

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $MnIn_2Te_4$ и $MnGa_2Te_4$

Марцинявичюс С., Амбразевичюс Г., Бежимбетов Р. Н.,
Медведкин Г. А.

Представлены экспериментальные результаты по краевому поглощению и отражению соединений $MnIn_2Te_4$ и $MnGa_2Te_4$. Установлено, что форма края поглощения этих кристаллов является экспоненциальной, а значения прямого энергетического зазора равны 1.60 и 1.80 эВ при 300 К для $MnIn_2Te_4$ и $MnGa_2Te_4$ соответственно. Обсуждаются влияние магнитных взаимодействий на температурную зависимость ширины запрещенной зоны, а также общие свойства спектров отражения и других оптических функций.

$MnIn_2Te_4$ и $MnGa_2Te_4$ принадлежат к семейству соединений $M-III_2-VI_4$, где $M - Mn, Fe, III - Al, Ga, In, VI - S, Se, Te$. Несмотря на возросший в последнее время интерес к полупроводникам, содержащим элементы с незаполненными d -оболочками, физические свойства $MnIn_2Te_4$ и $MnGa_2Te_4$ изучались лишь в нескольких работах [1-4]. В [1] установлено, что эти соединения в интервале температур 1.3 ÷ 300 К являются парамагнетиками. Работа [2] посвящена изучению фотоэлектрических свойств диодов Шоттки на основе $MnIn_2Te_4$ и $MnGa_2Te_4$. Оптические константы данных кристаллов исследовались в [3]. В монокристаллах $MnIn_2Te_4$ и $MnGa_2Te_4$ обнаружен линейный дихроизм [4]. Однако оптические свойства этих материалов в широком температурном и спектральном диапазонах не исследованы.

В настоящей работе приведены результаты исследований края поглощения $MnIn_2Te_4$ и $MnGa_2Te_4$, а также оптических свойств данных кристаллов в глубине полосы поглощения. Особое внимание уделено поиску проявления магнитных взаимодействий в оптических спектрах.

Измерения проводились на кристаллах $MnIn_2Te_4$ и $MnGa_2Te_4$ p -типа проводимости, полученных методом направленной кристаллизации стехиометрического расплава. Поглощение измерялось на образцах толщиной 0.1 ÷ 2.0 мм в интервале температур 5 ÷ 293 К с помощью спектрального комплекса КСВУ-23. Точность определения температуры составляла ± 2 К. Отражение изучалось от травленных метанолом с Br поверхностей на монохроматорах SPM-2, BMP-2 в области 0.5 ÷ 12 эВ при 293 К.

Край поглощения $MnIn_2Te_4$ и $MnGa_2Te_4$ представлен на рис. 1. Для обоих соединений край является экспоненциальным, а наклон кривых практически не меняется с температурой. Такое поведение $K(E)$ соединений $MnIn_2Te_4$ и $MnGa_2Te_4$ указывает на то, что размытие края поглощения обусловлено не фононами, а вакансиями решетки или примесями [5]. Подобный характер края поглощения наблюдался в немагнитных полупроводниках $II-III_2-VI_4$ ($II - Zn, Cd$) и объяснялся значительной дефектностью, связанной с особенностями строения этих соединений [6]. $MnIn_2Te_4$ имеет общую с большинством кристаллов $II-III_2-VI_4$ структуру дефектного халькопирита [7], а $MnGa_2Te_4$ — близкую к ней псевдотетрагональную структуру [1, 3, 8]. Это позволяет предполагать, что в $MnIn_2Te_4$ и $MnGa_2Te_4$ также имеются дефекты, оказывающие заметное влияние на край поглощения.

В [2] указывалось, что $MnIn_2Te_4$ является прямозонным полупроводником, а $MnGa_2Te_4$ — непрямозонным. Из рис. 1 видно, что по своему характеру край поглощения этих соединений различается только величиной наклона

$S = d(\ln K)/dE$, равной 27 эВ^{-1} для MnIn_2Te_4 и 15 эВ^{-1} для MnGa_2Te_4 . Фоновая структура непрямого края MnGa_2Te_4 , возможно, из-за хвостов плотности состояний, связанных с высокой концентрацией собственных точечных дефектов, даже при низких температурах не проявляется. Не исключено, однако, что MnGa_2Te_4 — прямозонное соединение. Для окончательного выяснения характера края поглощения данных кристаллов необходимы дальнейшие исследования на более совершенных и тонких образцах.

