

РЕЛАКСАЦИЯ ФОТОПРОВОДИМОСТИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ СОЕДИНЕНИЯ In_6S_7

И.М. ИСМАЙЛОВ, В.Т. АББАСОВ

Бакинский Государственный Университет им. М.Э. Расул-заде,
370148, г. Баку, ул. акад. З. Халилов, 23

В монокристаллических образцах In_6S_7 были изучены кривые нарастания фототока от времени при низких температурах. Впервые было показано, что кривые нарастания фототока при $T=77$ К имеют двойной S-образный вид, однако он отсутствует при $T=170$ К. Такое поведение кривых релаксации объясняется электронными переходами между двумя уровнями прилипания и уровнями рекомбинации с валентной зоной в In_6S_7 . Определены основные параметры уровня прилипания.

В монокристаллических образцах In_6S_7 ($p=10^{19} \div 10^{20} \text{ м}^{-3}$, $\mu_p=(5 \div 10) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В с}$) измерялась зависимость фототока от времени при комнатной и азотной температурах. При комнатной температуре через некоторое время после включения освещения наблюдалось насыщение, а при азотной температуре - кривые нарастания, в зависимости от условий эксперимента, имели двойной S-образный вид (рис.1). Для проявления S-образности вида кривых нарастания, необходимо минимум два типа уровней: мелкие, играющие роль уровня прилипания и глубокие - рекомбинационные [1-3].

$$\frac{dp_t}{dt} = R_t(N_t - p_t)p - \gamma p_t \quad (2)$$

где p, p_t - соответственно концентрация свободных и захваченных дырок; N_t - концентрация ловушек; R_t, R_c - коэффициенты рекомбинации соответствующих переходов; I, γ - скорость светового и вероятность теплового возбуждения.

Анализируя (1)-(2) для различных промежутков времени, можно получить для начального участка фототока S-образную кривую, в общем случае имеющую плато, которое начинается в момент времени

$$\tau_1 = 1/R_t N_t \quad (3)$$

и заканчивается при

$$\tau_2 = \frac{N_t}{I} - \frac{\gamma}{IR_t} \quad (4)$$

С момента времени $\tau_2 = \frac{1}{I}(N_t - \gamma/R_t)$ фототок снова растет.

Неравенство $\tau_1 \ll \tau_2$ является необходимым условием существования плато. Это явление, которое наблюдается в монокристаллических образцах In_6S_7 при низких температурах [5], может быть использовано для получения сведений захвата уровня прилипания [4]. При низких температурах если $\gamma/R_t \ll N_t$, то $\tau_2 = N_t/I$. Поскольку высота плато равна $\Delta p = I_0 / e\mu_p \Delta S E$, где I_0 - фототок, μ_p - подвижность дырок, ΔS - сечение образца, E - напряженность электрического поля, то для вероятности захвата дырок уровнем прилипания имеем:

$$R_t = 1/\tau_2 \Delta p \quad (5)$$

Таким образом, из выражений (3)-(5) можно вычислить параметры уровня прилипания в In_6S_7 , которые не всегда успешно вычисляются из термостимулированного тока (ТСТ).

В работе [5] сообщено, что кривые нарастания фототока в In_6S_7 при $T=77$ К имеют единственное плато и на кривой ТСТ один пик [4]. Однако оказалось, что вид кривых нарастания зависит от режима охлаждения кристал-

