

УДК 538.9

Подольян А.О.¹, к.ф.-м.н.

Спрощена методика визначення часу життя носіїв заряду в кремнії

Запропоновано спрощення методики визначення часу життя носіїв заряду в кремнії за кінетикою загасання фотопровідності. Суть спрощення полягає у використанні для однорідного збудження нерівноважних носіїв заряду в кремнії загальнодоступного арсенід-галієвого світлодіода.

Ключові слова: кремній, час життя носіїв заряду, загасання фотопровідності.

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 03680, м. Київ, пр-т. Глушкова 4д,
e-mail: gogi@univ.kiev.ua

A.O. Podolian¹, Ph.D.

Simplified technique for the determination of carrier lifetime in silicon

The simplification of the photoconductivity decay technique for the determination of carrier lifetime in silicon was proposed. The main point consists in using a common gallium arsenide light-emitting diode for homogeneous generation of non-equilibrium carriers in silicon.

Key words: silicon, carrier lifetime, photoconductivity decay.

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv, 03680, Kyiv, Glushkova st., 4d,
e-mail: gogi@univ.kiev.ua

Статтю представив д.ф.-м.н., проф. Макарець М. В.

Вступ

Об'ємний час життя нерівноважних носіїв заряду τ_b є найбільш чутливою до структурної досконалості напівпровідника або напівпровідникового приладу характеристикою. Завдяки цьому з експериментальних вимірів τ_b в Si досліджують електричну активність різних дефектів. Найбільш поширені методики знаходження τ_b в Si базуються на вимірах кінетики загасання фотопровідності [1-4]. Розміри зразків та значення швидкості поверхневої рекомбінації s накладають обмеження на максимальне вимірюване значення τ_b [4]. За умови $s \rightarrow \infty$, яку легко реалізувати шляхом шліфування поверхні Si абразивним порошком [1], для зразка у вигляді прямокутного паралелепіпеду τ_b розраховується з виразу

$$\frac{1}{\tau_f} = \frac{1}{\tau_b} + \pi^2 D \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \right), \quad (1)$$

де a , b і c - лінійні розміри зразка, D - коефіцієнт дифузії неосновних носіїв заряду, а τ_f - стала часу кінцевої експоненціальної ділянки кривої загасання фотопровідності [4]. Таким чином, максимальне вимірюване значення τ_b буде обмежене лише лінійними розмірами зразка. Для типових $\tau_b \geq 100$ мкс розміри зразків повинні складати десятки міліметрів [4]. При таких розмірах важко досягти однорідного збудження носіїв заряду в Si, що необхідно для надійного

знаходження τ_b . Як правило, для збудження використовують лазери або світлодіоди з $\lambda \geq 1,06$ мкм. Однак використання таких джерел в силу високої їх вартості ускладнює реалізацію методики. В роботі показано, як спрощується методика знаходження τ_b в Si при використанні в якості імпульсного джерела загальнодоступного GaAs світлодіода АЛ107Б.

Результати та їх обговорення

Як показали детальні дослідження спектрів випромінювання АЛ107Б, проведені з використанням призмового монохроматора та Ge фотодіода, довгохвильовий край спектра затягується до $\lambda > 1,2$ мкм. Довгохвильову ділянку в спектрі АЛ107Б виділяли за допомогою Si фільтра. На Рис. 1 наведено повний спектр випромінювання світлодіода АЛ107Б (крива 1), та довгохвильова ділянка спектру, виділена за допомогою Si фільтра товщиною $d=2$ мм (крива 2). Максимуму випромінювання в спектрі АЛ107Б відповідає $\lambda_{\text{макс}} \approx 935$ нм (крива 1 на рис. 1). Таким чином, при використанні АЛ107Б в якості імпульсного джерела збудження нерівноважні носії заряду генеруються лише в тонкому приповерхневому шарі Si, товщина якого з урахуванням ширини спектра випромінювання трохи перевищує ~ 50 мкм [5].

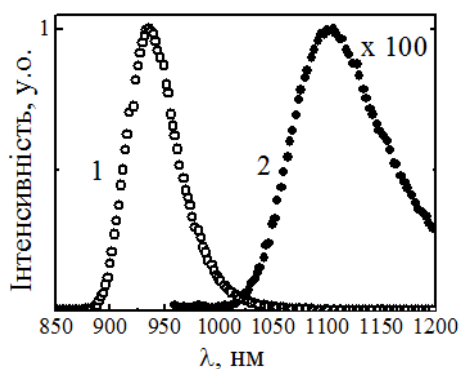


Рис. 1 Спектри випромінювання світлодіода АЛ107Б, записані без використання фільтра (1) та з використанням Si фільтра товщиною $d=2$ мм (2). Довгохвильова ділянка спектру представлена в збільшеному масштабі.

