

ИНДУЦИРОВАННЫЕ ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В PN-ПЕРЕХОДАХ НА ОСНОВЕ $PbS_{1-x}Se_x$

И.И. Засавицкий, К.В. Киселева, В.М. Сенков, А.П. Шотов

УДК 621.382

Изучено пространственное распределение токов короткого замыкания I_{sc} в диодах, изготовленных на основе $PbS_{1-x}Se_x$. Определены длины диффузии неравновесных носителей ($2 \div 5$ мкм). Обнаружены простирающиеся на несколько десятков микрометров "хвосты" I_{sc} , которые могут быть связаны с фотонным переносом носителей заряда.

В работе микронзондовым методом измерено пространственное распределение токов короткого замыкания I_{sc} на поперечных сколах pn-переходов на основе $PbS_{1-x}Se_x$ при температурах 300 и 120 К. Измерения проводились на микроанализаторе MAP-2 при ускоряющих напряжениях 15 и 25 кВ и токе зонда 5-50 нА. Диаметр электронного зонда составлял около 3 мкм.

Диоды создавались путем диффузии халькогена или металла соответственно в подложки n- и p-типа проводимости. В табл. 1 указаны состав, тип проводимости, концентрация и подвижность свободных носителей заряда при 77 К в кристаллах, из которых изготавливались диоды.

Глубины залегания pn-переходов δ_0 определены по максимумам кривых I_{sc} (рис. 1, 2) и согласуются с данными измерений термоэдс. Установлено, что при повышении температуры от азотной до комнатной в некоторых образцах (№ 1 и № 4) происходит смещение pn-перехода вглубь подложки на 10-20 мкм. Такое смещение, по-видимому, вызвано изменением с температурой концентрации свободных носителей вблизи pn-перехода. При удалении зонда от pn-перехода наблюдались экспоненциальные спады сигнала I_{sc} (рис. 2). По этим спадам определялись длины диффузии неравновесных носителей заряда L (табл. 1).

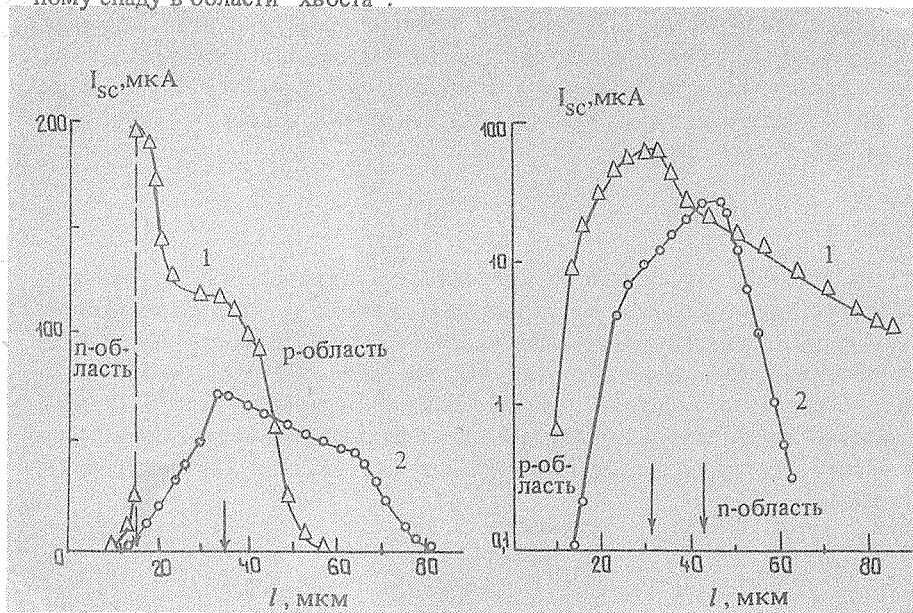
В большинстве образцов n-типа было обнаружено, что кривые пространственного распределения I_{sc} при 120 К имеют "хвосты", простирающиеся в подложку на несколько десятков микрометров. На рис. 2 показан пример такой зависимости для образца № 4 (кривая 1), которая имеет излом при расстоянии зонда от края кристалла $l = 38$ мкм. Такие "хвосты" исчезают при повышении температуры до 300 К. Эти данные позволяют предположить

Таблица 1

Параметры кристаллов и изготовленных из них диодов

№ образца	x	Тип проводимости	Концентрация носителей при 77 К, 10^{18} см^{-3}	μ при 77 К, $10^3 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$	δ_0 , мкм		L, мкм		L_p , мкм
					120 К	300 К	120 К	300 К	
1	0,40	p	7,4	6,3	18	35	4	10	—
2	0,33	n	8,0	1,5	30 ÷ 40	30 ÷ 40	2	3	—
3	0,33	n	8,0	1,5	35	35	5	2	—
4	0,33	n	8,0	1,5	35	45	5	3	17-19
5	0,33	n	5,6	4	25	—	—	—	20

наличие фотонного переноса неравновесных носителей заряда в $\text{PbS}_{1-x}\text{Se}_x$. Его можно охарактеризовать величиной L_p , определенной по экспоненциальному спаду в области "хвоста".



