

ПОРІВНЯННЯ ЧАСУ ЖИТТЯ НЕРІВНОВАЖНИХ НОСІЇВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЛІВОК CDSE/ZNTE

Анотація: порівняння часу життя нерівноважних носіїв напівпровідникових плівок різних товщин. Зв'язок між теоретичними та експериментальними даними.

Ключові слова: товщина d отриманої плівки, час життя, фотострум у напівпровіднику, стаціонарне значення фотоструму.

Annotation: comparison of time of life of non-equilibrium transmitters of semiconductor tapes of different thickness. Connection is between theoretical and experimental data.

Keywords: thickness of d of the not tape, time of life, photoelectric in a semiconductor, stationary value of photoelectric.

Одним з важливих параметрів напівпровідникових плівкових структур є час релаксації («час життя») нерівноважних носіїв, тобто час впродовж якого напівпровідник зберігає отриманий заряд. Обмеженість «часу життя» викликана тим, що нерівноважні носії заряду зустрічаючись з носіями протилежного знаку рекомбінують.

Виведемо формулу розрахунку часу життя. Спираючись на дані теорії [1,2] припустимо, нехай v_n – середня швидкість електрона відносно дірки, а S_n – переріз (площа) захоплення електрона при зустрічі з діркою, концентрація дірок – p . Тоді середнє число зустрічей електрона за 1 сек буде $S_n \cdot v_n \cdot p$, а середній час життя $\tau_n = 1/(S_n \cdot v_n \cdot p)$.

Добуток ефективної площі захоплення на середню швидкість $S \cdot v_n = \gamma_n$ називається коефіцієнтом рекомбінації нерівноважних

електронів. Тоді $\tau_n = 1/(\gamma n p)$. Цей параметр не може бути характерним для даного матеріалу, оскільки величина p залежить від інтенсивності освітлення, температури, концентрації дефектів та домішок, товщини зразка [3] і т.п.

Збільшення концентрації носіїв заряду при освітленні, та їх зменшення після припинення освітлення супроводжується відповідними змінами електропровідності, а отже і струму через зразок напівпровідника. Розрізняють два крайніх випадки релаксації:

- 1) при малих рівнях збудження, коли $n \ll n_0$;
- 2) при великих рівнях збудження, коли $n \gg n_0$,

де n_0 – рівноважна концентрація електронів напівпровідника в темряві.

Розглянемо другий випадок. Запишемо диференціальне рівняння зміни з часом концентрації нерівноважних носіїв заряду:

$$\frac{d(n)}{dt} = \beta \cdot k \cdot I - \gamma(n)^2, \quad (1)$$

де $\beta \in [0, 1]$ – швидкість рекомбінації; $R = \sqrt{I \cdot k}$ – швидкість рекомбінації (рекомбінація квадратична, тому що $R \propto (n)^2$); k – коефіцієнт поглинання світла ($1/m$); I – інтенсивність світла, яким освітлюється напівпровідник; β – квантовий вихід, тобто число вільних електронів, які з'являються при поглинанні одного фотона, якщо I дорівнює числу фотонів, які падають за 1с на 1 м² поверхні напівпровідника; γ – коефіцієнт рекомбінації (м³/с).

Якщо освітлення вимкнути, то $\frac{d(n)}{dt} = -\gamma(n)^2$.

Розділимо змінні і інтегруємо: $\frac{d(n)}{(n)^2} = -\gamma \cdot dt \rightarrow -\frac{1}{n} = -\gamma \cdot t + C$.

У початковий момент часу, коли $t = 0$, то $n = n_0$. Тоді $C = -\frac{1}{n_0}$.

$$\frac{1}{n} = \gamma \cdot t + \frac{1}{n_0} \rightarrow n_0 = n_0 \cdot \gamma \cdot t + n \rightarrow n = \frac{n_0}{1 + \gamma \cdot n_0 \cdot t}. \quad (2)$$

Тобто, при квадратичній рекомбінації (бімолекулярна рекомбінація) число нерівноважних носіїв заряду зменшується з часом за гіперболічним законом. Оскільки фотопровідність (чи фотострум) пропорційна величині n , можна