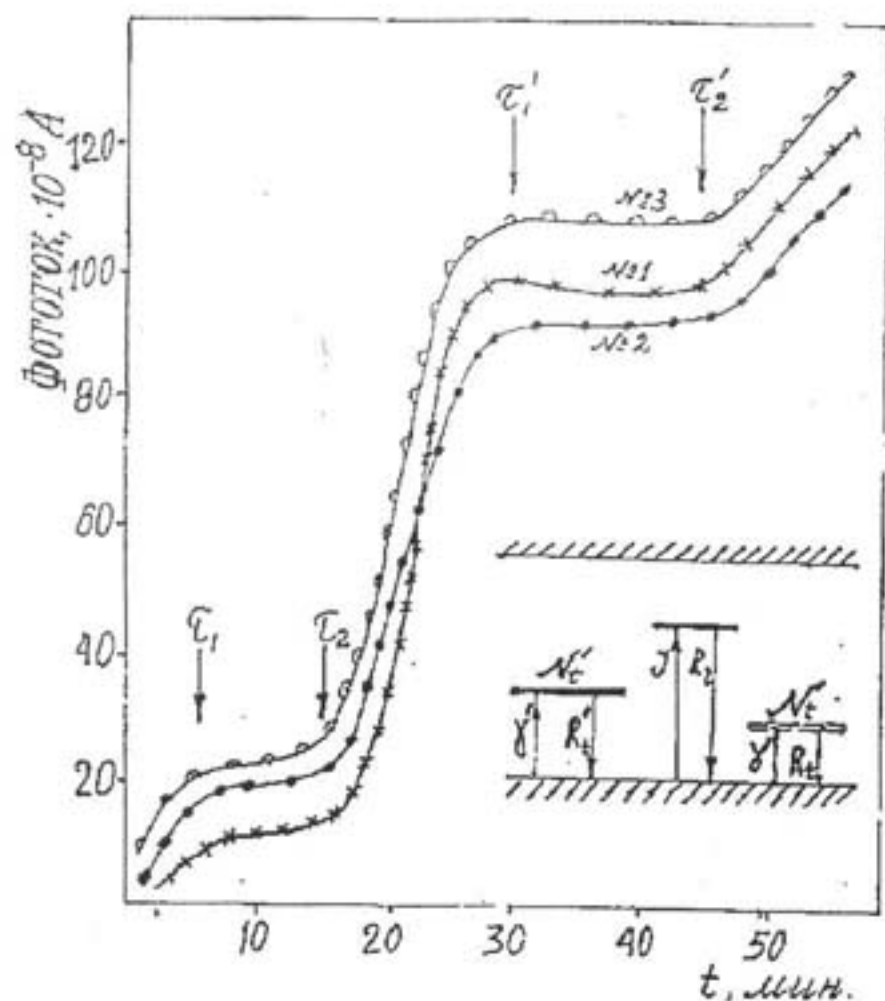


Рис. 1. Временная зависимость фототока в режиме Б для In_6S_7 .

В запрещенной зоне In_6S_7 имеется и уровень прилипания [4] и рекомбинационные уровни. Написав уравнения для возможных переходов в этой системе (рис. 1) получаем:

$$\frac{dp}{dt} = I + \gamma p_t - R_t(N_t - p_t)p - R_c(p_t + p)p \quad (1)$$

ла. С этой целью было использовано два режима охлаждения:

А) - образец непрерывно освещается при медленном охлаждении от 300 К до 77 К.

Б) - охлаждение происходит в темноте и достаточно длительное время (более 50 мин.) засветка только при 77 К.

На рис. 1 представлена зависимость фототока от времени в режиме Б. Из рис. 1 видно, что кривые нарастания фототока имеют двойной S-образный вид (первое плато отсутствует в режиме А).

С целью понимания этого, нами были сняты кривые ТСТ (термостимулированный ток) в указанных режимах. На рис. 2 приведены кривые ТСТ In_6S_7 в режиме А (кривая а) и в режиме Б (кривая б). Как видно из рис. 2, проявляются два пика на кривой ТСТ при $T_{M1}=93$ К и $T_{M2}=170$ К, снятых в режиме Б. Энергия уровня прилипания, соответствующая низкотемпературному пику (T_{M1}) была определена формулой $E_c = kT_{M1}^2 / T_2 - T_{M1}$ и составляла $E_c \approx 0,1$ эВ. Глубина залегания E'_c , с учетом температурной зависимости подвижности дырок и эффективной плотности валентной зоны, была определена из наклонов зависимостей для начального участка высокотемпературного пика ТСТ-I от $1000/T$ ($E'_c = E_c + 0,2$ эВ) [4]. Как нам кажется, причиной возникновения двойной S-образности кривых релаксации фототока является присутствие этих уровней прилипания в In_6S_7 , первый уровень из которых образуется, вероятно, в результате фотохимической реакции. Кроме того, эти уровни самостоятельно участвуют в электронных переходах, приводящих к возникновению

образования двойного S-образного вида кривых нарастания фотопроводимости.

