

Ширина запрещенной зоны и оптические свойства твердых растворов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ в ультрафиолетовой и видимой области спектра

© А.И. Белогорохов[†], А.А. Флоренцев, И.А. Белогорохов*, Н.В. Пашкова, А.В. Елютин

Государственный научный центр „Гиредмет“,
119017 Москва, Россия

* Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (физический факультет),
119899 Москва, Россия

(Получена 12 мая 2005 г. Принята к печати 27 мая 2005 г.)

Проведены исследования оптических свойств полупроводникового твердого раствора $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра. Найдены соотношения, позволяющие по положению особых точек E_0 и E_1 в оптических спектрах оценивать состав x и y данного материала. Получено хорошее соответствие теоретических и экспериментальных результатов в области составов $0.09 < x < 0.22$, $0.02 < y < 0.17$.

PACS: 78.20.Ci, 71.20.Nr

1. Введение

Полупроводниковые твердые растворы $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ привлекают к себе внимание как перспективные материалы для производства на их основе фотоприемных устройств, работающих в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн, включая 3–5 и 8–12 мкм — так называемые „окна прозрачности“ атмосферы. В настоящее время для этих нужд в основном используются твердые растворы $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, на основе которых созданы приборы высокого качества. Тем не менее существует ряд проблем, связанных с нестабильностью свойств этого материала, обусловленной неконтролируемым частичным перераспределением дефектов решетки и ионов ртути в объеме, особенно в приповерхностной области, этого полупроводника. Постоянное совершенствование технологии получения $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, направленное на улучшение структурного совершенства материала, а также разработка новых конструкций ИК-фотоприемников позволили в большинстве случаев избавиться от этого недостатка. Вместе с тем идет постоянный поиск новых подходов к решению данной проблемы. Введение четвертого компонента в тройной твердый раствор $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ иногда позволяет продвинуться в этом направлении. В большинстве случаев для этого использовались Mn [1–5], Zn [6–11] и Se [12]. Введение одного из этих элементов в $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ понижает нестабильность его кристаллической решетки. Так, например, добавление цинка приводит к упрочнению связей в твердом растворе, что влечет за собой улучшение его механических свойств и положительно сказывается на стабильности рабочих характеристик ИК-детекторов. В то же время введение еще одного компонента приводит к необходимости решать проблему точного определения состава твердого раствора. В [8] в приближении виртуального кристалла и когерентного

потенциала изучалось влияние цинка, в [6] — цинка и марганца на ширину запрещенной зоны (E_g) HgCdMnTe и CdHgZnTe . Тем не менее, имея одно уравнение и два неизвестных (x, y), невозможно однозначно определить состав материала. Требуется привлечение дополнительных экспериментальных методов для решения данной задачи. В частности, в дополнение к регистрации спектров поглощения в области межзонных переходов можно использовать регистрацию спектральных зависимостей коэффициента отражения $R(\omega)$ в видимом и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах длин волн. В области больших энергий фотонов в спектральных зависимостях $R(\omega)$ наблюдаются экстремумы, которые обусловлены переходами E_1 из валентной зоны в зону проводимости в направлении [111] (Λ) зоны Бриллюэна, $E_1 + \Delta_1$ в том же направлении из зоны, отщепленной за счет спин-орбитального взаимодействия, E_2 — межзонные переходы и т. д. Используется классификация оптических переходов в окрестности особых точек зоны Бриллюэна, принятая для алмазоподобных полупроводников [13]. В настоящее время известны зависимости спектрального положения указанных особенностей от состава для твердых растворов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ [14] и $\text{Cd}_{1-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ [15]. Для $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ таких данных нет. Чтобы определить значения x и y , можно воспользоваться масс-спектрометрическими методами. По сравнению с ними неразрушающие методы оптической спектроскопии имеют ряд преимуществ, в частности экспрессность, и часто используются для получения информации о дисперсионной зависимости функции диэлектрического отклика гетерополярных полупроводниковых кристаллов, к которым, в частности, относится твердый раствор $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$. Цель работы состояла в исследовании оптических свойств $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ в УФ-, видимом и ИК-диапазонах длин волн, с тем чтобы сопоставить энергии межзонных переходов в области особых точек зоны Бриллюэна с составом твердого раствора.

