

АНИЗОТРОПИЯ ДЛИННОВОЛНОВОГО ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ CuInTe_2

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

Дителлурид меди и индия CuInTe_2 кристаллизуется в структуре халькопирита и выделяется среди соединений типа I—III—VI₂ очень низким тетрагональным растяжением решетки [1]. Многочисленные исследования оптических свойств кристаллов CuInTe_2 [2, 3] не привели к обнаружению какой-либо оптической анизотропии, что объяснялось низкой естественной деформацией решетки. Недавно нами был обнаружен оптический линейный дихроизм в области собственного поглощения CuInTe_2 . В настоящей работе сообщается о первом наблюдении и изучении оптической анизотропии также в длинноволновой области поглощения этого вещества.

Специально не легированные монокристаллы были выращены направленной кристаллизацией из близкого к стехиометрическому составу CuInTe_2 расплава. Параметры кристаллической решетки полученного вещества совпали с приводимыми в литературе [4].

На рис. 1 представлены типичные спектры коэффициента оптического поглощения CuInTe_2 в длинноволновой области, измеренные в неполяризованном излучении. Выделенная длинноволновая полоса поглощения в спектре $\alpha(\hbar\omega)$ воспроизводимо регистрируется в специально не легированных образцах *p*-типа проводимости в диапазоне 77—300 К. Энергетическое положение ее максимума $\hbar\omega^{\text{max}}$ хорошо согласуется с энергией пика поглощения в кристаллах *p*-типа, как выращенных из расплава стехиометрического состава, так и содержащих избыток (≈ 0.5 ат%) теллура [5]. Поскольку специального легирования вещества не предпринималось, длинноволновую полосу, связанную с поглощением на глубоких уровнях, можно связать с собственными дефектами решетки [6].

С понижением температуры от 300 до 77 К (рис. 1, кривые 1, 2) край фундаментального поглощения CuInTe_2 , как и в большинстве алмазоподобных полупроводников, смещается в область высоких энергий, тогда как максимум широкой длинноволновой полосы сдвигается в низкоэнергетическую сторону, но существенно медленнее по сравнению с краевой (рис. 1). Энергия оптической активации глубоких уровней $E_{\text{акт}} = 0.2—0.3$ эВ. Высокое поглощение в максимуме длинноволновой полосы ($\alpha \approx 150 \text{ см}^{-1}$) указывает на достаточно большую концентрацию дефектов решетки, ответственных за эти уровни. Отличительной особенностью длинноволновой полосы является то, что с уменьшением температуры происходит ее сужение преимущественно с высокоэнергетической стороны. Этот факт может быть следствием неэлементарности длинноволновой составляющей.

На основании поляризационных измерений установлено, что спектры $\alpha(\hbar\omega)$ в монокристаллах CuInTe_2 различаются для поляризаций $E \parallel c$ и $E \perp c$ в случае пластин с ориентациями (100) и (010), но остаются неизменными для пластин (001) при освещении вдоль нормали к их поверхности. Поляризационные индикатрисы пропускания T следуют типичному для одноосных сред закону Малюса, причем их фаза по спектру остается неизменной. Это свидетельствует о том, что оптическая анизотропия, присущая кристаллам тетрагональной сингонии, проявилась в области не только межзонных переходов, но и переходов с участием глубоких уровней. Основной вклад в поляризационную зависимость коэффициента α вносит оптическое пропускание:

$$T_{\parallel, \perp} = \frac{(1 - R)^2 \exp(-\alpha_{\parallel, \perp} d)}{1 - R^2 \exp(-2\alpha_{\parallel, \perp} d)}, \quad (1)$$

где R в области длинноволнового поглощения $\approx 33.5\%$ и от поляризации практически не зависит. При $\alpha_{\parallel, \perp} d \geq 1$ член $R^2 \exp(-2\alpha_{\parallel, \perp} d) \ll 1$, поэтому для дихроизма пропускания можно использовать выражение

$$\mathcal{P}_T = \frac{T_{\parallel} - T_{\perp}}{T_{\parallel} + T_{\perp}} = \frac{1 - \exp(\alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp})d}{1 + \exp(\alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp})d}. \quad (2)$$

