13}$, $1,5 \cdot 10^{14}$, $1,2 \cdot 10^{15}$ н/см². Після кожного опромінювання вимірювались залежності $I_{\nu}(U)$ для кожної НПС при семи значеннях U . Розрахунки проводились на підставі співвідношення (4). При цьому було отримано значення

$$\tau_{0n} K_{\tau} = (6,0 \pm 2) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2/\text{н}.$$

Як видно, отримані за традиційним методом та за методом малих флюенсів значення константи зниження сили світла добре співвідносяться між собою. Однак, якщо при реалізації методу малих флюенсів для отримання шуканого результату достатньо виконати одне опромінювання та здійснити два вимірювання, то традиційна методика потребує як мінімум п'ять опромінювань та 42 вимірювання сили світла. Вказані опромінювання та вимірювання, звичайно, мають бути здійснені для кожної НПС. Крім того, видно, що розкид отриманих результатів значно менший за умови використання методу малих флюенсів.

Висновки

Запропоновано експрес-метод контролю радіаційної стійкості світловипромінюючих структур та пристроїв, що побудовані на їх основі. Метод полягає у використанні малих флюенсів для опромінювання структури чи пристрою з подальшим розрахунком шуканих констант. Отримані за даним методом результати визначення константи зниження сили світла з достатньою точністю співпадають з результатами, отриманими за традиційною методикою, та відрізняються меншим розкидом. Запропонований метод по відношенню до традиційного потребує більшої точності вимірювання флюенса та відносної сили світла.

Для широкого впровадження запропонованого методу у практику дослідження радіаційної стійкості світловипромінюючих напівпровідникових структур та пристроїв на їх основі необхідно підтвердження його ефективності при дослідженні різних за технологією виготовлення структур під впливом опромінювання різної природи та розроблення нових більш точних або розвинення технології підвищення точності існуючих методів вимірювання флюенса та від-

носної сили світла.

Автор висловлює подяку співробітникам лабораторії напівпровідників Московської державної академії приладобудування та інформатики та особисто проф. Рижікову І.В. за надання можливості проведення експериментів та обговорення отриманих результатів.

Література

1. Антипенко Р.В., Руденко Н.Н., Силакова Т.Т. Эволюция светодиодов – от "холодного света" Лосева до освещения улиц. // Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. - 2009.– Вип. 39 - С. 119-123.
2. Barnes С.Е. Neutron damage in GaP(ZnO) light-emitting diodes. // J. Appl.Phys. - 1977. - V. 48. - №. 5. - P. 1921-1927.
3. Зерний Ю.В., Числов А.А., Степченко Н.И. Вольтамперные характеристики фосфидогаллиевых светодиодов, облученных нейтронами // Моделирование и исследование сложных систем. М.: МГАПИ. – 2003. - С. 93-101.

<p>Руденко Н.Н. Неразрушающий экспресс метод оценивания радиационной стойкости светоизлучающих структур Предложен метод определения констант снижения силы света полупроводниковых светоизлучающих структур и устройств на их основе. Метод отличается от традиционного значительным сокращением времени и повышенной точностью.</p>	<p>Rudenko N.N. Change expresses method estimating of the light emitting structure for influence of radiation The method determining of constant degradation light in light-emitting conductor and devices are proposed. The method is difference more short time and increase precision.</p>
---	--

*Надійшло до редакції
01 вересня 2009 року*

УДК 681.7.013.8

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ЭЛЕМЕНТОВ МАГНИТНОЙ ЗАЩИТЫ ДОКУМЕНТОВ

*Агалиди Ю.С., Кожухарь П.В., Левый С.В., Мачнев А.М., Пономарёв С.Л.,
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

Представлены результаты разработки средств неразрушающего контроля, обеспечивающих магнитооптическую визуализацию элементов магнитной защиты документов и оценку их магнитных свойств. Оценена относительная чувствительность и разрешающая способность данных средств

Вступление

Известно, что одним из элементов защиты документов, ценных бумаг и денежных знаков является магнитная защита – один из видов физико-химической защиты, основанный на введении ферромагнитных компонентов в составные части ценных бумаг [1]. Такие ферромагнитные компоненты могут быть введены в типографские краски, металлические ленты и волокна, вне-