[†] E-mail: belog@mig.phys.msu.ru

2. Образцы и методика эксперимента

Выращивание эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ ($0.09 < x < 0.22$, $0.02 < y < 0.17$) проводили методом жидкофазной эпитаксии в запаянной кварцевой ампуле при температуре $490\text{--}500^\circ\text{C}$ на подложках $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x = 0.03\text{--}0.05$) ориентации (111)В. Выращенные слои имели p -тип проводимости. После отжига образцов в насыщенных парах ртути в течение 4–5 ч концентрация дырок составляла $(0.8\text{--}1.0) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, подвижность носителей заряда $\mu > 500 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$. Плотность дислокаций в эпитаксиальных слоях не превышала значений $(2\text{--}4) \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$.

Спектры отражения и пропускания в видимой и УФ-области длин волн регистрировались на спектрофотометре Hitachi-330 с разрешением по волновым числам 1 нм, в ИК-области с помощью фурье-спектрометра IFS-113v (Bruker) со спектральным разрешением не хуже 0.2 см^{-1} . Обработка экспериментальных зависимостей проводилась с использованием соотношений Крамерса–Кронига.

3. Результаты и их обсуждение

3.1. Область межзонных переходов

Значение E_g исследованных образцов определялось из оптических спектров в области межзонного поглощения. На рис. 1 представлены спектры пропускания одного из образцов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$, полученные при температуре $T = 78$ и 295 К .

Для определения значений x и y необходимо воспользоваться функциональной зависимостью, связывающей состав твердого раствора и энергию межзонного перехода. Если рассматривать $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ как комбинацию трех тройных твердых растворов, как это было предложено в [16], то для нахождения значений ширины запрещенной зоны $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ можно использовать приближение виртуального кристалла и получить следующее соотношение:

$$E_g(x, y) = \frac{(1-x-y)(xE_{12}(z) + yE_{134}(l)) + xyE_{23}(s)}{(1-x-y)(x+y) + xy}, \quad (1)$$

где $E_{12} = E_g(\text{Cd}_z\text{Hg}_{1-z}\text{Te})$, $E_{23} = E_g(\text{Zn}_s\text{Cd}_{1-s}\text{Te})$, $E_{13} = E_g(\text{Zn}_l\text{Hg}_{1-l}\text{Te})$, $z = (2x+y)/2$, $s = (1-x+y)/2$, $l = (2y+x)/2$. В работе [17] был предложен значительно более простой метод определения величины E_g по известным значениям x и y . В рамках этого подхода твердый раствор $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ представлен как совокупность не трех, а двух трехкомпонентных твердых растворов. Для вычисления E_g была предложена следующая формула:

$$E_g(\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}) = 0.5E_g(\text{Cd}_u\text{Hg}_{1-u}\text{Te}) + 0.5E_g(\text{Zn}_w\text{Hg}_{1-w}\text{Te}), \quad (2)$$

где $u = 2x$, $w = 2y$. Подстановка в (2) эмпирических соотношений для $E_g(x)$ твердых растворов

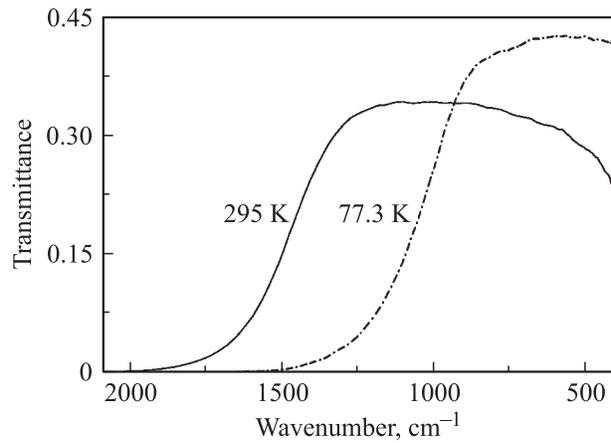


Рис. 1. Экспериментальные спектры пропускания образца $\text{Cd}_{0.22}\text{Hg}_{0.75}\text{Zn}_{0.03}\text{Te}$ при двух температурах измерений.