Согласно (2), дихроизм пропускания от поляризационной разности $\Delta\alpha$ зависит нелинейно, и его амплитуда определяется толщиной пластины. Изучение спектров $\mathcal{P}_T(\hbar\omega)$ на пластинах различных толщин показало, что в наиболее тонком образце ($d=10$ мкм) дихроизм пропускания в длинноволновой области не превышает 1–2 %. С возрастанием d амплитуда дихроизма увеличивается и при

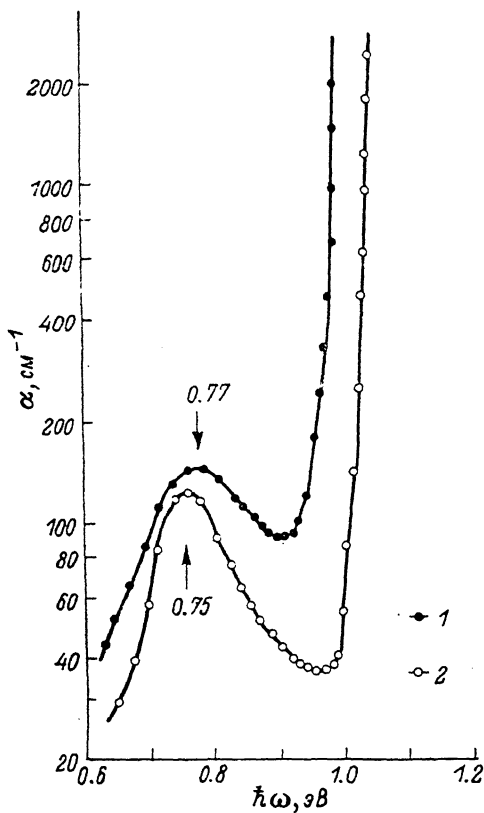


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициента оптического поглощения монокристаллов $p\text{-CuInTe}_2$.

$T, \text{K}: 1 - 300, 2 - 77.$

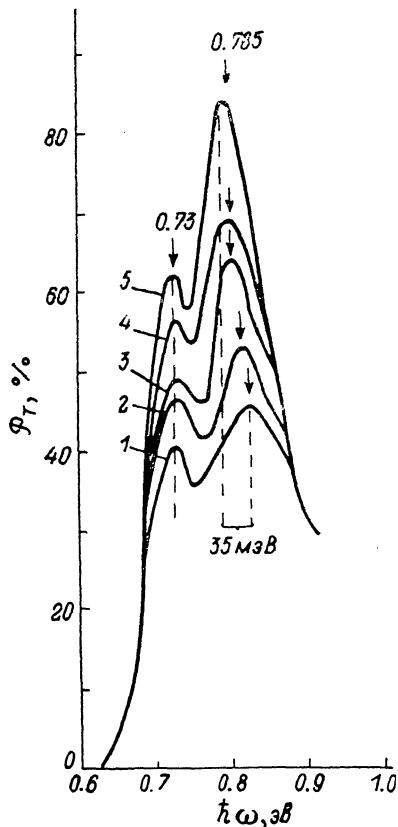


Рис. 2. Спектральные зависимости дихроизма оптического пропускания монокристаллов $p\text{-CuInTe}_2$ от температуры.

$T, \text{K}: 1 - 370, 2 - 300, 3 - 208, 4 - 126, 5 - 77$; ориентация (010); толщина пластины $d=510$ нм.

толщинах ≈ 500 мкм достигает 75 %. В спектрах $\mathcal{P}_T(\hbar\omega)$ четко проявляется неэлементарность длинноволновой полосы, причем эта структура оказывается спектрально выделенной из краевого дихроизма. Для максимума длинноволнового поглощения характерна поляризационная разность $\Delta\alpha \approx -40 \text{ см}^{-1}$, в то время как в собственной области $\Delta\alpha \approx -800 \text{ см}^{-1}$. Следовательно, степень оптической анизотропии монокристаллов CuInTe_2 в области поглощения с участием глубоких уровней оказалась ниже в ≈ 20 раз по сравнению с оптическими переходами электронов из верхней валентной зоны Γ_6^v в зону проводимости Γ_6^c , что находится в согласии с качественным рассмотрением природы акцепторных состояний в полупроводниках с алмазоподобной структурой. Экспериментальные зависимости дихроизма пропускания CuInTe_2 от толщины пластин оказались одинаковыми для фундаментального и длинноволнового поглощения.

