

УДК 621.315.592

©1995 г.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ
ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ $Cd_xHg_{1-x}Te$ *В.Г.Средин, В.М.Укроженко*

Военная академия им. Ф.Э.Дзержинского,

103374, Москва, Россия

(Получена 16 мая 1994 г. Принята к печати 6 декабря 1994 г.)

Исследована температурная зависимость показателя преломления монокристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($0.19 \leq x \leq 0.7$) в температурном интервале 90–300 К. Результаты интерпретированы с учетом вклада свободных электронов в диэлектрическую проницаемость.

В работах [1–7] экспериментально определены значения показателя преломления n твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ для всей области составов и выполнен анализ дисперсии n в рамках различных моделей. В данной работе изучено влияние свободных носителей заряда и особенностей зонной структуры на величину показателя преломления этого материала. С этой целью нами проведены исследования температурной зависимости показателя преломления монокристаллов с составами, соответствующими $0.19 \leq x \leq 0.7$ в температурном интервале 90–300 К. Использовались монокристаллы, выращенные различными методами, тип их проводимости и концентрация носителей заряда приведены в таблице. Измерения выполнены по методике, описанной ранее [8,9]. Модулированное излучение CO_2 -лазера фокусировалось на плоско-параллельном кристалле, помещенном в криостат, позволяющий плавно изменять температуру образца от 80 до 350 К. Температура исследуемых кристаллов определялась с помощью термопары, находившейся в непосредственном контакте с ними. Прошедшее через образец излучение фокусировалось на охлаждаемый полупроводниковый фотоприемник, сигнал которого после детектирования совместно с сигналом от термопары регистрировались на двухкоординатном самописце. При изменении температуры исследуемых кристаллов регистрировалось изменение величины их пропускания, обусловленное интерференцией излучения вследствие многократного отражения на гранях. Так как температурный коэффициент линейного расширения $Cd_xHg_{1-x}Te$ на 2 порядка меньше температурного коэффициента показателя преломления [10], в области слабого поглощения по положению

Экспериментальные значения температурного коэффициента показателя преломления $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ на длине волны 10.6 мкм

x	Тип проводимости и концентрация носителей, см^{-3}	Температурный интервал ΔT , К	dn/dT , K^{-1}	dE_g/dT , 10^{-4} эВ·К $^{-1}$
0.19	$N = 4.0 \cdot 10^{15}$ (77 К)	160÷290	$-1.3 \cdot 10^{-3}$	3.4
0.21 (образец 1)	$N = 3.6 \cdot 10^{15}$ (77 К)	190÷230	$-9.2 \cdot 10^{-4}$	3.3
0.21 (образец 2)	$N = 3.2 \cdot 10^{15}$ (77 К)	200÷230	$-8.0 \cdot 10^{-4}$	3.3
0.225	$N = 6.0 \cdot 10^{15}$ (77 К)	160÷270	$-5.0 \cdot 10^{-4}$	3.0
0.25		160÷290	$-5.0 \cdot 10^{-4}$	2.8
0.4		130÷280	$-5.6 \cdot 10^{-5}$	1.1
0.68		100÷280	$1.3 \cdot 10^{-4}$	-1.5

интерференционных экстремумов непосредственно определяются значения температурного коэффициента показателя преломления, а при измерении пропускания при различных углах падения излучения — и величина n . Точность определения измеряемых величин ограничивается точностью измерения толщины кристаллов и температуры. В экспериментах использовались образцы толщиной порядка 1 мм, и погрешность определения абсолютных значений измеряемых величин не превышала 10%.

На рис. 1 и в таблице приведены полученные нами по измерениям на длине волны 10.6 мкм значения температурного коэффициента показателя преломления. На рис. 1 нанесены также значения, вычисленные по данным работ [3,5].

Как видно из рис. 1 и таблицы, имеется качественное совпадение поведения показателя преломления и ширины запрещенной зоны в исследуемом твердом растворе: в обоих случаях температурные коэффициенты параметров изменяют знак вблизи состава, соответствующего $x = 0.5$. Этого можно ожидать и на основе эмпирического соотношения

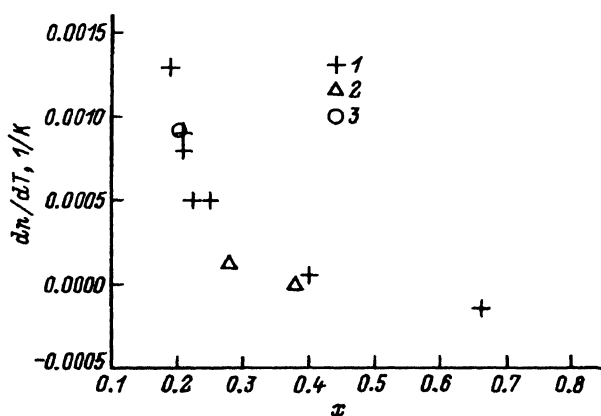


Рис. 1. Зависимость температурного коэффициента показателя преломления от состава твердого раствора $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. Результаты: 1 — данная работа, 2 — [3], 3 — [5].

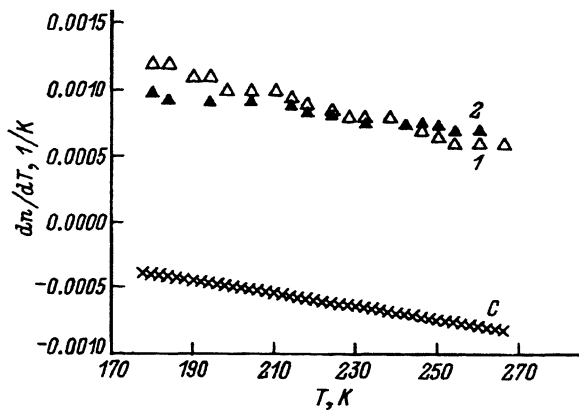


Рис. 2. Зависимость dn/dT от температуры для $Cd_xHg_{1-x}Te$, 1, 2 — наши экспериментальные данные, C — вклад свободных носителей согласно (3).