$\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ [18] и $\text{Zn}_y\text{Hg}_{1-y}\text{Te}$ [19] позволяет получить в явном виде искомую зависимость $E_g(x, y)$, которая приведена в [6]. Воспользоваться ею можно только в области небольших x и y , так как значения $E_g(x)$ для тройных твердых растворов CdHgTe , ZnHgTe и CdZnTe , полученные с ее помощью, а также значения E_g для крайних бинарных компонентов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ (CdTe , HgTe , ZnTe), рассчитанные согласно (2) [6], значительно отличаются как от экспериментальных данных, так и от результатов, полученных другими исследователями [10,13]. Так, например, при $T = 300 \text{ К}$, согласно (2) [6], $E_g(\text{CdTe}) = 3.18 \text{ эВ}$, $E_g(\text{ZnTe}) = 3.24 \text{ эВ}$, в то время как эти величины должны быть равными 1.513 эВ [20] и 2.28 эВ [19,21] соответственно. Удовлетворительное совпадение наблюдается лишь в случае HgTe ($E_g(\text{HgTe}) = -0.14 \text{ эВ}$ [6]). Для того чтобы устранить указанные несоответствия, было составлено новое соотношение (3) для $E_g(x, y)$ $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ с привлечением методов математического моделирования:

$$E_g(x, y)(\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te})(\text{эВ}) = -0.301 + 2.03x + 5.1 \cdot 10^{-3}y^{1/2} + 2.731y - 3.2x^2 + 5.35 \cdot T \cdot 10^{-4}(1 - 1.5x - 0.35y^{1/2} - 1.28y) + 3.05x^3 - 2.181y^2 + 2.132y^3. \quad (3)$$

Использование выражения (3) позволяет получать корректные значения E_g для бинарных кристаллов CdTe , HgTe и ZnTe , а также значительно уменьшить рассогласование с данными других исследователей для тройных твердых растворов CdHgTe , ZnHgTe и CdZnTe , составляющих $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$, во всем диапазоне составов. Это хорошо видно из рис. 2 и 3, на которых приведены зависимости $E_g(x)$ для указанных выше материалов, рассчитанные согласно [6], результаты исследований, взятые из работ [18,19], а также результаты расчета по формуле (3). Использование значений температурного коэффициента $\partial E_g/\partial T$ [6] позволило получить удовлетворительное соответствие между экспериментальными

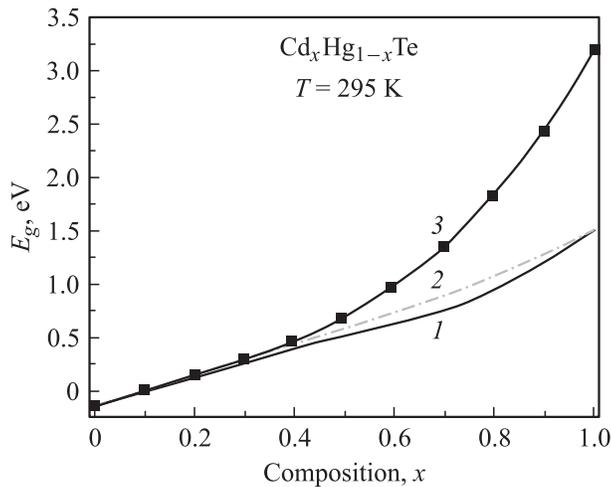


Рис. 2. Зависимость значений ширины запрещенной зоны $Cd_xHg_{1-x}Te$ от состава x . 1 — расчет согласно (3), 2 — [18], 3 — [6].