Температурный сдвиг края поглощения (рис. 2) исследованных кристаллов является линейным с коэффициентами $-6.4 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/К}$ для MnIn_2Te_4 и $-5.0 \times$

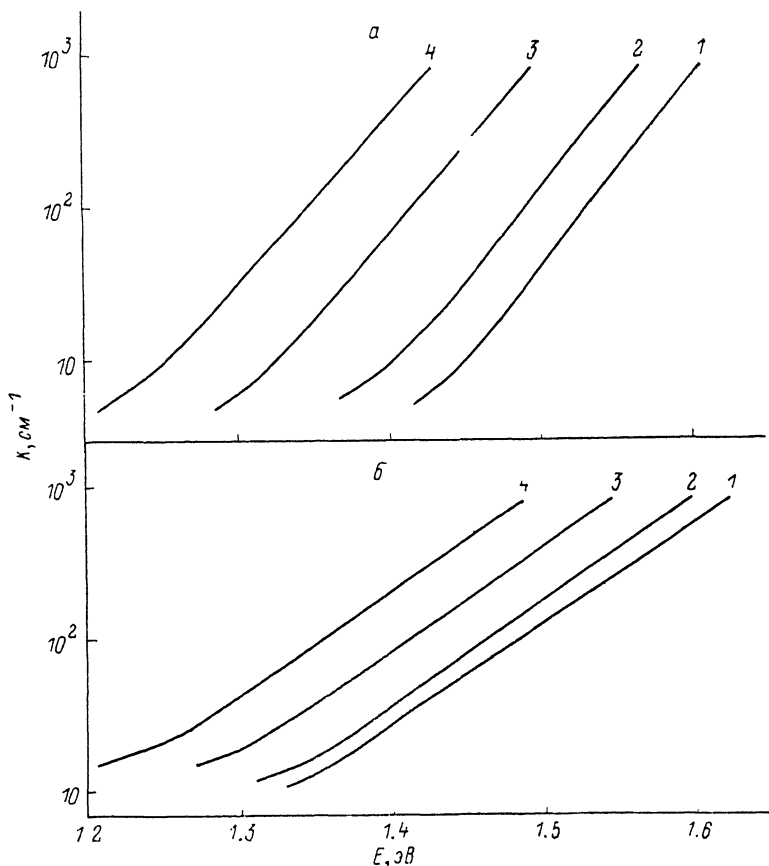


Рис. 1. Спектры поглощения MnIn_2Te_4 (а) и MnGa_2Te_4 (б).

$T, \text{ К: } 1 - 5, 2 - 77, 3 - 183, 4 - 293.$

$\times 10^{-4} \text{ эВ/К}$ для MnGa_2Te_4 . Наклон спектров S с температурой не меняется, что характерно для сильно легированных полупроводников, например GaAs [9]. Поэтому сдвиг края поглощения может быть рассмотрен как температурное изменение ширины запрещенной зоны E_g . Величина dE_g/dT для MnIn_2Te_4 соответствует значению, установленному из спектров фотопроводимости [2, 3].

Примечательной особенностью рис. 2 является отсутствие характерного для немагнитных полупроводников уменьшения величины dE_g/dT при температурах ниже 100 К . Для MnGa_2Te_4 некоторое изменение коэффициента dE_g/dT происходит ниже 40 К , а для MnIn_2Te_4 dE_g/dT остается постоянным во всем изученном температурном интервале. Подобный «синий сдвиг» наблюдался в полумагнитных полупроводниках типа $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ при $x > 0.2$ [10, 11] и был объяснен [11, 12] обменным взаимодействием между зонными электронами и магнитными флуктуациями d -электронов ионов Mn^{2+} . Этот механизм, видимо, обуславливает температурную зависимость dE_g/dT и в MnIn_2Te_4 и MnGa_2Te_4 .

Спектры отражения кристаллов MnIn_2Te_4 и MnGa_2Te_4 представлены на рис. 3. Энергии особенностей спектров, проявляющихся в виде уступов или

Энергия особенностей спектров отражения
 MnIn_2Te_4 и MnGa_2Te_4

Соединение	Энергия, эВ	Соединение	Энергия, эВ
MnIn_2Te_4	1.60	MnGa_2Te_4	1.80
	2.18		2.40
	2.35		3.96
	2.60		4.26
	3.00		4.90
	3.24		5.8
	3.90		6.6
	5.3		7.6
	6.4		9.7
	10.3		10.6
			11.4

пиков, приведены в таблице. Зонная структура MnIn_2Te_4 и MnGa_2Te_4 не вычислена, поэтому детальная интерпретация спектров отражения затруднена. Рассмотрим общие свойства спектров отражения, а также оптических функций n , k , ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_0 эфф и $n_{\text{эфф}}$, рассчитанных с помощью анализа Крамерса—Кронига по методике, описанной в [13].

