

Коэффициент оптического поглощения в монокристаллах PbGa_2Se_4

© Б.Г. Тагиев, Н.Н. Мусаева, Р.Б. Джаббаров

Институт физики Академии наук Азербайджана,
370143 Баку, Азербайджан

(Получена 7 октября 1997 г. Принята к печати 1 июля 1998 г.)

Представлены результаты оптических измерений в монокристалле PbGa_2Se_4 . Определен характер оптических переходов в интервале энергии фотонов $2.24 \div 2.46$ эВ в области температур $77 \div 300$ К. Показано, что в интервале энергии фотонов $2.28 \div 2.35$ эВ и $2.35 \div 2.46$ эВ имеют место не прямые и прямые оптические переходы, которым соответствуют $E_{gi} = 2.228$ эВ и $E_{gd} = 2.35$ эВ при 300 К. Температурные коэффициенты E_{gi} и E_{gd} соответственно равны $-0.6 \cdot 10^{-4}$ и $-4.75 \cdot 10^{-4}$ эВ/К.

Введение

Соединение PbGa_2Se_4 впервые синтезировано авторами [1,2] и они установили, что этот полупроводник имеет орторомбическую структуру с параметрами $a = 10.64$ Å, $b = 10.94$ Å, $c = 6.36$ Å и пространственной группой $Bbmm$. PbGa_2Se_4 является фоточувствительным в области $0.4 \div 1.2$ мкм с кратностью $10^3 \div 10^4$ и высокоомным полупроводником с удельным сопротивлением около 10^{11} Ом·см при 300 К.

Выяснение механизмов электронных явлений в монокристаллах PbGa_2Se_4 требует исследования электрических и оптических свойств в широком интервале температур и энергии фотонов. Насколько нам известно, оптические свойства монокристаллов PbGa_2Se_4 не изучены. В настоящей работе представлены результаты исследований коэффициента оптического поглощения α в монокристаллах PbGa_2Se_4 .

1. Выращивание монокристаллов PbGa_2Se_4

Соединение PbGa_2Se_4 синтезировано сплавлением в вакуированных кварцевых ампулах (10^{-5} мм рт.ст.) компонентов, взятых в стехиометрических соотношениях. Монокристаллы PbGa_2Se_4 размерами $1 \times 1 \times 2$ см³ выращены методом Бриджмена–Стокбаргера. Это соединение обладает цепочечно-слоистой структурой. Его цвет меняется от желто-оранжевого до темно-красного в зависимости от толщины.

2. Методика измерений

Спектральная зависимость $\alpha(h\nu)$ образцов монокристаллов PbGa_2Se_4 измерена в интервале температур $77 \div 300$ К и энергии фотонов $2.24 \div 2.46$ эВ. Измерения проводились на установке, собранной на базе монохроматора МДР-12. Были исследованы различные монокристаллические образцы толщиной $35 \div 200$ мкм.

3. Результаты исследований и их обсуждение

Результаты измерений $\alpha(h\nu)$ для образца толщиной 35 мкм при восьми значениях температуры представлены на рис. 1. Подобные результаты получены для других 5 образцов. Как видно из рисунка, зависимость $\alpha(h\nu)$ смешается в коротковолновую область с понижением температуры от 300 до 86 К. При этом $\alpha(h\nu)$ в интервале энергии фотонов $2.24 \div 2.46$ эВ изменяется от 1000 до 2500 см⁻¹. Зависимость $\alpha(h\nu)$ состоит из трех участков: 1 — в интервале энергии фотонов $2.24 \div 2.28$ эВ α почти не зависит от $h\nu$ или имеет место относительно слабый ее рост; 2 — заметный рост α в интервале $2.28 \div 2.35$ эВ; 3 — резкий рост α в интервале энергии фотонов $2.35 \div 2.46$ эВ.

Полученные результаты анализировались в соответствии с теорией не прямых и прямых оптических переходов

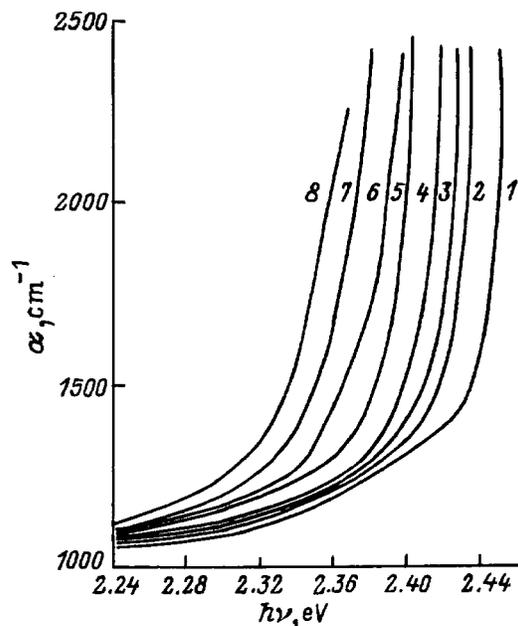


Рис. 1. Спектральная зависимость коэффициента оптического поглощения в монокристалле PbGa_2Se_4 при температурах T , К: 1 — 86, 2 — 112, 3 — 134, 4 — 157, 5 — 214, 6 — 258, 7 — 271, 8 — 294.