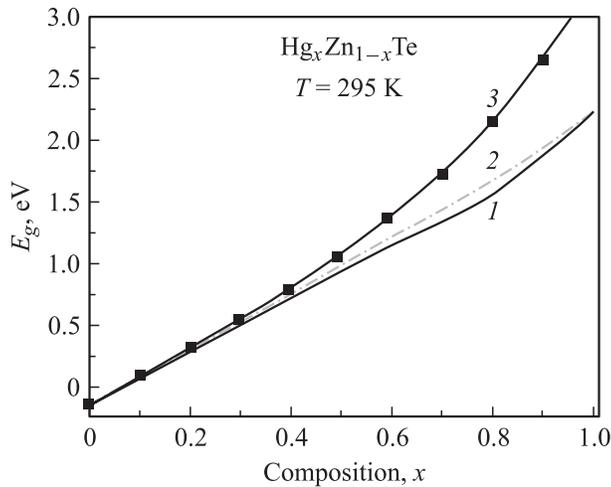


Рис. 3. Зависимость значений ширины запрещенной зоны $Hg_xZn_{1-x}Te$ от состава x . 1 — расчет согласно (3), 2 — [19], 3 — [6].

и теоретическими результатами при $T = 77.3$ К. Например, для образца $Cd_{0.22}Hg_{0.75}Zn_{0.03}Te$, спектры пропускания которого показаны на рис. 1, значения $E_g(x, y, T)$, рассчитанные согласно (3), равны: $E_g^{300K} = 0.196$ эВ и $E_g^{78K} = 0.128$ эВ, что, как видно из рис. 1, неплохо согласуется с экспериментальными данными.

Результаты расчетов, а также экспериментальные данные для $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$ приведены в табл. 1. Можно видеть удовлетворительное совпадение теоретических (3) и экспериментальных данных.

Зная только спектральное положение края основного поглощения $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$ и имея в своем распоряжении одно уравнение с двумя неизвестными (3), нельзя однозначно определить значения x и y . Для этого необходимо построить еще одну функциональную зависимость, связывающую эти величины. Это можно

сделать, анализируя, например, результаты исследований оптических свойств материала $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$ в видимом и УФ-спектральных диапазонах.

3.2. Оптические свойства $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$ в видимом и УФ-диапазонах длин волн

Электромагнитное излучение видимого диапазона длин волн проникает в материал $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$ на глубину порядка $50-60 \text{ \AA}$. Поэтому вид и форма спектральных зависимостей в окрестности особых точек в большой степени зависят от совершенства кристаллической решетки в приповерхностной области образца. Зависимости коэффициента отражения от энергии фотона $R(E)$ многокомпонентных твердых растворов в области критических точек несколько уширены по сравнению с $R(E)$ бинарных соединений. Как правило, это происходит вследствие неоднородного распределения потенциального рельефа в объеме твердого раствора. В результате зависимость характерных энергий поглощения квантов света, обусловленных переходами типа $E_0, E_0 + \Delta_0, E_1, E_1 + \Delta_1$ и других, от состава материала оказывается нелинейной. Для тройных твердых растворов можно определить энергию перехода, воспользовавшись следующим соотношением [13]:

$$E_j(x) = E_j^{AB} + (E_j^{AC} - E_j^{AB})x - C(x)(1 - x), \quad (4)$$

где AB и BC — бинарные компоненты кристалла $AB_{1-x}C_x$. Для тройных соединений, составляющих $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$, значения параметра C при $T = 300$ К приведены в табл. 2.

Таблица 1. Экспериментальные и теоретические значения $E_g(x, y)$ $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$ при $T = 300$ К

Состав		$E_g(x, y)$, эВ			
x	y	Расчет [6]	Расчет по формуле (1)	Расчет по формуле (3)	Эксперимент
0.07	0.49	1.131	1.058	0.899	0.81 [10]
0.1	0.1	0.239	0.223	0.226	0.184
0.18	0.39	1.017	0.920	0.843	0.86 [10]
0.18	0.02	0.161	0.170	0.138	0.139
0.22	0.03	0.239	0.251	0.196	0.198
0.10	0.11	0.262	0.256	0.247	0.24 [10]
0.09	0.13	0.294	0.286	0.275	0.275
0.15	0.11	0.330	0.328	0.304	0.295
0.07	0.17	0.355	0.345	0.326	0.334