вважати, що фотострум через зразок напівпровідника при сталій напрузі на ньому буде зменшуватись з часом теж за гіперболічним законом, тобто:

$$I_{\phi} = \frac{I_0}{1 + At}, \quad (3)$$

де I_0 – стаціонарне значення фотоструму, яке досягається при довготривалому освітленні, A – коефіцієнт пропорційності. Цю формулу можна переписати в такому вигляді

$$\frac{I_0}{I_{\phi}} - 1 = At \quad (4)$$

Якщо отримати експериментальну залежність спаду фотоструму від часу і побудувати залежність $\frac{I_0}{I_{\phi}} - 1$ від t , то в разі квадратичної рекомбінації на цьому графіку повинна бути пряма лінія. Відомо, що сила струму $I = jS$, де j – густина струму; S – площа поперечного перерізу провідника. За електронною теорією:

$$j = en\mu E \quad (5)$$

де e – заряд електрона, n – концентрація електронів, μ_n – рухливість електронів, E – напруженість електричного поля

Якщо товщина напівпровідника d , а напруга на ньому U , то наближено можна вважати:

$$E = \frac{U}{d}. \quad (6)$$

Таким чином фотострум у напівпровіднику:

$$I_{\phi} = e \cdot n \cdot \mu_n \cdot S \cdot \frac{U}{d} \quad (7)$$

$$\text{Тоді як } I_0 = e \cdot n_0 \cdot \mu_n \cdot S \cdot \frac{U}{d}. \quad (8)$$

Тоді очевидно, що повинна виконуватись рівність:

$$\frac{n_0}{n} = \frac{I_0}{I_{\phi}}. \quad (9)$$

Ця рівність дає можливість по вимірюванням фотоструму в напівпровіднику робити висновки про величину концентрації нерівноважних носіїв заряду.

У даній роботі розраховувався теоретично (на основі вольт-амперних характеристик, знятих при освітленні та у темряві) та порівнювався з експериментальними даними час життя напівпровідникових плівок CdSe/ZnTe, які мали однакові вхідні дані: $S = 3\text{см}^2$, $\mu_n \approx 6,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ (для CdSe), $\mu_n \approx 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ (для ZnTe), $U = 10 \text{ В}$, але різні товщини.

Використовуючи дані графіка, де $\text{tg}\alpha = A = \left(\frac{I_0}{I_\phi} - 1\right)/t$ а також те, що $A = \gamma n_0 i$ визначаючи n_0 за формулою для I_0 можна визначити n_0 . Далі знаючи n_0 можемо розрахувати значення γ .

Знаючи γ і розраховуючи n по (7) для конкретного моменту часу, за формулою

$$\tau = 1/(\gamma \cdot n) \quad (10)$$

можна обчислити середнє значення часу життя нерівноважного носія заряду.

Підставляючи всі вище зазначені формули отримаємо формулу для розрахунку часу життя

$$\tau = \frac{t}{1 - \frac{I_\phi}{I_0}}$$

www.avs4you.com

де I_0 – стаціонарне значення фотоструму, I_ϕ – фотострум у напівпровіднику, який сильно залежить від товщини зразка, t – час зростання фотоструму до стаціонарного значення.

Табл. 1 Час життя нерівноважного носія заряду напівпровідникових плівок

| Матеріал | Товщина, мкм | Час життя τ , с теоретичне | Час життя τ , с експериментальне |
|-----------|--------------|------------------------------------|--|
| CdSe | 2 | 5,35 | 5 |
| ZnTe | 4,5 | 14,6 | 15 |
| ZnTe-CdSe | 13,5 | 119,5 | 120 |
| CdSe-ZnTe | 13 | 84,2 | 85 |
| ZnTe | 11,5 | 42,85 | 43 |
| CdSe | 14 | 44,75 | 45 |

Порівнюючи теоретичні та експериментальні дані можемо побачити, що

значення часу життя нерівноважних носіїв співпадають досить сильно. Такі близькі значення показують, що напівпровідникова плівка має невелику концентрацію дефектів та домішок, однорідну структуру. В той же час з отриманих даних витікає, що зі збільшенням кількості шарів напівпровідникових плівок різної провідності різко зростає час життя нерівноважних носіїв. Можна спрогнозувати, що зі збільшенням кількості шарів ще більше зростає час життя.

ДЖЕРЕЛА ТА ЛІТЕРАТУРА

1. Епифанов Г.М. Физика твёрдого тела. – М.: Высшая школа, 1977.
2. Шалимова К.В.. Физика полупроводников. – М., 1976.
3. Pathel K.D. Chemical and structural characterization of CdSe thin films / K.D. Pathel, R.K. Shan, D.L. Makhija // J. Ovonic Res. - 2008. - V. 4, № 61. - С. 129 - 139.

NON-ACTIVATED VERSION

Клецьков Олександр Михайлович – асистент кафедри фізики та математики та фізики Дніпровського державного університету, тел. 0987256765, alex.kl87@i.ua, сертифікат ТАК, про конференцію дізнався від колег.

www.av4you.com