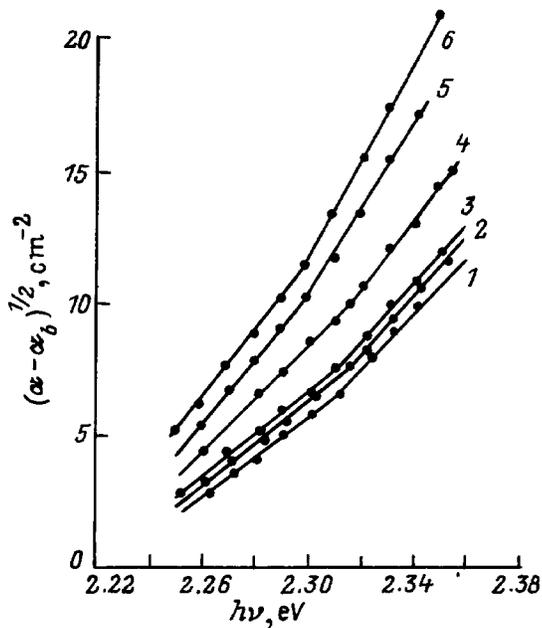


Рис. 2. Зависимость $(\alpha - \alpha_b)^{1/2} \sim h\nu$ при температурах T, K : 1 — 86, 2 — 112, 3 — 134, 4 — 157, 5 — 214, 6 — 258, 7 — 271, 8 — 294.

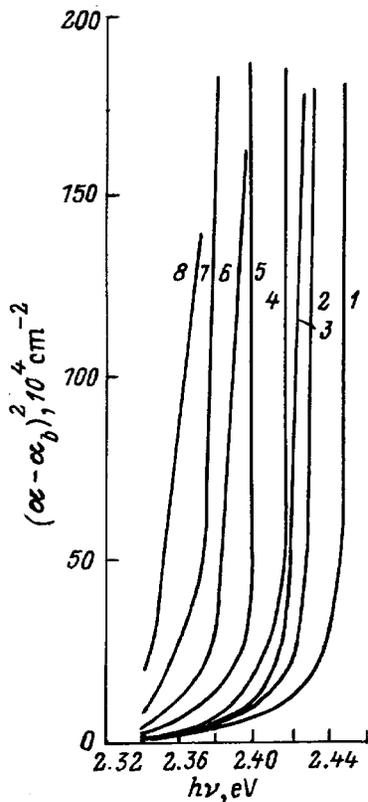


Рис. 3. Зависимость $(\alpha - \alpha_b)^2 \sim h\nu$ при температурах T, K : 1 — 86, 2 — 112, 3 — 134, 4 — 157, 5 — 214, 6 — 258, 7 — 271, 8 — 294.

дов [3–6]. $\alpha(h\nu)$ можно представить в следующем виде:

$$\alpha = \alpha_i + \alpha_d + \alpha_b, \quad (1)$$

где α_i , α_d и α_b — коэффициенты оптического поглощения при не прямых, прямых переходах и при фоновом поглощении соответственно. Под фоновым поглощением имеется в виду поглощение, обусловленное дефектами, рассеяние и др. [3–6].

При анализе зависимости $\alpha(h\nu)$ ее независимая или слабо зависящая от энергии фотонов часть α_b экстраполируется в сторону высоких энергий фотонов и вычитывается из общего поглощения, т.е. $\alpha - \alpha_b$. Принимая во внимание, что в малой области изменения энергии фотонов зависимости $(\alpha - \alpha_b)^{1/2}$ и $[(\alpha - \alpha_b)^{1/2}h\nu]$ от $h\nu$ почти одинаковы, экспериментальные данные представлены в координатах $(\alpha - \alpha_b)^{1/2} \sim h\nu$ (рис. 2). На этой зависимости выделяются два прямолинейных участка с различными наклонами, величины которых с понижением температуры уменьшаются. Эти участки обусловлены поглощением и испусканием фононов, и в этом случае коэффициент оптического поглощения определяется по формуле

$$\alpha(h\nu) = A \left(\frac{(h\nu - E_{gi} + k)^2}{e^{\theta/T} - 1} + \frac{(h\nu - E_{gi} - k)^2}{1 - e^{\theta/T}} \right), \quad (2)$$

где E_{gi} — ширина запрещенной зоны при не прямых переходах, k — энергия фонона, θ — характеристическая температура, T — абсолютная температура, A — постоянная, слабо зависящая от $h\nu$ и T . Если учесть, что первое слагаемое связано с поглощением (α_a), а второе с испусканием фононов (α_e), тогда наклоны прямых

