

УДК 621.3

В.А. Андрійчук, д.т.н., проф., М.С. Наконечний, к.т.н., Я.О. Філюк, к.т.н., Я.М. Осадца, к.т.н., доц.к.т.н. Л.М. Костик, к.т.н., доц.

Тернопільський Національний Технічний Університет імені І. Пулюя

ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ ЧАС ЖИТТЯ НЕРІВНОВАЖНИХ НОСІЇВ У СВІТЛОДІОДАХ НА ОСНОВІ ІІІ-НІТРИДУ ГАЛІЮ

V. Andriichuk, PhD, professor, , M. Nakonechnyi, PhD, Ya. Filiuk, PhD, Ya. Osadtsa, PhD, associate professor, L. Kostyk, PhD, associate professor.

DIFFERENTIAL LIFETIME OF NON-EQUILIBRIUM CARRIERS IN GALLIUM NITRIDE-BASED LEDS.

Світлодіодні джерела світла, як і більшість напівпровідникових приладів, відносяться до нелінійних елементів електричного кола, які крім статичних параметрів характеризуються динамічними або диференціальними. Такими параметрами є диференціальний опір і ємність, час життя носіїв та інші, які залежать від положення робочої області на вольтамперній характеристиці діода. Серед них важливе місце відводиться дослідженням диференціального часу життя нерівноважних носіїв заряду, які разом із дослідженнями АВС-моделі рекомбінаційних процесів дозволяють оцінити внутрішню квантову ефективність випромінювання світлодіода (СД).

При проведенні вимірювань ми створювали однорідний стаціонарний стан і подавали мале збурення виду $I=I_0 + i(t)$, $U=U_0 + u(t)$, що створює концентрацію носіїв $N= N_0 + n(t)$.

Розглянемо затухання малого збурення:

$$\frac{dn(t)}{dt} = -\frac{\partial U(n)}{\partial n} n(t), \quad (1)$$

де $U(n)$ - швидкість рекомбінації носіїв.

З цього рівняння випливає, що якою б не була форма $U(n)$, затухання є експоненціальним, а час життя диференціальної рекомбінації буде визначатися як:

$$\tau_{rec} = \left(\frac{\partial U(n)}{\partial n} \right)^{-1}. \quad (2)$$

Враховуючи, що стаціонарний стан задавався малими струмами інжекції, швидкість рекомбінації можна записати рівнянням:

$$U(n) = k_{rad} n^2 + \frac{n}{\tau_{SRH}}, \quad (3)$$

де k_{rad} - коефіцієнт випромінювальної рекомбінації, а τ_{SRH} - час життя безвипромінювальної рекомбінації Шоклі-Ріда-Холла, пов'язаної із наявністю пасток.

Включенням процесів Оже-рекомбінації в даному випадку можна знехтувати, оскільки ми розглядаємо дуже малі струми інжекції, де переважає бімолекулярна рекомбінація. З рівняння (2) отримуємо загальний сумарний час життя рекомбінації як суму двох паралельних шляхів:

$$\tau_{rec} = \left(\frac{1}{\tau_b} + \frac{1}{\tau_{SRH}} \right)^{-1},$$
$$\tau_b = \frac{1}{2k_{rad} n}.$$

де

Диференціальний час життя носіїв заряду вимірювали за допомогою модуляції робочого струму СД П-подібними імпульсами. Основною вимогою для проведення такого експерименту є умова, щоб внесок інжектованих носіїв змінним струмом був набагато менший інжектованих постійною складовою. Для модуляції використовували імпульсний струм частотою 1 кГц і амплітудою, яка складала $\leq 5\%$ постійного струму і шпаруватістю $D=20$ та $D=2$. Експерименти проводили на комерційно доступних СД на основі III-нітрату галію з вузькоспектральним складом випромінювання з максимумом при 450 нм двох типів FYL-3014 і ARPL-1W потужністю 90, 120 мВт та 1 Вт, відповідно. Для СД ARPL-1W додатково використовували електронний ключ. Світловий потік вимірювали за допомогою інтегрального фотометра з фотоелектронними помно-жувачами ФЕУ-19А. Блок-схема установки та метод вимірювання розглянуто в [1].