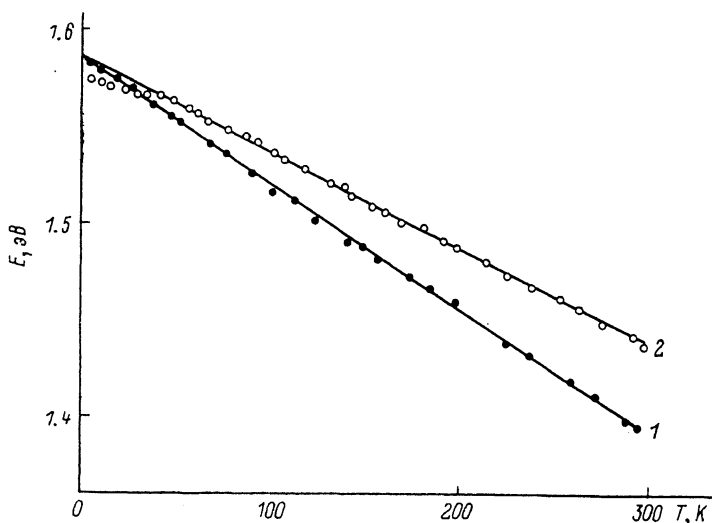


Рис. 2. Температурный сдвиг края поглощения MnIn_2Te_4 (1) и MnGa_2Te_4 (2) при $K=400 \text{ см}^{-1}$.

Форма спектров отражения является близкой для MnIn_2Te_4 и MnGa_2Te_4 с абсолютным максимумом при 3.9 и 4.1 эВ соответственно. Другие главные особенности спектров также близки по энергии (2.6, 5.3, 6.4 эВ для MnIn_2Te_4 и 2.4, 5.8, 6.6 эВ для MnGa_2Te_4). Это может быть следствием того, что зонная структура кристаллов обоих соединений имеет сходное строение.

Самые низкоэнергетические особенности спектров отражения проявляются при 1.60 и 1.80 эВ для MnIn_2Te_4 и MnGa_2Te_4 . Экстраполяция кривых поглощения до этих значений энергии дает величину коэффициента поглощения $K=(7\div 8)\cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$, что по порядку величины согласуется со значениями K в области прямых краевых переходов для других полупроводников. Это позволяет предполагать, что данные особенности отражения обусловлены прямыми краевыми переходами в этих соединениях. Следовательно, энергии 1.60 и 1.80 эВ могут быть приняты за значения прямого энергетического зазора в MnIn_2Te_4 и MnGa_2Te_4 соответственно.

В спектрах оптических функций k и ϵ_2 в основном проявляются те же особенности, что и в отражении. Максимальное поглощение происходит в интер-

вале 4–7 эВ. Эта полоса определяет эффективную диэлектрическую проницаемость $\epsilon_{0\text{эфф}}$, которая для обоих соединений при энергиях, больших 7 эВ, стремится к насыщению. Длинноволновые значения показателя преломления n , вычисленные из $\epsilon_{0\text{эфф}} = n^2 - 1$, для MnIn_2Te_4 и MnGa_2Te_4 равны 3.0 и 2.9 соответственно.

Спектры эффективного числа электронов на атом $n_{\text{эфф}}$ в исследованной спектральной области не насыщаются и при 12 эВ достигают значений 4.3 для MnIn_2Te_4 и 4.4 для MnGa_2Te_4 . Эти значения больше $n_{\text{эфф}}$ в изоструктурном немаг-

