

## ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 621.382

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА В  $\text{ZnAs}_2$ 

В. А. Морозова, С. Ф. Маренкин, О. Г. Кошелев, А. Г. Миронов

(кафедра физики полупроводников)

В области прозрачности монокристаллов  $\text{ZnAs}_2$  обнаружены зависимости коэффициента пропускания от поляризации света, энергии фотонов и толщины образца. Показано, что они возникают из-за особенностей распространения света в  $\text{ZnAs}_2$ , обусловленных неоднородностями, чувствительными к поляризации света.

Диарсенид цинка — сравнительно мало исследованное полупроводниковое соединение группы  $A^2B^5$ , кристаллизующееся в моноклинной сингонии. Особенностью структуры  $\text{ZnAs}_2$  является наличие, наряду со связями Zn–As, связей между атомами As, которые образуют зигзагообразные цепочечные структуры, вытянутые вдоль оси  $c$ , что и обуславливает значительную анизотропию оптических и электрических свойств. В последнее время в технологии выращивания монокристаллов  $\text{ZnAs}_2$  был достигнут значительный прогресс [1] и коэффициент поглощения  $\alpha$  в примесной области был снижен до  $0,1 \text{ см}^{-1}$  [2]. Совместное исследование спектров оптического пропускания и фотопроводимости этих кристаллов позволило установить, что для поляризации  $\mathbf{E} \parallel \mathbf{c}$  ( $\mathbf{E}$  — вектор напряженности электрического поля волны) собственное поглощение определяется непрямими разрешенными, а для  $\mathbf{E} \perp \mathbf{c}$  — прямыми запрещенными переходами с минимальными межзонными промежутками  $\varepsilon_g^i(\mathbf{E} \parallel \mathbf{c}) \cong 0,89 \text{ эВ}$  и  $\varepsilon_g^d(\mathbf{E} \perp \mathbf{c}) \cong 0,97 \text{ эВ}$  при 300 К [2].

В области энергий фотонов  $h\nu = 0,5\text{--}0,86 \text{ эВ}$ , в которой кристаллы  $\text{ZnAs}_2$  прозрачны ( $\alpha d \ll 1$ , где  $d$  — толщина образца), коэффициент пропускания  $T$  должен быть постоянной величиной. Мы же обнаружили, что величина  $T$  зависит от поляризации света, энергии фотонов и толщины образца. Данная работа посвящена исследованию наблюдаемых зависимостей и выяснению причин их появления.

Измерения спектров  $T(h\nu)$  проводились при 300 К в области  $h\nu = 0,5\text{--}0,87 \text{ эВ}$ . Пучок монохроматического света от спектрографа ИКС-21 фокусировался на образец. Свет, прошедший через поляризатор и образец, фокусировался на фотосопротивление из PbS. Ось  $c$  была параллельна плоскости пластины. Использовалась стандартная электрическая схема регистрации.

Из известной формулы  $T = \frac{(1-R)^2 \exp(-\alpha d)}{1-R^2 \exp(-2\alpha d)}$ , где  $R$  — коэффициент отражения, видно, что при  $\alpha d \ll 1$  величина  $T = (1-R)/(1+R)$  зависит только от  $R$ . Поэтому для исследуемых образцов с  $d \leq 0,3 \text{ см}$  ( $\alpha \leq 0,1 \text{ см}^{-1}$ ) в интервале  $h\nu = 0,50 \div 0,86 \text{ эВ}$  должна наблюдаться область прозрачности, где  $T = \text{const}$ .

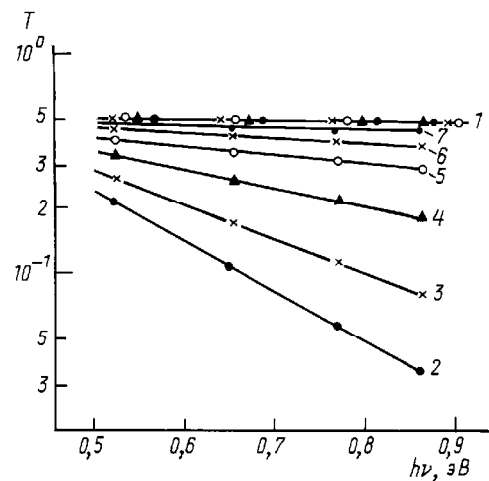


Рис. 1. Спектры оптического пропускания для  $\mathbf{E} \perp \mathbf{c}$  (1) при  $d = 0,02 \div 0,29 \text{ см}$  и  $\mathbf{E} \parallel \mathbf{c}$  (2–7):  $d = 0,29$  (2), 0,2 (3), 0,11 (4), 0,06 (5), 0,03 (6) и 0,02 см (7)

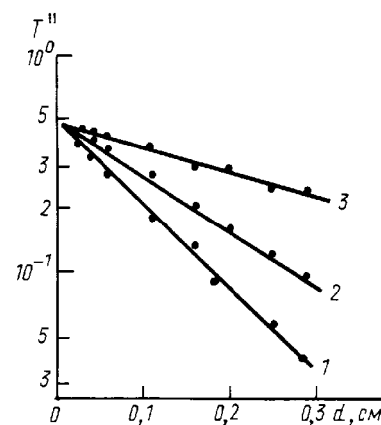


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропускания для  $\mathbf{E} \parallel \mathbf{c}$  от толщины образца при  $h\nu = 0,86$  (1); 0,68 (2) и 0,5 эВ (3)