Максимум випромінювання виділеної довгохвильової ділянки спектра АЛ107Б припадає на $\lambda_{\text{макс}} \approx 1,1$ мкм (крива 2 на рис. 1), що відповідає глибині проникнення світла в Si ~ 19 мм [5]. Значить, використовуючи для генерації лише довгохвильову ділянку спектра АЛ107Б ми легко реалізуємо умову однорідного збудження носіїв заряду в об'ємі Si. Єдина проблема - це мала інтенсивність довгохвильової ділянки спектра. Проте дослідження показали, що для зразків Si з $\rho > 100$ Ом·см цієї інтенсивності цілком достатньо для проведення надійних вимірів кінетики загасання фотопровідності за умов низького рівня інжекції [1]. На Рис. 2 наведено криві загасання фотоструму, виміряні згідно з [1] у зразках p-Si ($\rho=1$ кОм·см $7 \times 7 \times 20$ мм) та n-Si ($\rho=220$ Ом·см $5 \times 5 \times 10$ мм). Для генерації носіїв заряду використовували імпульси світла з $\lambda_{\text{макс}} \approx 1,1$ мкм від АЛ107Б, який збуджували генератором Г5-54.

Список використаних джерел

1. Saritas M., McKell H.D. Comparison of minority-carrier diffusion length measurements in silicon by the photoconductive decay and surface photovoltage methods // J. Appl. Phys. – 1988. – V. 63, № 9. – P. 4561-4567.
2. Maekawa T., Fujiwara K. Measurable Range of Bulk Carrier Lifetime for a Thick Silicon Wafer by Induced Eddy Current Method // Jpn. J. Appl. Phys. – 1995. – V. 34, N 8A. – P. 3955-3964.

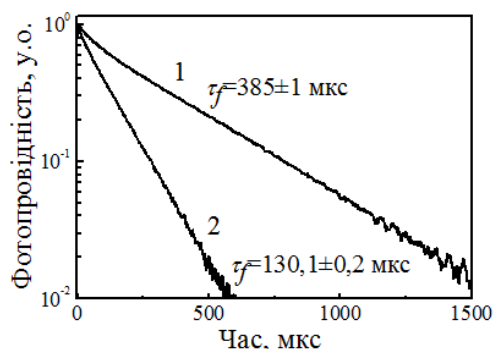


Рис. 2 Експериментальні криві загасання фотоструму у зразках p-Si (1) та n-Si (2) при збудженні нерівноважних носіїв заряду світлом АЛ107Б з $\lambda_{\text{макс}} \approx 1,1$ мкм.

Усереднені 1000 разів криві загасання фотоструму у зразках реєстрували з використанням широкосмугового підсилювача (K=1000) та аналогово-цифрового перетворювача L-783 (L-Card). Завдяки однорідній генерації носіїв заряду на кривих загасання легко виділити кінцеві експоненціальні ділянки, шляхом апроксимації яких знаходили τ_f . Розраховані за формулою (1) значення об'ємних часів життя складають $\tau_b = 908 \pm 6$ мкс та $\tau_b = 153,1 \pm 0,3$ мкс, для p-Si та n-Si, відповідно.

Таким чином, використання загальнодоступного GaAs світлодіода АЛ107Б дозволяє легко реалізувати в лабораторних умовах методику вимірювання τ_b за кінетикою загасання фотопровідності. Для більш потужного GaAs світлодіода можна очікувати більш високу інтенсивність довгохвильової ділянки спектра світлодіода.

3. Gaubas E., Vanhellemont J. Comparative Study of Carrier Lifetime Dependence on Dopant Concentration in Silicon and Germanium // J. Electrochem. Soc. – 2007. – V. 154, N 3. – P. H231-H238.
4. Schroder D. K. Semiconductor Material and Device Characterization. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2006. – 784 p.
5. Green M.A. Optical properties of intrinsic silicon at 300 K / Green M.A. and Keevers M.J. // Prog. Photovolt. – 1995. – V. 3, N 3, P.189-192.

Надійшла до редколегії 07.03.13