Таблица 2. Значения константы C , входящей в уравнение (4), для тройных твердых растворов, составляющих $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$

Тип перехода	Значение константы C		
	$Cd_xHg_{1-x}Te$	$Zn_yHg_{1-y}Te$	$Cd_{1-x}Zn_xTe$
E_1	0.802	0.693	0.413
$E_1 + \Delta_1$	0.693	0.411	0.373

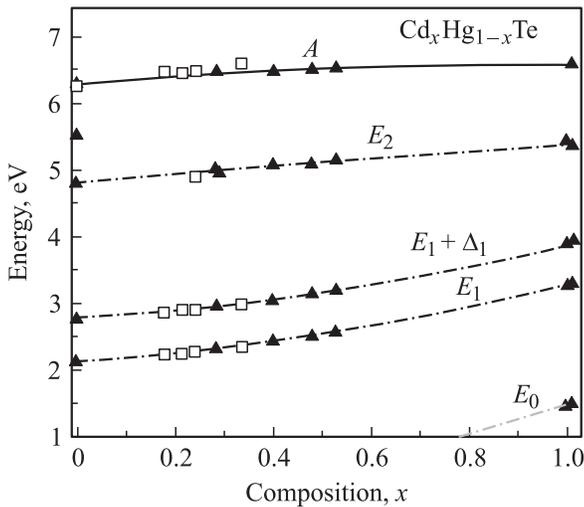


Рис. 4. Зависимость значений энергии переходов носителей заряда в области особых точек зоны Бриллюэна в $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ от состава x . Штрихпунктирные кривые — расчет [22], квадраты — результаты работы [14], треугольники — экспериментальные данные.

От того, как была подготовлена к проведению измерений поверхность образца, зависит точность определения спектрального положения искомой особенности $R(E)$ и соответственно его состава. Различная морфология и высота рельефа поверхностного слоя влияют на положение максимумов $R(E)$. Например, разница в значениях энергии переходов E_1 в кристаллах CdHgTe , поверхность которых была обработана с помощью методов химико-механической полировки и шлифовки, может достигать 0.035 эВ для $x = 0.215$ и 0.045 эВ для $x = 0.24$ [14]. По этой причине обработка поверхности исследованных в настоящей работе образцов проводилась с применением первого метода с доводкой до размеров шероховатости поверхности менее 20 нм. На рис. 4 приведены зависимости спектрального положения особых точек $R(E)$ от состава x исследованных образцов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, а также результаты работ [14,22]. Обсуждение вопроса о появлении дополнительной особенности в спектрах отражения исследованных образцов, обозначенной на рис. 4 буквой А, выходит за рамки настоящей работы. Аналогичные результаты были получены и для CdZnTe . Наблюдаемое хорошее совпадение результатов позволило определиться в выборе метода обработки поверхности образцов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$.

На рис. 5 приведена зависимость $\Delta R(E)/R(E)$ для $\text{Cd}_{0.22}\text{Hg}_{0.75}\text{Zn}_{0.03}\text{Te}$ при $T = 295$ К. На вставке к рисунку можно видеть спектр отражения $R(E)$ того же образца. На рис. 6 приведены экспериментальные спектральные зависимости значений показателей преломления (n) и поглощения (k) материала $\text{Cd}_{0.18}\text{Hg}_{0.8}\text{Zn}_{0.02}\text{Te}$. Для сравнения приведены аналогичные данные для CdTe , HgTe , ZnTe . Из рис. 6 видно, что максимумы $R(E)$ $\text{Cd}_{0.18}\text{Hg}_{0.8}\text{Zn}_{0.02}\text{Te}$ уширены по сравнению с бинарными кристаллами. Тем не менее регистрировать спектраль-