Р и с. 1. Пространственное распределение I_{sc} для образца № 1 при 120 (1) и 300 К (2). Стрелками указано положение рп-перехода; $V = 25$ кВ, $i_a = 20$ нА.

Р и с. 2. Пространственное распределение I_{sc} для образца № 4: 1 – $T = 120$ К, $V = 15$ кВ, $i_a = 30$ нА; 2 – $T = 300$ К, $V = 25$ кВ, $i_a = 20$ нА.

В рамках высказанного предположения наличие фотонного переноса в сильно вырожденном материале может быть связано с относительно малым коэффициентом поглощения α фотонов, имеющих энергию, близкую к ширине запрещенной зоны E_g (эффект Бурштейна). Кванты, генерированные в месте попадания электронного зонда на образец и имеющие энергию $h\nu \approx E_g$, доходят до рп-перехода, не испытывая междузонного поглощения. Вблизи рп-перехода, где вырождение мало (или снято), фотоны поглощаются с образованием электронно-дырочных пар, которые затем разделяются электрическим полем рп-перехода.

В рамках такой модели из экспериментальных данных можно оценить коэффициент поглощения α и внутренний квантовый выход люминесценции η материала.

При оценке величины α следует учитывать, что материал подложки сильно вырожден (степень вырождения при 120 К около 15). Поэтому фотоны, генерированные в месте попадания на образец электронного пучка, при движении к рп-переходу испытывают поглощение в основном на свободных носителях. В этом случае

$$I_{sc} = \beta e N_0 \exp(-\alpha d), \quad (1)$$

где N_0 — число излучательно прорекомбинировавших в единицу времени электронно-дырочных пар, генерированных зондом; d — расстояние между электронным пучком и рп-переходом; β — постоянный множитель. Оценка α с помощью соотношения (1) дает значение $500 \div 600 \text{ см}^{-1}$. Оценку внутреннего квантового выхода η можно провести, вычислив число G_0 генерированных зондом в единицу времени электронно-дырочных пар и определив из экспериментальных данных при помощи соотношения (1) величину N_0 . Согласно /1/

$$G_0 = \Theta i_a V / \epsilon,$$

где i_a — ток электронов зонда, поглощенных образцом; V — ускоряющее напряжение микроанализатора; ϵ — энергия рождения электронно-дырочных пар, которая обычно принимается равной $3E_g$; коэффициент Θ обычно близок к единице.

Для оценки считалось, что в сторону рп-перехода направлена 1/6 часть генерированных зондом фотонов. Тогда $\beta = 1/6$. Полученная таким образом величина внутреннего квантового выхода $\eta = N_0/G_0$ при 120 К оказалась равной 0,3 – 0,4.

Помимо "хвостов" I_{sc} , связанных с фотонным переносом, наблюдалось также сильное уширение кривых I_{sc} (рис. 1) при больших токах электронного зонда или при многократном прохождении пучка по поперечному сколу диода. Особенно заметен этот эффект на образцах с подложками р-типа проводимости. Такое явление наблюдалось в работе /2/ при исследовании диодов из $\text{PbS}_{1-x}\text{Se}_x$, изготовленных из материала р-типа проводимости, и объяснялось инверсией типа проводимости поверхности образца под воздействием электронного зонда.

Таким образом, проведенные измерения пространственного распределе-

ния токов короткого замыкания показали, что рп-переходы в диодах, изготовленных на основе $\text{PbS}_{1-x}\text{Se}_x$, могут смещаться на 10-20 мкм при понижении температуры от 300 до 120 К. Величины длины диффузии неравновесных носителей заряда в исследованном материале оказались равными $2 \div 5$ мкм. Полученные данные позволяют сделать предположение о наличии фотонного переноса в сильно вырожденном $\text{PbS}_{1-x}\text{Se}_x$ при 120 К. Оцененные из этой модели коэффициент поглощения фотонов с энергией $h\nu \approx E_g$ и внутренний квантовый выход люминесценции имеют значения соответственно $500 \div 600 \text{ см}^{-1}$ и $0,3 - 0,4$.

Поступила в редакцию 2 ноября 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селезнева М. А., Дидман С. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 11, 33 (1974).
2. Preier H. M. et al. Proc. of SPIE "Tunable Diode Laser Development and Spectroscopy Applications", 438, 10 (1983).