

ФОТОПРОВІДНІСТЬ КЛАСТЕРНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ У ВУЗЬКОЦІЛИННИХ НАПІВПРОВІДНИКАХ

І. С. Вірт

Дрогобицький державний педагогічний інститут ім. І. Франка,
вул. І. Франка, 24, Дрогобич, UA-293720, Україна

(Отримано 15 лютого 1996)

Показано, що при освітленні кристалів потрійних сполук вузькоцілинних напівпровідникових матеріалів з $h\nu < E_g$ можливий фотовідгук, пов'язаний з генерацією електрон–діркових пар на просторових кластерних неоднорідностях з локально меншою шириною забороненої зони внаслідок флюктуацій складу $-x$. Визначено просторовий розподіл нерівноважних носіїв заряду в об'ємі кристалітів, а також середнє значення їхньої концентрації залежно від розмірів кластера.

Ключові слова: фотопровідність, поверхнева рекомбінація, кристаліти.

PACS number(s): 72.20.Jv, 72.40.+w

У реальних напівпровідниках наявність просторових дефектів змінює їхні оптичні характеристики. Зокрема, скупчення дислокацій і малокутових меж блоків приводять до сегрегації домішок, а в потрійних напівпровідникових сполуках — до збагачення металічною компонентою, що веде до зміни складу із супутним зменшенням ширини забороненої зони [1]. Такі флюктуації складу будуть виявлятися в довгохвильовій області (області прозорості) спектра. Рекомбінаційні властивості просторових дефектів досліджували в працях [2–4].

Наша мета — розрахувати внесок фотопровідності кластерних неоднорідностей у випадку довгохвильового зондування світлом з енергією фотонів $h\nu$, меншою від ширини забороненої зони E_g кристала у вузькоцілинних напівпровідникових потрійних сполуках.

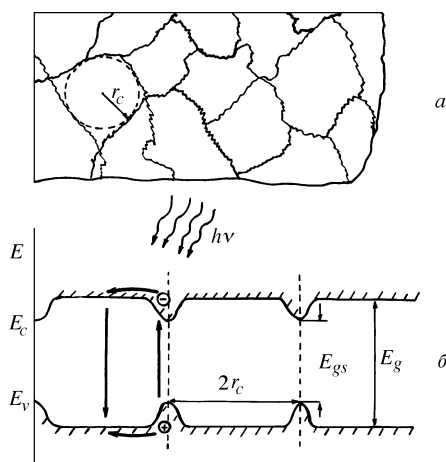


Рис. 1. Кластерна сітка полікристалітів (а) і енергетична схема неоднорідного напівпровідника (б).

Як модель вибрано кластерну сітку (полікристалітів) із локально зменшеною величиною E_{gs} ($E_{gs} < h\nu$) на межах зерен (рис. 1, а, б). Припускаємо, що швидкість рекомбінації нерівноваж-

них носіїв заряду (ННЗ) на поверхнях становить s . Розміри кластерів (зерен) — r_c . Поглинання світла на кластерній сітці враховуємо в граничних умовах через швидкість поверхневої генерації електрон–діркових пар — G_s .

Рівняння неперервності для ННЗ–дірок в електронному напівпровіднику в об'ємі одного зерна має вигляд

$$D \left(\frac{d^2 \Delta p}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\Delta p}{dr} \right) - \frac{\Delta p}{\tau} = 0, \quad (1)$$

де D — коефіцієнт дифузії ННЗ; τ — час життя ННЗ.

Граничні умови

$$D \frac{d\Delta p}{dr} \Big|_{r=r_c} = G_s - s\Delta p \Big|_{r=r_c}, \quad (2)$$

$$D \frac{d\Delta p}{dr} \Big|_{r=0} = 0$$

дають значення потоку ННЗ на границі і в центрі зерна.

Розв'язком рівняння (1) з граничними умовами (2) є координатний розподіл концентрації ННЗ:

$$\Delta p(r) = \Delta p_s(a) \frac{a}{\text{sha}} \frac{\text{sh}z}{z}, \quad (3)$$

де $\Delta p_s(a)$ — концентрація ННЗ на межі зерна:

$$\Delta p_s = \frac{G_s \tau / L}{\text{ctha} - \frac{1}{a} + \frac{s\tau}{L}} \quad (4)$$

($L = \sqrt{D\tau}$ — довжина дифузії ННЗ; $a = \frac{r_c}{L}$; $z = \frac{r}{L}$), що залежить від розміру кластера і швидкості поверхневої рекомбінації. Залежність концентрації ННЗ всередині зерна кристаліта від рівня генерації G_s зображена на рис. 2.

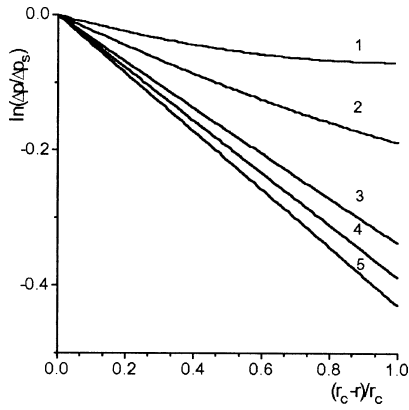


Рис. 2. Координатний розподіл концентрації ННЗ в об'ємі зерна кристаліта залежно від його розмірів r_c/L : 1 — $r_c/L = 1$; 2 — 2; 3 — 5; 4 — 10; 5 — ∞ .