ное положение особых точек спектра $R(E)$ можно с высокой точностью. Особые точки типа E_0 располагаются в области энергий фотонов 2.28 эВ для ZnTe и 1.51 эВ для CdTe . Для твердого раствора $\text{Cd}_{0.18}\text{Hg}_{0.8}\text{Zn}_{0.02}\text{Te}$ подобное значение энергии должно быть равным 0.138 эВ. Как правило, изменение формы спектральных зависимостей $R(E)$ в области критических точек $E_0 + \Delta_0$ незначительно, поэтому регистрировать их положение с высокой точностью достаточно сложно. Иная картина наблюдается в случае E_1 . В силу того что она является седловой точкой, в ее окрестности имеет место существенное изменение вида функции плотности состояний, и это обуславливает хорошо выраженный рельеф $R(E)$ в этой спектральной области. По этой причине представляется вполне естественным остановить свой выбор на E_1 при решении проблемы определения состава твердого раствора $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$.

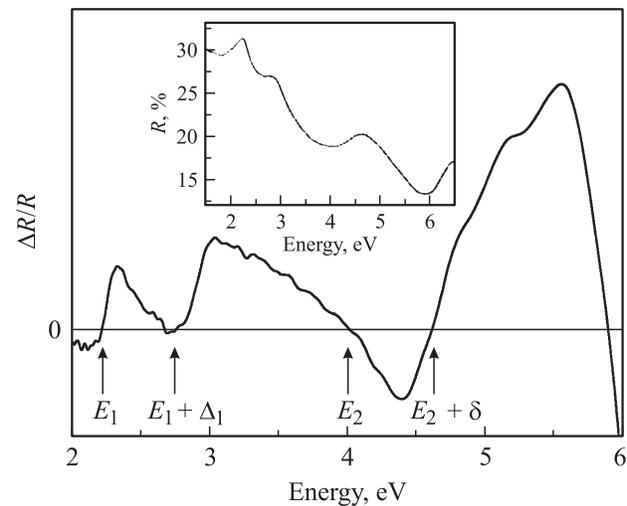


Рис. 5. Зависимость $\Delta R(E)/R(E)$ для образца $\text{Cd}_{0.22}\text{Hg}_{0.75}\text{Zn}_{0.03}\text{Te}$. Стрелками отмечено положение особых точек. На вставке показан спектр $R(E)$.

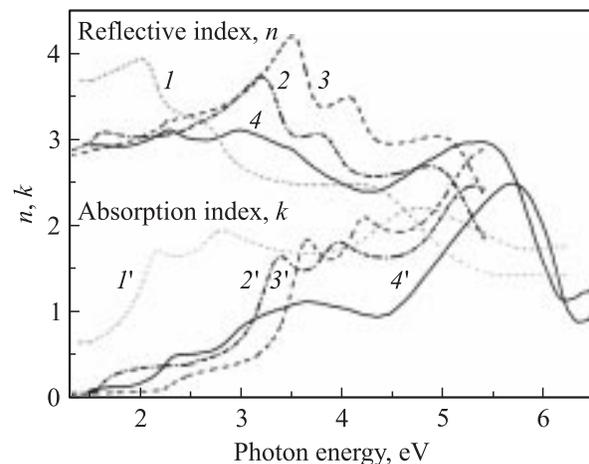


Рис. 6. Зависимости $n(E)$ и $k(E)$ для: (1, 1') — HgTe , (2, 2') — CdTe , (3, 3') — ZnTe , (4, 4') — $\text{Cd}_{0.18}\text{Hg}_{0.8}\text{Zn}_{0.02}\text{Te}$.

Использование экспериментальных результатов, полученных в настоящей работе, позволило составить уравнение, связывающее состав (x, y) $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$ и энергию $E_1^{300}(x, y)$ (эВ) перехода в окрестности особой точки E_1 :

$$E_1^{300}(x, y) = \frac{(1-x-y)(2.138x + 0.546x^2 - 0.485xy + 2.138y + 1.519y^2 + 0.74x^3 + 0.74x^2y + 0.185xy^2)}{(1-x)(1-y) - (x+y-1)^2} + \frac{xy(3.643 - 0.115x - 0.23y)}{(1-x)(1-y) - (x+y-1)^2}. \quad (5)$$

Выражение (5) было использовано для проведения расчетов спектрального положения перехода типа E_1 в бинарных кристаллах и тройных твердых растворах, составляющих $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$. В итоге были получены результаты, которые хорошо согласуются как с экспериментальными результатами, так и с ранее опубликованными данными [14,15,22,23].