Мосса $nE_g^4 = \text{const}$, из которого следует

$$\frac{1}{n} \frac{dn}{dT} = -\frac{4}{E_g} \frac{dE_g}{dT}. \quad (1)$$

Однако (1) дает лишь правильную связь знаков коэффициентов, но не их количественное соотношение (см. таблицу). Температурный коэффициент показателя преломления $Cd_xHg_{1-x}Te$ имеет нулевое значение вблизи эквимольного состава (рис. 1). Таким образом, для этого состава показатель преломления не зависит от температуры. Аналогичный эффект должен наблюдаться и в других системах твердых растворов на основе халькогенидов ртути, в которых происходит переход полупроводников в бесщелевое состояние. Отметим, что нами не обнаружено какой-либо связи метода выращивания монокристаллов с поведением показателя преломления.

Для узкозонных твердых растворов ($x = 0.19$ и 0.21) нами обнаружено еще одно отклонение от (1), состоящее в том, что температурный коэффициент показателя преломления зависит от температуры в диапазоне, в котором температурный коэффициент ширины запрещенной зоны постоянен (рис. 2). Как видно из рисунка, эта зависимость близка к линейной. Найденный эффект может быть связан с вкладом свободных электронов в диэлектрическую проницаемость. Действительно, в приближении свободных электронов при $n \gg k$

$$\text{Re} \varepsilon(\omega) = n^2 = 1 + \chi_{ve} + \chi_l + \chi_{fc}, \quad (2)$$

где $\chi_{ve}, \chi_l, \chi_{fc}$ — восприимчивость валентных электронов, решетки и свободных носителей заряда соответственно.

Восприимчивость свободных носителей есть $\chi_{fc} = -Ne^2/\varepsilon_0 m^* \omega^2$, где N — концентрация носителей, e и m^* — их заряд и эффективная масса соответственно, ω — частота падающего излучения. Тогда

$$\frac{1}{n} \frac{dn}{dT} = \frac{1}{2n^2} \frac{d(\chi_{ve} + \chi_l)}{dT} - \frac{e^2}{2n^2 \omega^2 \varepsilon_0} \frac{d}{dT} \left(\frac{N}{m^*} \right). \quad (3)$$

Для антимонида индия [11] показано, что первое слагаемое в правой части (3) не зависит от температуры, и, таким образом, угол наклона зависимости полностью определяется вторым слагаемым. Образцы, использовавшиеся в наших измерениях, имели концентрацию носителей, близкую к собственной (см. таблицу), поэтому вклад второго слагаемого в (3) может быть рассчитан непосредственно с учетом известных соотношений для m^* [12] и N [13]. Результат такого расчета для $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ состава с $x = 0.21$ показан на рис. 2. Номера экспериментальных зависимостей соответствуют номерам образцов в таблице. На рисунке приведены полученные нами значения dn/dT и рассчитанная по (3) зависимость χ_{fc} от температуры. Совпадения угла наклона экспериментальных и расчетной зависимостей подтверждает сделанное предположение о вкладе свободных носителей в диэлектрическую проницаемость.

Список литературы

- [1] Б.Ф. Биленький, Ю.В. Данилюк, А.К. Филатова. *Вестн. Львов. ун-та, Сер. Физика* (1979), вып. 14, с. 11.
- [2] В.Г. Средин, В.Г. Савицкий, Е.В. Дорожко, Р.Н. Ковтун, М.В. Милянчук. *Матер. V Всес. симп. «Полупроводники с узкой запрещенной зоной и полуметаллы»* (Львов, 1980), ч. 1, с. 56.
- [3] Z.Kucera. *Phys. St. Sol. (a)*, **100**, 659 (1987).
- [4] В.Г. Средин. *ФТП*, **17**, 523 (1983).
- [5] B. Jensen, A. Torabi. *J. Appl. Phys.*, **54**, 5945 (1983).
- [6] T. Toyoda. *J. Appl. Phys.*, **63**, 288 (1988).
- [7] А.Н. Пихтин, А.Д. Яськов. *ФТП*, **12**, 1047 (1978).
- [8] В.Г. Средин, В.М. Укроженко. *ФТП*, **23**, 1762 (1989).
- [9] В.Г. Средин, В.М. Укроженко. *Матер. VIII Всес. симп. «Полупроводники с узкой запрещенной зоной и полуметаллы»* (Львов, 1991), ч. 1, с. 206.
- [10] O. Caporaletti, G.M. Graham. *Appl. Phys. Lett.*, **39**, 338 (1981).
- [11] *Semiconductors and semimetals*, ed. by R.Wilardson, A.Bear (1967), v. 3. Пер.: *Оптические свойства полупроводников*, под ред. Е.Ф.Гросса (М.: Мир, 1970).
- [12] J.P. Leurenti, J. Camassel, A. Bouhemadou, B. Toulouse, R. Legros, A. Lusson. *J. Appl. Phys.*, **67**, 6454 (1990).
- [13] E. Finkman. *J. Appl. Phys.*, **54**, 1833 (1983).

Редактор Л.В. Шаронова

A temperature dependence of the $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ refractive index

V.G.Sredin, V.M.Ukrozhenko

F.E.Dzerzhinsky Academy, 103074 Moscow, Russia