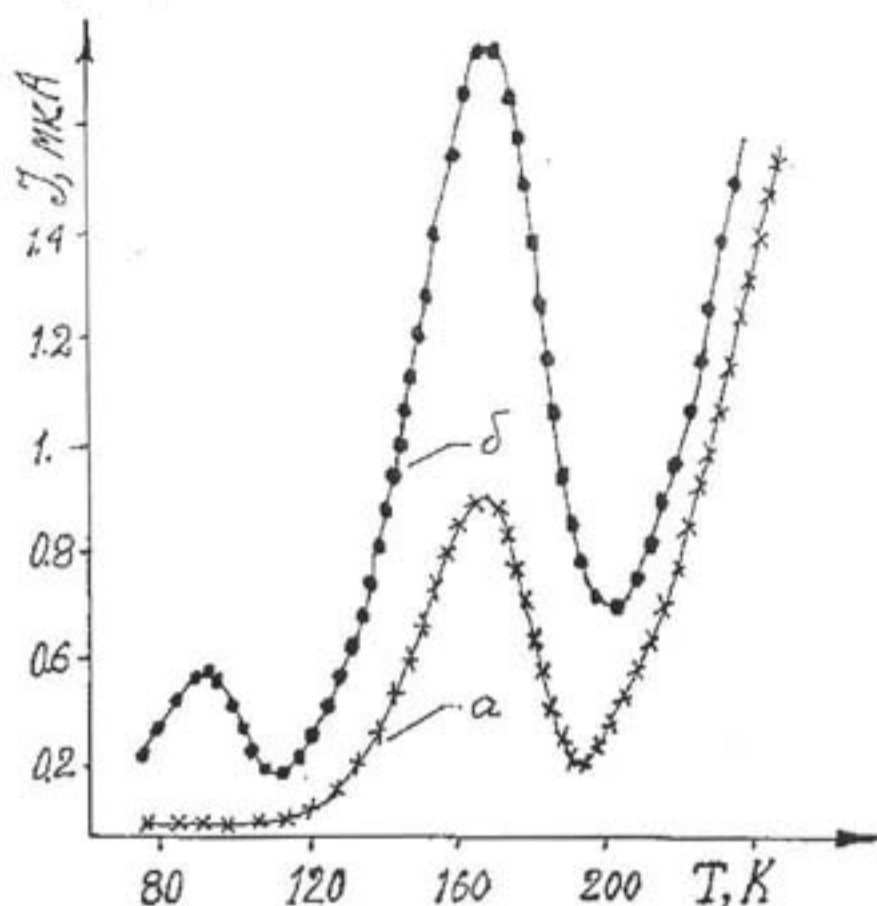


Рис. 2. Термостимулированный ток (ТСТ) в режиме А (кривая а) и в режиме Б (кривая б).

Из выражений (3)-(5) можно вычислить вероятность захвата ($R_c = 1/\tau_2 \Delta p$), сечение захвата ($S = R_c/v_T$) и концентрацию ($N_c = 1/R_c \tau_1$) уровней прилипания. Полученные значения для трех образцов In_6S_7 приведены в таблице.

Таблица.