С понижением температуры максимум коротковолновой составляющей в спектре \mathcal{P}_T смещается в низкоэнергетическую область от 0.82 до 0.73 эВ (рис. 2), одновременно амплитуда $\mathcal{P}_T^{\text{max}}$ растет от 46 до 85 %, а энергетическое положение длинноволновой составляющей \mathcal{P}_T $\hbar\omega_{\text{max}} = 0.73$ эВ с температурой

практически не меняется. Температурные зависимости максимумов обеих составляющих длинноволнового дихроизма \mathcal{P}_T , как и в собственной области, следуют линейному закону. Температурные коэффициенты $E_{\text{акт}}$ и ширина запрещенной зоны CuInTe_2 в диапазоне 77—300 К приведены в таблице. Следует отметить, что имеется корреляция между температурными зависимостями длинноволно-

Спектральное положение максимума
линейного дихроизма пропускания $\hbar\omega_{\text{мах}}$,
анизотропия оптического поглощения $\Delta\alpha=(\alpha_{\parallel}-\alpha_{\perp})$
при $T=300$ К и температурный коэффициент энергии
оптической активации уровней dE/dT в диапазоне
 $T=370-77$ К для нелегированных монокристаллов
 $p\text{-CuInTe}_2$

Энергетический уровень	$\hbar\omega_{\text{мах}}$, эВ	$\Delta\alpha$, см ⁻¹	$(dE/dT) \cdot 10^4$, эВ/К
E_1	0.73	-39	-1.9
E_2	0.81	-39	-3.1
E_G	0.99	-800	-1.9

вой и собственной оптической анизотропии CuInTe_2 в диапазоне 77—300 К, с одной стороны, и тетрагональной деформацией кристаллической решетки этого вещества — с другой.

Таким образом, в нелегированных монокристаллах $p\text{-CuInTe}_2$ обнаружена оптическая анизотропия в области поглощения с участием глубоких уровней. Длинноволновое поглощение доминирует в поляризации $E \perp c$, что отвечает правилам отбора для переходов $\Gamma_6^v \rightarrow \Gamma_6^c$.

Список литературы

- [1] Landolt-Bornstein. V. 17-h. Physics of Ternary Compounds / Ed. by O. Madelung. Berlin—Heidelberg, 1985. 565 p.
- [2] Quintero M., Wooley J. C. // J. Appl. Phys. 1984. V. 55. N 8. P. 2825—2829.
- [3] Боднар И. В., Борисенко Т. Е., Корзун Б. В., Попельник Г. П. // Изв. АН СССР. Неорг. матер. 1984. Т. 20. В. 11. С. 1810—1813.
- [4] Neumann H., Deus P., Tomlinson R. D., Kühn G., Hintze B. // Phys. St. Sol. (a). 1984. V. 84. N 1. P. 87—93.
- [5] Чернявский В. П., Полягалов Ю. И., Поплавкой А. С. // УФЖ. 1972. Т. 17. В. 9. С. 1535—1539.
- [6] Neumann H. // Cryst. Res. Techn. 1983. V. 18. N 4. P. 483—490.

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

Получено 13.05.1988
Принято к печати 7.03.1989

ФТП, том 23, вып. 7, 1989

ВЛИЯНИЕ НИКЕЛЯ НА КИНЕТИКУ ОБРАЗОВАНИЯ И ОТЖИГА ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ В КРЕМНИИ

Абдурахманов К. П., Ходжаев М. Д., Тешабаев А. Т., Умаров Т. А.

В работах [1-3] были приведены результаты по исследованию кинетики образования и отжига термического центра (ТЦ) с энергией ионизации $E_v+0.4$ эВ и сечением захвата для дырок $\sim 10^{-16}$ см², природа которого связывалась с комплексом $V+B$.