

ОБНАРУЖЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО ДИХРОИЗМА В МОНОКРИСТАЛЛАХ $CuInTe_2$

Г.А. Медведкин, В.Д. Прочухан, Ю.В. Рудь,
М.А. Таиров

Тройные медь-содержащие полупроводники I-III-V₂ в последние 5-7 лет нашли практическое приложение [1, 2]. Поэтому возникает необходимость глубокого изучения фундаментальных свойств данных материалов.

Кристаллическая решетка тройных соединений типа $CuInVI_2$ ($VI = S, Se, Te$), кристаллизующихся в структуре халькопирита (142d), практически не имеет тетрагонального сжатия, свойственного большинству тройных аналогов типа I-III-VI₂ и II-V-V₂ [3]. В связи с этим можно было ожидать, что кристаллы $CuInTe_2$ не будут обладать какой-либо заметной оптической анизотропией. Действительно, многочисленные исследования оптических свойств кристаллов $CuInTe_2$ в области края фундаментального поглощения указывают на отсутствие оптической анизотропии [4-8]. Однако в кристаллах-аналогах $CuInSe_2$ оптическая и фотоэлектрическая анизотропия была экспериментально обнаружена [9, 10]. В настоящей работе сообщается о первом наблюдении оптического линейного дихроизма в монокристаллах $CuInTe_2$.

Исследовались монокристаллы p-типа проводимости, выращенные методом направленной кристаллизации из близкого к стехиометрии состава. Из слитков вырезались плоскопараллельные пластинки трех ориентаций (100), (010) и (001). Оптическое пропускание и отражение измеряли на кристаллах с толщинами от 500 до 10 мкм на спектральной установке с использованием монохроматора *SPM-2* в режиме синхронного детектирования сигнала, поступающего от *Ge* или *PbS* - фотоприемника. Спектральное разрешение установки было не хуже 2 мэВ, степень линейной поляризации в исследованном диапазоне энергий фотонов была постоянной и составляла $\approx 100\%$, свет падал на образец вдоль нормали к освещаемой поверхности. Вращение образцов, закрепленных в специальном юстировочном устройстве, или вращение оси пропускания поляроида давали идентичные результаты.

На рис. 1 представлены спектральные зависимости оптического линейного дихроизма пропускания:

$$\mathcal{P}_T = \left(\frac{T_{\parallel} - T_{\perp}}{T_{\parallel} + T_{\perp}} \right) \cdot 100\%,$$

измеренные в диапазоне температур 370-77 К. T_{\parallel} отвечает поляризации $\vec{E} \parallel [100]$, а $T_{\perp} - \vec{E} \parallel [001]$. Как видно из рис. 1, в области края фундаментального поглощения $CuInTe_2$ $\mathcal{P}_T \neq 0$ при всех температурах, что свидетельствует о выраженной оптической

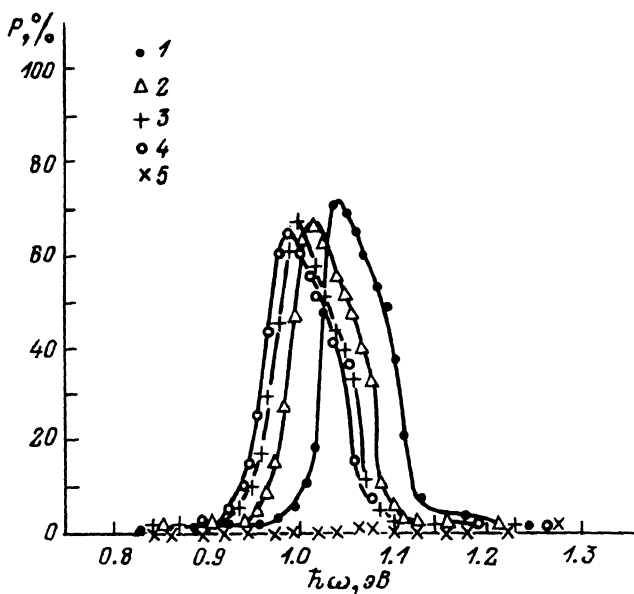


Рис. 1. Спектральные зависимости линейного дихроизма монокристаллов CuInTe_2 при различных температурах T , К: 1 - 77, 2 - 205, 3 - 300, 4 - 370, 5 - 77-370. Толщина кристалла $d = 10$ мкм. Ориентация: 1-4 - (100), 5 - (001).

анизотропии этого соединения (кривые 1-4). При освещении вдоль направления [001] оптическое пропускание монокристалла CuInTe_2 практически не зависит от поляризации, т. е. $\mathcal{P} \equiv 0$ (рис. 1, кривая 5). Измерения оптического отражения показывают, что коэффициент отражения в этой спектральной области не зависит от поляризации излучения (с точностью до $\sim 1\%$), также как и для других кристаллографических направлений [100] и [010], и согласуется с данными модуляционных поляризационных методик электроотражения от CuInTe_2 [4]. Следовательно, анизотропия оптического поглощения в монокристаллах этого соединения полностью определяется анизотропией коэффициента оптического пропускания.