Також на даній установці і для вказаних зразків були проведені вимірювання диференціального опору та диференціальної ємності. Вимірювання цих параметрів проводили за допомогою мостової схеми, в плечах якої був імпеданс світлодіода та паралельно з'єднаних конденсатора та резистора.

На рис.1 приведені осцилограми згасання світлового потоку при напрузі прямого зміщення 2,35 та 2,4 В і П-подібними імпульсами змінної складової частотою 1кГц, амплітудою $u_m=50$ mV та шпаруватості $D=20$ і 2. На вставках показані часові залежності логарифму світлового потоку у відносних одиницях, по яких визначали постійну часу τ , які приведені в таблиці 1.

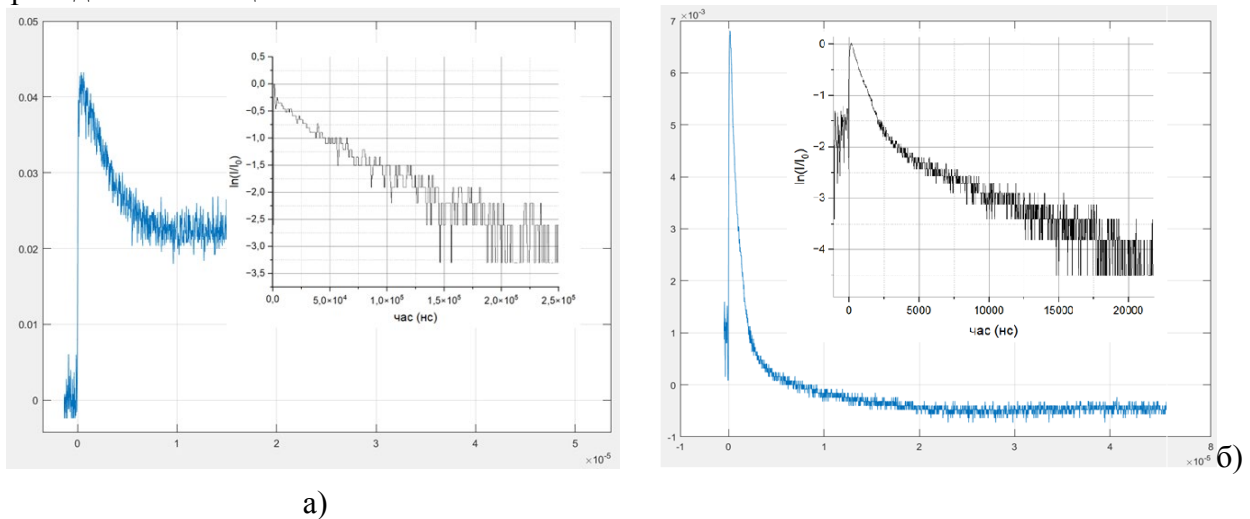


Рис. 1. Кінетика світлового потоку FYL-3014, 90mВт при напрузі прямого зміщення і П-подібними імпульсами змінної складової $u_m=50$ mV: а) 2,35 В, $D=20$; б) 2,4 В, $D=2$.

Табл.1. Постійна часу спадання часу

Заповнення	Напруга, В	τ_1 , нс	τ_2 , нс
5 %	2,4	2640	4004,169
	2,35	3610	
50%	2,4	2990	7867,446
	2,35	6470	

1. Андрійчук В., Наконечний М., Осадца Я., Філюк Я. (2021). Дослідження світлодіодних джерел світла у випадку імпульсного живлення. Технічна електродинаміка, (1), 068. <https://doi.org/10.15407/techned2021.01.068>.