Для того чтобы контролировать адекватность проведенных расчетов, решалась обратная задача, т.е. по известным значениям $n(E)$ и $k(E)$ рассчитывались зависимости $\varepsilon_1(E)$ и $\varepsilon_2(E)$, которые использовались для моделирования $R(E)$. Далее проводилось сравнение экспериментального и восстановленного спектров $R(E)$. Для этого использовался следующий подход. Коэффициент преломления света является комплексной величиной: $n(E) = n_1(E) + in_2(E)$. Между $n(E)$ и комплексной диэлектрической функцией существует простая связь: $n^2(E) = \varepsilon_1(E) + i\varepsilon_2(E)$, $n = \varepsilon^{1/2}$. Подставляя последнее соотношение в формулу для нахождения коэффициента отражения при условии нормального падения света на отражающую плоскость, можно получить следующее соотношение:

$$R = \left| \frac{\varepsilon^{1/2} - 1}{\varepsilon^{1/2} + 1} \right|^2 = \frac{\varepsilon^{1/2} - 1}{\varepsilon^{1/2} + 1} \cdot \frac{\hat{\varepsilon}^{1/2} - 1}{\hat{\varepsilon}^{1/2} + 1}, \quad (6)$$

где $\hat{\varepsilon} = \varepsilon_1 - i\varepsilon_2$ есть величина, комплексно сопряженная ε . После необходимых преобразований (6) можно привести к следующему виду:

$$R = \frac{(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2} - 2\text{Re}(\varepsilon_1 + i\varepsilon_2)^{1/2} + 1}{(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2} + 2\text{Re}(\varepsilon_1 + i\varepsilon_2)^{1/2} + 1}. \quad (7)$$

Нетрудно видеть, что реальная часть величины $(\varepsilon_1 + i\varepsilon_2)^{1/2}$ равна n_1 . Эту зависимость $n_1 = f(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$, $n_1^4 - \varepsilon_1 n_1^2 - \varepsilon_2^2/4 = 0$ можно использовать, чтобы в явном виде выразить значения средних членов в числителе и знаменателе уравнения (7). В конечном итоге получаем соотношение, которое можно использовать в обратной задаче — построении спектральной зависимости $R(E)$ по известным значениям мнимой и действительной части диэлектрической проницаемости исследуемого материала [24]:

$$R = \frac{(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2} - [2\varepsilon_1 + 2(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2}]^{1/2} + 1}{(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2} + [2\varepsilon_1 + 2(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2}]^{1/2} + 1}. \quad (8)$$

Для исследованных образцов $CdTe$, $ZnTe$, $HgTe$ твердых растворов $CdHgTe$, $ZnHgTe$, $CdZnTe$ и $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$ ($0.9 < x < 0.22$, $0.02 < y < 0.17$) экспериментальные и рассчитанные согласно (8) спектральные зависимости $R(\omega)$ удовлетворительно совпадали друг с другом.

4. Заключение

В настоящей работе были проведены исследования оптических свойств полупроводникового твердого раствора $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$ в УФ-, видимой и ИК-областях спектра. Найдены соотношения, позволяющие по положению особых точек E_0 и E_1 в оптических спектрах оценивать состав x и y данного материала. Получено хорошее соответствие теоретических и экспериментальных результатов в области составов $Cd_xHg_{1-x-y}Zn_yTe$ $0.9 < x < 0.22$, $0.02 < y < 0.17$.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 03-02-16938 и проекта НШ-1700.2003.3.