При освещении вдоль изотропного направления [001] пропускание от поляризации излучения не зависит. Следовательно, монокристаллы CuInTe_2 в линейнополяризованном излучении ведут себя как оптически одноосные, что соответствует их кристаллической симметрии $1\bar{4}2d$, хотя и обладают близким к нулю значением тетрагонального сжатия [11]. Как следует из рис. 1, спектры линейного дихроизма CuInTe_2 имеют вид кривых с максимумом вблизи энергии, отвечающей ширине запрещенной зоны этого полупроводника, что наблюдается для соединений CuInSe_2 [10] и P-1Y-Y_2 [12]. Максимальный коэффициент линейного дихроизма в прямозонном

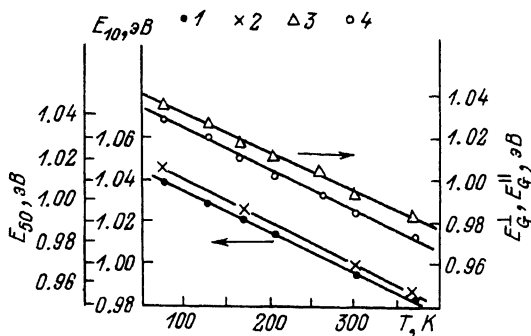


Рис. 2. Температурные зависимости максимального коэффициента дихроизма (1, 2) и ширины запрещенной зоны в линейно-поляризованном излучении (3, 4) монокристаллов CuInTe_2 . Толщина кристалла d , мкм: 1 - 10 (E_{10}), 2 - 50 (E_{50}). Поляризация: 3 - $\vec{E} \parallel (001)$, 4 - $\vec{E} \parallel (100)$.

полупроводнике CuInTe_2 оказывается близким к характерному для кристаллов II-1Y-Y_2 с максимальным тетрагональным сжатием [12]. При этом амплитуда \mathcal{P} практически не изменяется с ростом температуры от 77 до 370 К, а энергетическое положение максимума дихроизма смещается с температурой по линейному закону (рис. 2). Термический коэффициент $dE_{\text{max}}/dT = 1.8 \cdot 10^{-4}$ эВ/К (рис. 2, кривые 1 и 2), ответственный за смещение максимума линейного дихроизма, соответствует термическому коэффициенту изменения ширины запрещенной зоны CuInTe_2 (кривые 3 и 4) $dE_G/dT = -1.8 \cdot 10^{-4}$ эВ/К. Практически квазизотропная кристаллическая решетка CuInTe_2 ($\tau \approx 0$) с учетом данных по исследованиям зонного спектра соединений II-1Y-Y_2 с решеткой халькопирита [13] позволяет считать, что основной вклад в обнаруженную анизотропию оптического поглощения монокристаллов CuInTe_2 вносит не тетрагональное искажение кристаллической решетки, а различная деформация координационных тетраэдров CuTe_4 и InTe_4 . Подобная закономерность не характерна для соединений II-1Y-Y_2 , в которых не наблюдалось влияния d -орбиталей атомов металлов на формирование энергетической зонной структуры кристаллов [13].

Из сравнения с монокристаллами CuInSe_2 следует, что теллурид меди и индия обнаруживает такой же знак линейного дихроизма (рис. 1), как и селенид [10]. При этом амплитуда \mathcal{P} в обоих материалах оказывается одинаково высокой 60-70%, хотя тетрагональное растяжение в CuInTe_2 , $\tau = (1 - c/2a) \cdot 100\% = -0.065\%$ более чем в 7 раз ниже τ в селениде [11].

Из рис. 1 (кривые 1-4) и рис. 2 (кривые 1, 2) следует, что пластинки исследованного вещества пригодны для использования в качестве поляризаторов, спектральный диапазон которых легко контролируется их толщиной или температурой.

Обнаруженная анизотропия оптического пропускания в монокристаллах $CuInTe_2$ ($1\bar{4}2d$) с учетом [12, 13] указывает на снятие вырождения в валентной зоне этого соединения и возможность их применения в поляризационно-оптических устройствах на спектральную область в окрестности 1 эВ.

В заключение авторы выражают признательность А.А. Вайполину за помощь в проведении ориентации образцов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Ч о п р а К., Д а с С. Тонкопленочные солнечные элементы. М.: Мир, 1986, 440 с.
- [2] Ф а р е н б р у х А., Б ь ю б Р. Солнечные элементы: теория и практика. М.: Энергоатоммаш, 1987. 280 с.
- [3] Физико-химические свойства полупроводниковых веществ. Справочник. (отв. ред. Новоселова А.В., Лазарев В.Б.), М.: Наука, 1979. 340 с.
- [4] T h w a i t e s M.J., T o m l i n s o n K.D., H a m p s h i r e M.J. - Solid St. Commun., 1977, v. 23, N 12, p. 905-906.
- [5] W a s i m S.M., L a C r u z V i e l m a A., R i n s o n C. - Solid St. Commun., 1984, v. 51, N 12, p. 935-937.
- [6] Б о д н а р ь И.В., Б о р и с е н к о Т.Е., К о р з у н Б.В., П о п е л ь н ю к Г.П. - Изв. АН СССР, Неорган. материалы, 1984, т. 20, № 11, с. 1810-1813.
- [7] J o s h i N.V., A g u i l a r H. - J. Phys. Chem. Solids., 1982, v. 43, N 9, p. 797-799.
- [8] Q u i n t e r o M., W o o l e y J.C. - J. Appl. Phys., 1984, v. 55, N 8, p. 2825-2829.
- [9] А в е р к и е в а Г.К., М е д в е д к и н Г.А., Я к о в е н к о А.А. - ФТП, 1983, т. 17, в. 11, с. 2081-2084.
- [10] М е д в е д к и н Г.А., Р у д Ю.В., Т а и р о в М.А. - Phys. Stat. Sol. (b), 1987, v. 143, N 2, p. 281-288.
- [11] S r i d e v i D., R e d d y K.V. - Mat. Res. Bull., 1985, v. 20, p. 929-934.
- [12] Р у д ь Ю.В. - Изв. вузов, физика, 1986, т. 29, № 8, с. 68-83.
- [13] S h a y J.L., W e r n i s k J.H. - Pergamon Press, Oxford, N 4., 1975. 244 p.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
19 февраля 1988 г.