ЖУРНАЛ ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
т. 2, № 1 (1998) с. 76–78

JOURNAL OF PHYSICAL STUDIES
v. 2, No 1 (1998) p. 76–78

ФОТОПРОВІДНІСТЬ КЛАСТЕРНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ У ВУЗЬКОЩІЛИННИХ 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 вузькощілинних напівпровідникових матеріялів з $h\nu < E_g$ можливий фотовідгук, пов'язаний з ґенерацією 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 сеґреґації 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 прозорости) спектра. Рекомбінаційні властивості просторових дефектів досліджували в працях [2–4].

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

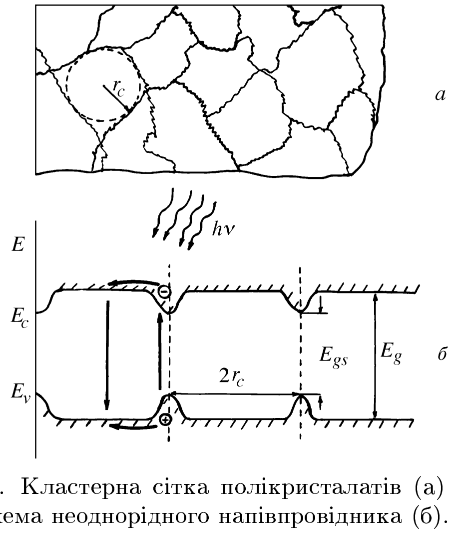

Рис. 1. Кластерна сітка полікристалатів (а) і енерґетична схема неоднорідного напівпровідника (б).

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

Рівняння неперервности для ННЗ-дірок в електронному напівпровіднику в об'ємі одного зерна має вигляд

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

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

Граничні умови

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

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

дають значення потоку ННЗ на границі і в центрі зерна.

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

$$\Delta p(r)=\Delta p_s(a)\frac{a}{\mathrm{sh}a}\frac{\mathrm{sh}z}{z}, \tag{3}$$

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

$$\Delta p_s=\frac{G_s\tau/L}{\mathrm{cth}a-\frac{1}{a}+\frac{s\tau}{L}} \tag{4}$$

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

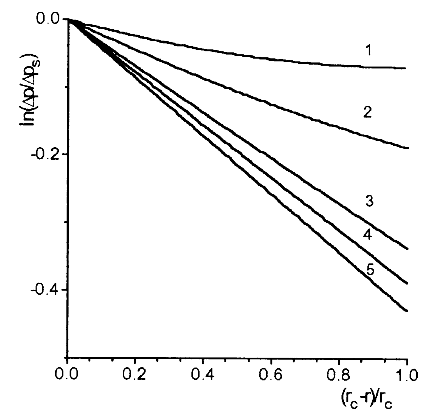

Рис. 2. Координатний розподіл концентрації ННЗ в об'ємі зерна кристаліта залежно від його розмірів r_c/L: 1 — $r_c/L = 1$; 2 — 2; 3 — 5; 4 — 10; 5 — ∞.

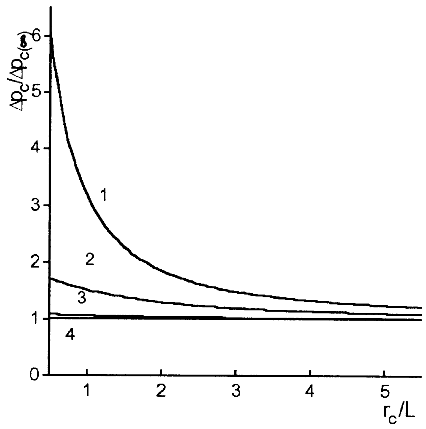

Рис. 3. Залежність поверхневої концентрації ННЗ на кластерній сітці (зведеної до Δp_s на плоскій поверхні) від розміру зерна полікристалата (r_c/L) при різному значенні відносної швидкости поверхневої рекомбінації s/v: 1 — $s/v = 0$; 2 — 1; 3 — 10; 4 — 100.

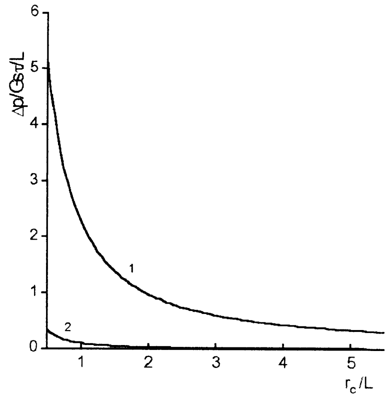

Рис. 4. Залежність середньої концентрації ННЗ в об'ємі зерна кристаліта від його розмірів при двох значеннях відносної швидкости поверхневої рекомбінації: 1 — $s/v = 1$; 2 — 100.

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

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

У цьому випадку концентрація ННЗ на поверхні

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

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^*:

$$s^* = s - v\left(1 + \frac{1}{a} - \operatorname{cth} a\right), \tag{7}$$

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

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

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

тобто враховуючи (3),

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

Залежність $\overline{\Delta p}$ від розміру зерна для двох значень швидкости поверхневої рекомбінації і при однаковому ступені ґенерації 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 кристала зумовлює фотопровідність, пов'язану з поглинанням світла в ній з подальшою дифузією 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 широкощілинній матриці кристала.

[1] А. И. Елизаров, В. И. Иванов–Омский, А. А. Корнияш, 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., Drogobych, 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.