На рис. 1 для поляризаций  $\mathbf{E} \parallel \mathbf{c}$  и  $\mathbf{E} \perp \mathbf{c}$  представлены спектры  $T^-(h\nu)$  (кривая 1) и  $T^{\parallel}(h\nu)$  (2–7) для образца, толщина которого уменьшалась от 0,29 до 0,02 см. Проведенные нами исследования показали, что  $T^-$  не зависит от  $d$  и  $h\nu$  и составляет 0,5 (все точки ложатся на кривую 1), т.е. образец, как и ожидалось, прозрачен. В случае же  $\mathbf{E} \parallel \mathbf{c}$  области прозрачности для образцов с  $d > 0,02 \text{ см}$  не наблюдается. Из

рис. 1, 2 видно, что  $T^{\parallel}$  экспоненциально зависит как от  $h\nu$  (кривые 2–6 на рис. 1), так и от  $d$ . На рис. 2 представлены зависимости  $T^{\parallel}$  от  $d$  для  $h\nu = 0,86$  (кривая 1); 0,68 (2) и 0,5 эВ (3). Видно, что с уменьшением  $h\nu$  и  $d$  величина  $T^{\parallel}$  возрастает, а показатель экспоненты уменьшается. При  $d \leq 0,02$  см величина  $T^{\parallel}$  перестает зависеть от  $h\nu$  и  $d$ , т.е. наблюдается область прозрачности; при этом  $T^{\parallel} = 0,95T^{-}$ . Разница в 5% между  $T^{\parallel}$  и  $T^{-}$  обусловлена анизотропией  $R$ .

Можно предположить, что в случае  $\mathbf{E} \parallel \mathbf{c}$  для образцов с  $d > 0,02$  см только часть светового пучка доходит до фотоспротивления (ФС). В частности, кажущееся уменьшение прозрачности связано с увеличением апертуры светового пучка в плоскости ФС до величины, превышающей размеры приемной площадки ФС. Но тогда величина  $T^{\parallel}$  должна зависеть как от размеров приемной площадки ФС, так и от расположения ФС относительно образца. Действительно, проведенные нами исследования показали, что величина  $T^{\parallel}$ , измеряемая в одних и тех же условиях с помощью ФС<sub>1</sub> ( $1 \times 1$  см) и ФС<sub>2</sub> ( $0,2 \times 0,2$  см), всегда была большей для ФС<sub>1</sub>. Результаты, представленные на рис. 1, 2, были получены с ФС<sub>1</sub>. Наблюдалось также заметное уменьшение величины  $T^{\parallel}$  по мере удаления ФС от тыльной поверхности образца, при этом зависимость  $T^{\parallel}$  от  $h\nu$  практически не изменялась. Например, изменение расстояния от 0,3 до 3 см между образцом ( $d = 0,29$  см) и ФС<sub>1</sub> приводит к уменьшению  $T^{\parallel}$  в 1,3 раза. Величина же  $T^{-} \cong 0,5$  во всех случаях оставалась постоянной. Интересно отметить, что аналогичные аномалии в спектрах  $T^{\parallel}(h\nu)$  мы обнаружили и для кристаллов CdP<sub>4</sub>, которые также относятся к моноклинной сингонии.

Отметим, что особенности в поведении спектров  $T^{\parallel}(h\nu)$  в ZnAs<sub>2</sub> наблюдались и в работе [3], где в области 0,6–0,86 эВ отношение  $T^{-}/T^{\parallel}$  изменялось от 1,4 до 1,7 ( $d = 0,05$  см). Объяснения этой зависимости предложено не было. Авторы же [4] связали наблюдавшееся ими различие между  $T^{-}$  и  $T^{\parallel}$  с примесным поглощением и получили  $\alpha^{\parallel}/\alpha^{-} \cong 8$ . Заметим, что только учет описанных выше особенностей

в распространении света позволяет определить для ZnAs<sub>2</sub> истинные величины  $\alpha^{\parallel}$ .

Известно, что в среде с градиентом показателя преломления возможно отклонение световых лучей от прямолинейного направления [5]. В работе [6] были оценены градиенты упругих напряжений в окрестности дислокаций, которые могут вызвать заметное искривление световых лучей. Для пропускания в этом случае должна наблюдаться зависимость от поляризации света, энергии фотонов и толщины образца. Однако экспериментальное подтверждение эффекта до настоящего времени удалось получить лишь на кристаллах CdS, специально подвергнутых пластической деформации для создания полос скольжения [7]. Наблюдаемые нами особенности спектров  $T^{\parallel}(h\nu)$  также могут быть связаны с изменением направления световых лучей, которое вызвано пространственными неоднородностями показателя преломления, чувствительными к поляризации света и обусловленными упругими напряжениями. Эти напряжения могут быть вызваны неоднородностями, например дислокациями, скоплениями примесей, протяженных дефектов. По-видимому, особенности кристаллической структуры ZnAs<sub>2</sub>, CdP<sub>4</sub> обеспечивают вполне заметную величину описанного выше эффекта и делают анизотропные соединения A<sup>2</sup>B<sup>5</sup> удобными для исследования природы этого эффекта.

#### Литература

1. Маренкин С.Ф., Раухман А.М., Пищиков Д.И., Лазарев В.Б. // Изв. РАН, Неорг. матер. 1992. **28**, № 9. С. 1813.
2. Морозова В.А., Семенова Т.В., Маренкин С.Ф. и др. // Там же. 1997. **33**, № 8. С. 918.
3. Turner W.J., Fischler A.S., Reese W.E. // Phys. Rev. 1961. **121**, No. 3. P. 759.
4. Sobolev V.V., Syrbu N.N. // Phys. Stat. Solidi. 1972. **51**, No. 2. P. 863.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М., 1982.
6. Багдасаров Х.С., Дедух Л.М., Жижейко И.А. и др. // Кристаллография. 1970. **15**, № 2. С. 334.
7. Классен Н.В., Красильникова Л.Л., Табеев Э.Ф. // ФТТ. 1977. **19**, № 2. С. 521.

Поступила в редакцию  
05.06.98