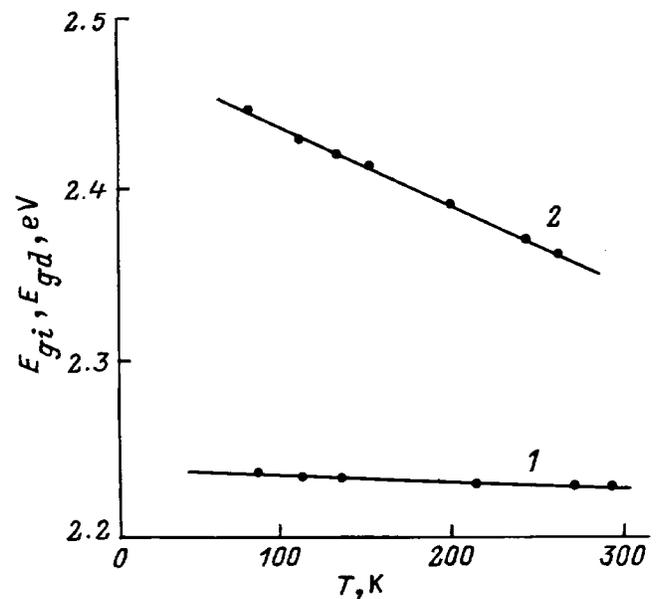


Рис. 4. Температурная зависимость ширины запрещенной зоны для прямого и непрямого перехода: 1 — E_{gd} , 2 — E_{gi} .

$\alpha_a^{1/2} = f(h\nu)$ и $\alpha_e^{1/2} = f(h\nu)$ можно определить следующими выражениями:

$$K_a = \left(\frac{A}{e^{\theta/T} - 1} \right)^{1/2}, \quad K_e = \left(\frac{A}{1 - e^{\theta/T}} \right)^{1/2}. \quad (3)$$

Из (3) легко получить следующее выражение:

$$\frac{K_e^2}{K_a^2} = \exp \frac{\theta}{T}. \quad (4)$$

Используя эти формулы, на основе экспериментальных данных при разных температурах определены величины E_{gi} , θ , k , которые приведены в таблице.

T, K	$E_{gi}, \text{эВ}$	$K_e, \text{см}^{-1/2}\text{эВ}^{-1}$	$K_a, \text{см}^{-1/2}\text{эВ}^{-1}$	θ, K	$k, \text{эВ}$
86	2.235	105	70	69	0.0060
112	2.234	110	75	86	0.0074
134	2.233	110	80	86	0.0073
157	2.233	110	80	100	0.0086
214	2.231	145	100	159	0.0136
271	2.229	160	125	133	0.0115
294	2.228	185	159	123	0.0105

При больших энергиях ($h\nu \geq 2.35 \text{эВ}$) имеет место резкий рост коэффициента поглощения. Для определения характера оптических переходов в монокристалле $PbGa_2Se_4$ эта часть энергий фотонов анализирована согласно работе [7]. Установлено, что экспериментальные значения коэффициента поглощения хорошо укладываются на прямую в координатах $(\alpha - \alpha_b)^2 \sim f(h\nu)$ (рис. 3). Линейная зависимость $(\alpha - \alpha_b)^2$ от $h\nu$ свидетельствует о том, что край собственного поглощения в монокристаллах $PbGa_2Se_4$ формируется прямыми разрешенными оптическими переходами. При различных температурах ширина запрещенной зоны определена экстраполяцией прямых $(\alpha - \alpha_b)^2 = f(h\nu)$ к значению $(\alpha - \alpha_b) = 0$ (рис. 4).

Температурные зависимости E_{gi} и E_{gd} представлены на рис. 4, из которых для температурных коэффициентов этих величин соответственно получены значения $-0.6 \cdot 10^{-4}$ и $-4.75 \cdot 10^{-4} \text{эВ/К}$.

Список литературы

- [1] R. Eholie, I.K. Kom, J. Flahaut. C.R. Acad. Sci. Paris. Ser. C, **268**, 700 (1969).
- [2] R. Eholie, O. Gorochoy, M. Guittard, A. Mazurier, J. Flahaut. Bull. Soc. Chim. Fr., 747 (1971).
- [3] C. Jullien, M. Eddrief, K. Kambas, M. Balkanski. Thin. Sol. Films. **137**, 27 (1986).
- [4] E. Cuerrero, M. Quintero, J.C. Wolley, J. Phys.: Condens. Matter, **2**, 6119 (1990).
- [5] A.M. Elkorashy. Phys. St. Sol. (b), **135**, 707 (1986).
- [6] S. Saha, U. Pal et al. Phys. St. Sol. (a), **114**, 721 (1989).
- [7] Н.С. Панков. *Оптические процессы в полупроводниках* (М., Мир, 1973).

Редактор В.В. Чалдышев

Coefficient of optical absorption in $PbGa_2Se_4$ single crystals

B.G. Tagiev, N.N. Musaeva, R.B. Djabbarov

Institute of Physics,
Azerbaijan Academy of Sciences,
370143 Baku, Azerbaijan