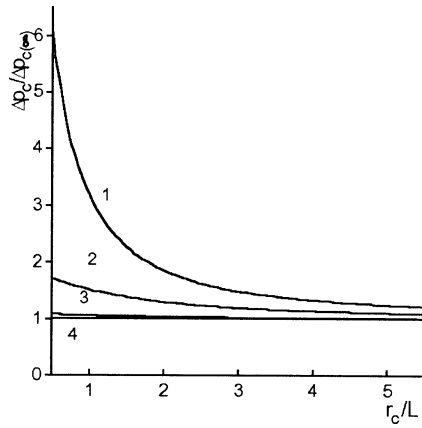


Рис. 3. Залежність поверхневої концентрації ННЗ на кластерній сітці (зведеної до Δp_s на плоскій поверхні) від розміру зерна полікристаліта (r_c/L) при різному значенні відносної швидкості поверхневої рекомбінації s/v : 1 — $s/v = 0$; 2 — 1; 3 — 10; 4 — 100.

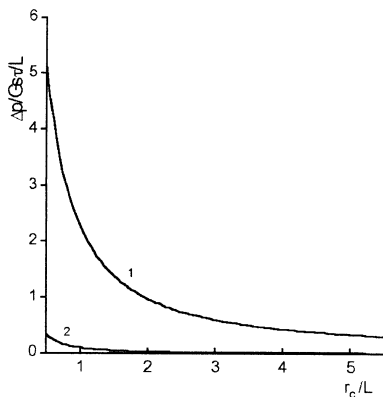


Рис. 4. Залежність середньої концентрації ННЗ в об'ємі зерна кристаліта від його розмірів при двох значеннях відносної швидкості поверхневої рекомбінації: 1 — $s/v = 1$; 2 — 100.

Для плоскої поверхні ($r_c \rightarrow \infty$) концентрація ННЗ наближається до природного значення:

$$\Delta p(x) = \Delta p_s(a) e^{-\frac{x}{L}}. \quad (5)$$

У цьому випадку концентрація ННЗ на поверхні

$$\Delta p_s(\infty) = \frac{G_s \tau / L}{1 + \frac{s \tau}{L}}. \quad (6)$$

Кривина поверхні помітно відображається на величині Δp_s , якщо розміри кластера $r_c \approx L$ (рис. 3).

Очевидно, що рекомбінаційні властивості плоскої поверхні можна ввести через ефективну швидкість поверхневої рекомбінації s^* :

$$s^* = s - v \left(1 + \frac{1}{a} - \text{ctha} \right), \quad (7)$$

де через v позначено швидкість дифузії ННЗ протягом часу їхнього життя ($v = L/\tau$). При великій кривині поверхні $s^* \rightarrow s - v$ і визначається двома конкуруючими процесами: поверхневою рекомбінацією ННЗ і швидкістю відтоку їх від кластера в об'ємі зерна. При наближенні кривини поверхні кластера до плоскої $s^* \rightarrow s$. Малий відтік ННЗ в об'ємі зерна при великій кривині поверхні спричинений обмеженим темпом рекомбінації ННЗ в об'ємі і таким чином зменшує s^* .

Фотопровідність кристаліта з кластерною сіткою визначається середньою концентрацією ННЗ у зерні:

$$\overline{\Delta p} = \frac{3}{r_c^3} \int_0^{r_c} r^2 \Delta p(r) dr, \quad (8)$$

тобто враховуючи (3),

$$\overline{\Delta p} = \frac{3G_s}{va} \left[1 + \frac{s}{v(\text{ctha} - \frac{1}{a})} \right]^{-1}. \quad (9)$$

Залежність $\overline{\Delta p}$ від розміру зерна для двох значень швидкості поверхневої рекомбінації і при однаковому ступені генерації електрон-діркових пар показана на рис. 4. При $s = 0$ середня концентрація ННЗ $\overline{\Delta p} = \frac{3G_s \tau}{r_c}$ і зменшується за гіперболічною залежністю зі збільшенням s .

Отже, існування неоднорідностей у вигляді кластерної сітки з меншою шириною забороненої зони, ніж у матриці кристаліта зумовлює фотопровідність, пов'язану з поглинанням світла в ній з подальшою дифузиею створених електрон-діркових пар углиб зерен. Чим більша різниця між E_{gs} і E_g , тим тривалішого часу життя можна домогтися шляхом їхньої рекомбінації в широкощільній матриці кристаліта.

- [1] А. И. Елизаров, В. И. Иванов–Омский, А. А. Корняш, В. А. Петряков, Физ. техн. полупр. **18**, 201 (1984).
[2] Н. Н. Григорьев, В. К. Ергаков, Л. А. Караченцева, К. Р. Курбанов, А. В. Любченко, Э. А. Маловичко, Физ. техн. полупр. **25**, 1649 (1991).
[3] Н. Н. Григорьев, А. В. Любченко, Е. А. Сальков, Укр. физ. журн. **34**, 1088 (1989).
[4] И. С. Вирт, Н. Н. Григорьев, А. В. Любченко, Физ. техн. полупр. **22**, 409 (1988).

**CLUSTER INHOMOGENEITIES PHOTOCONDUCTIVITY
IN NARROW-BAND SEMICONDUCTORS**

I. S. Virt

*Ivan Franko Pedagogical Institute
24 Franko Str., Drohobych, UA-293720, Ukraine*

It is shown that under the lighting of a semiconductor ternary compound with the narrow band-gap ($h\nu \leq E_g$) the photoresponce is possible and conditioned by the electron-hole pairs generation occuring on the space cluster ingomogeneities with local $E_{gs} \leq E_g$ due to the composition x fluctuations. The space distribution of nonequilibrium charge carriers in the cristallites bulk is determined. The dependence of their concentration value on cluster sizes is also calculated.