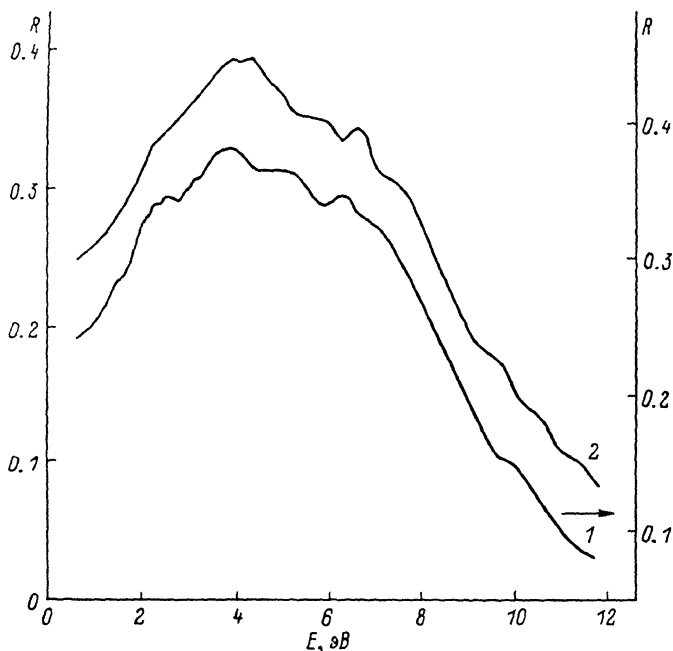


Рис. 3. Спектры отражения MnIn_2Te_4 (1) и MnGa_2Te_4 (2) при 293 К.

нитном соединении CdIn_2Se_4 , в котором при 12 эВ $n_{\text{эфф}} = 3.4$ [14]. Разницу между значениями $n_{\text{эфф}}$ MnIn_2Te_4 , MnGa_2Te_4 и CdIn_2Se_4 можно объяснить участием d -электронов ионов Mn^{2+} в оптическом поглощении.

Резюмируя, можно заключить, что край поглощения MnIn_2Te_4 и MnGa_2Te_4 является экспоненциальным, что определяется дефектностью соединений. Особенности температурной зависимости коэффициента dE_g/dT интерпретированы как проявление магнитных взаимодействий в данных кристаллах. Общий характер оптических спектров в глубине полосы собственного поглощения свидетельствует о близости зонной структуры и вкладе d -электронов ионов Mn^{2+} в спектроскопические свойства MnIn_2Te_4 и MnGa_2Te_4 .

Авторы благодарят В. Д. Прочухана за предоставление кристаллов, а также Г. Бабонаса и Ю. В. Рудя за обсуждение результатов работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Kasper H. M., Buchner E. — AIP Conf. Proc., 1973, N 18, pt 2, p. 748.
- [2] Бекимбетов Р. Н., Рудь Ю. В., Тайров М. А. — ФТП, 1987, т. 21, в. 6, с. 1051–1053.
- [3] Bekimbetov R. N., Vaipolin A. A., Konstantinova N. N., Kradinova L. V., Medvedkin G. A., Prochukhan V. D., Rud Yu. V., Tairov M. A. — Cryst. Res. Techn., 1987, v. 22, N 12, p. K238–K240.
- [4] Бекимбетов Р. Н., Медведкин Г. А., Прочухан В. Д., Рудь Ю. В., Тайров М. А. — Письма ЖТФ, 1987, т. 13, в. 17, с. 1040–1043.
- [5] Kurik M. V. — Phys. St. Sol. (a), 1971, v. 8, N 1, p. 9–45.
- [6] Георгоблани А. Н., Радауцан С. И., Тигиняну И. М. — ФТП, 1985, т. 19, в. 2, с. 193–212.
- [7] Range K. J., Hubner H. J. — Z. Naturforsch., 1975, v. 30B, N 3-4, p. 145–148.
- [8] Range K. J., Hubner H. J. — Z. Naturforsch., 1976, v. 31B, N 6, p. 886–887.

- [9] Reifield D., Afromowitz M. A. — Appl. Phys. Lett., 1967, v. 11, N 4, p. 138—140.
[10] Abreau R. A., Gariat W., Vecchi M. P. — Phys. Lett., 1981, v. 85A, N 6-7, p. 399—401.
[11] Diouri J., Lascaray J. P., El Amrani M. — Phys. Rev. B, 1985, v. 31, N 12, p. 7995—7999.
[12] Gaj J. A., Golnik A. — Acta Phys. Polon., 1987, v. A71, N 2, p. 197—203.
[13] Каваляускас Ю. Ф., Кривайте Г. З., Шилейка А. Ю. — Лят. физ. сб., 1975, т. 15, № 4, с. 605—616.
[14] Трукозко R., Huffman D. — J. Appl. Phys., 1981, v. 52, N 9, p. 5283—5285.

Институт физики полупроводников
АН ЛитССР
Вильнюс

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

Получена 11.01.1988
Принята к печати 11.04.1988