№ обр.	$I_p \cdot 10^{-8}$ А	τ_1 (с)	τ_2 (с)	Δp (M^{-3})	R_c (M^2/c)	S (M^2)	N_c (M^{-3})
1	10	300	900	$3 \cdot 10^{17}$	$4,5 \cdot 10^{-19}$	$4,5 \cdot 10^{-24}$	$0,75 \cdot 10^{18}$
2	16	300	900	$4,5 \cdot 10^{17}$	$2,5 \cdot 10^{-19}$	$2,5 \cdot 10^{-24}$	$1,3 \cdot 10^{18}$
3	20	300	900	$5 \cdot 10^{17}$	$2,2 \cdot 10^{-19}$	$2,2 \cdot 10^{-24}$	$1,5 \cdot 10^{18}$
№ обр.							
1	90	1800	2700	$2,25 \cdot 10^{18}$	$1,6 \cdot 10^{-22}$	$1,6 \cdot 10^{-26}$	$0,4 \cdot 10^{19}$
2	100	1800	2700	$4,5 \cdot 10^{18}$	$0,83 \cdot 10^{-22}$	$0,83 \cdot 10^{-26}$	$0,66 \cdot 10^{19}$
3	106	1800	2700	$4,6 \cdot 10^{18}$	$0,8 \cdot 10^{-22}$	$0,8 \cdot 10^{-26}$	$0,7 \cdot 10^{19}$

Как видно из таблицы, порядок величин сечения захвата и концентрации, уровней прилипания ($E_c \approx 0,1$ эВ, $E'_c \approx 0,2$ эВ) одинаков для различных образцов. Такое маленькое значение захвата говорит в пользу того, что эти центры прилипания в монокристаллических образцах In_6S_7 являются отталкивающими.

Отсутствие таких закономерностей на кривой нарастания фототока при 300 К объясняется тем, что при температурах выше 170 К уровни прилипания переходят с роли уровня захвата в роль уровня рекомбинации [4].

[1] С.М. Рывкин. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Изд-во физ.-мат. лит., М., 1963.
 [2] Р. Бьюб. Фотопроводимость твердых тел. ИЛ., М., 1962.
 [3] К.В. Вöer, Н. Vogel. Ann.d.Phys., 17, 10, 1955.
 [4] В.И. Тагиров, И.М. Исмаилов, М.С. Мурадова.

Извест. АН Азерб. ССР, сер. физ.-мат. наук, 1979, №1, с.65.

[5] И.М. Исмаилов, З.С. Ахундов, В.Т. Аббасов. II Всесоюзная Науч. Конферен. "Фотоэлектрические явления в полупроводниках", 23-25 октября, 182, 1991.

İ.M. İsmayılov, V.T. Abbasov

In_6S_7 MONOKRİSTALLİK BİRLƏŞMƏSİNDƏ FOTOKEÇİRİCİLİYİN RELAKSASIYASI

Alçaq temperaturlarda In_6S_7 monokristallik nümunələrində fotocərəyanın zamandan asılı olaraq qalxma əyriləri öyrənilmişdir. Birinci dəfə göstərilmişdir ki, $T=77$ K-də qalxma əyriləri ikiqat S -ə bənzər şəkil alır. Lakin S -ə bənzərlik əyriləri $T=170$ K olduqda yox olaraq, adi relaksasiya əyrilərinə çevrilir. Qalxma relaksasiya əyrilərinin S -ə bənzərliyi In_6S_7 -nin valent zolağı ilə iki yarışma və bir rekombinasiya səviyyələri arasında baş verən elektron keçidləri vasitəsilə izah olunur. Yarışma mərkəzlərinin əsas parametrləri təyin edilmişdir.

I.M. Ismailov, V.T. Abbasov

PHOTOCONDUCTIVITY RELAXATION IN In_6S_7 SINGLE CRYSTALS

The curves of photocurrent increase versus the time at low temperatures have been investigated in In_6S_7 monocrystalline samples. It has been shown for the first time that the curves of photocurrent increase at $T=77$ K have a binary S -like form. However, it is lacking at $T=170$ K. Such a behaviour of relaxation curves is due to electron transitions between two trapping levels and the recombination levels with the valence band in In_6S_7 . The main parameters of the trapping levels are determined.

Дата поступления: 19.05.97

Редактор: В.А. Алиев