Список литературы

- [1] N.L. Bazhenov, V.I. Ivanov-Omskii, K.E. Mironov, V.F. Movile. ФТП, **22**, 1258 (1988).
- [2] K. Takita, N. Uchino, K. Masuda. Semicond. Sci. Technol., **5**, S277 (1990).
- [3] G.G. Tarasov, Yu.I. Mazur, M.P. Lisitsa, S.R. Lavoric, A.S. Rakitin, J.W. Tomm, A.P. Litvinchuk. Semicond. Sci. Technol., **14**, 187 (1999).
- [4] Н.П. Гавалешко, В.В. Тетеркин, Ф.Ф. Сизов, С.Ю. Паранчич. Неорг. матер., **28**, 2276 (1992).
- [5] S. Takeyama, S. Narita. J. Phys. Soc. Japan, **55**, 274 (1986).
- [6] О.А. Боднарук, А.В. Марков, С.Э. Остапов, И.М. Раренко, А.Ф. Слонецкий. ФТП, **34**, 430 (2000).
- [7] А.М. Андрухив, К.Е. Миронов. Высокочистые вещества, **2**, 139 (1993).
- [8] S.N. Ekpenuma, C.W. Myles. J. Vac. Sci. Technol. A, **7**, 321 (1989).
- [9] A. Andrukiv, G. Khlyap, M. Andrukiv. J. Cryst. Growth, **198/199**, 1162 (1999).
- [10] P. Sydoruk, G. Khlyap, M. Andrukiv. Cryst. Res. Technol., **36**, 361 (2001).
- [11] А.М. Андрухив, О.А. Гадаев, В.И. Иванов-Омский, Э.И. Цидильковский. ФТП, **27**, 348 (1993).
- [12] Y.V. Bezsmolnyu. Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A, **458**, 461 (2001).
- [13] В.А. Тягай, О.В. Снитко. *Электроотражение света в полупроводниках* (Киев, Наук. думка, 1980).
- [14] P. Koppel. J. Appl. Phys., **57**, 1705 (1985).
- [15] T. Toshifumi, S. Adachi, H. Nakanishi, K. Ohtsuka. Jap. Appl. Phys., **32**, 3496 (1993).
- [16] C.K. Williams, T.H. Glisson, J.R. Hauses, M.A. Littlejohn. J. Electron. Mater., **7**, 639 (1978).
- [17] S.E. Ostapov, O.A. Bodnaruk, I.N. Gorbatiuk, I.M. Rarenko. *School-Conf. PPMSS* (Chernivtsi, Ruta, 1995).
- [18] G.L. Hansen, J.L. Schmit, T.N. Casselman. J. Appl. Phys., **53**, 7099 (1982).
- [19] K. Joswikowski, A. Rogalski. Infrared Phys., **28**, 101 (1988).

- [20] J. Lee, N.G. Giles, D. Rajavel, C.J. Summers. Phys. Rev. B, **49**, 668 (1994).
- [21] R. Granger. *Properties of Narrow Gap Semiconductors*, ed. P. Capper (London, INSPEC, IEE, 1994).
- [22] L. Vina, C. Umbach, M. Cardona, L. Vodopyanov. Phys. Rev. B, **29**, 6752 (1984).
- [23] E.M. Larramendi, E. Purón, O. de Melo. Semicond. Sci. Technol., **17**, 8 (2002).
- [24] А.И. Белогорохов, Ю.А. Пусеп. Препринт ИФП СО РАН, № 13, 1 (1987).

Редактор Л.В. Беляков

Band gap determination and optical properties of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ in UV- and visible spectral region

A.I. Belogorokhov, A.A. Florentsev, I.A. Belogorokhov, N.V. Pashkova, A.V. Elyutin*

State Research Institute for Rare-Metals Industry,
119017 Moscow, Russia
* Moscow State University,
119899 Moscow, Russia

Abstract Investigation of the optical properties of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ semiconductor solid solution in UV-, visible and IR-regions has been made. Theoretical relations, obtained in this work, allow to determine the composition x and y of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ dependence of the E_0 and E_1 critical points. Good agreement has been obtained between theoretical and experimental data at $0.09 < x < 0.22$, $0.02 < y < 0.17$.