

53
AG7

671/— P-P

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УССР
Киевский государственный педагогический институт
им. А.М.Горького

на правах рукописи

Анищенко
Валерий Алексеевич

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ГЕТЕРОВАЛЕНТНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ
С ТЕЛЛУРИДАМИ КАДМИЯ И ЦИНКА

/01.04.10 - физика полупроводников и
диэлектриков/

/Диссертация написана на русском языке/

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Киев-1974

НБ НПУ
імені М.П. Драгоманова



100310680

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УССР
Киевский государственный педагогический институт
им. А.М.Горького

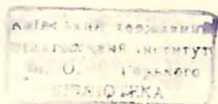
на правах рукописи

Анищенко
Валерий Алексеевич

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ГЕТЕРОВАЛЕНТНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ
С Т ЕЛУРИДАМИ КАДМИЯ И ЦИНКА

/01.04.10 - физика полупроводников и
диэлектриков/

/Диссертация написана на русском языке/



А в т о р о ф е р а т
диссертация на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Киев-1974

Работа выполнена в Киевском государственном педагогическом институте им. А.М.Горького.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,
доцент А.Э.Войцеховский.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Ф.П.Кесаманды;
кандидат физико-математических наук,
доцент Бродовой В.А.

Ведущая организация: Черновицкий государственный
университет.

Автореферат разослан " " _____ 1974 г.

Защита состоится " " _____ 1974 г.

на заседании Ученого Совета физико-математического факультета
Киевского государственного педагогического института им.А.М.
Горького.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв на автореферат просим выслать по адресу:

252030, Киев-30, ул.П.рогана 9,

Ученому секретарю.

Ученый секретарь совета

/И.И.Тичина/.

Развитие радиоэлектроники, автоматики, энергетики, вычислительной техники и других областей знания неразрывно связано с достижениями в области физики полупроводников и полупроводникового материала изделия.

Среди многочисленных исследований новых полупроводниковых материалов большое внимание уделяется изучению твердых растворов. Интерес к ним обусловлен тем обстоятельством, что твердые растворы зачастую позволяют получать материалы с оптимальным сочетанием свойств, что может оказаться полезным для практики. Однако изучение твердых растворов на основе соединений $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{VI}$ представляет интерес не только для увеличения числа материалов, используемых в технике, но и для решения целого ряда важнейших задач, связанных с выяснением условий легирования полупроводниковых соединений взаимнокомпенсирующими примесями, исследованием специфических свойств твердых растворов и влиянием разупорядочения на зонную структуру исходных соединений.

При исследовании сложных полупроводниковых фаз, в первую очередь, вызывает интерес твердые растворы на основе хорошо изученных и практически важных полупроводниковых соединений. С точки зрения практического применения арсенид галлия является в настоящее время одним из наиболее перспективных материалов /фотоэлементы, туннельные диоды, полупроводниковые лазеры, генераторы Ганна и т.д./, а цинк, кадмий, теллур являются важнейшими легирующими добавками в $GaAs$ и выяснение условий взаимодействия взаимнокомпенсирующих примесей в арсениде галлия может способствовать улучшению качества приборов, работающих на р-п переходах, а также более глубокому пониманию явлений, происходящих в самих р-п переходах.

Из вышеизложенного вытекает актуальность и перспективность исследования твердых растворов гетеровалентного замещения типа $A^{III}B^V - A^{II}B^{VI}$.

Поэтому задачей настоящей работы было изучение возможности образования твердых растворов арсенида галлия с теллуридами кадмия и цинка, а также исследование электрических и опти-

ческих свойств полученных сплавов с целью определения их основных полупроводниковых параметров, изучения закономерностей поведения носителей заряда и особенностей зонной структуры.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и списка литературы.

В первой главе дан обзор литературных данных по физическим свойствам твердых растворов $(A^{IV}B^{VI})_x(A^{II}B^{VI})_{1-x}$. Особое внимание обращается на изменения зонной структуры сплавов в зависимости от состава и на механизмы рассеяния в смешанных кристаллах. Показана ограниченность данных по исследованию физических свойств гетеровалентных твердых растворов типа $A^{IV}B^{VI} - A^{II}B^{VI}$ и обоснована необходимость проведения исследований в этом направлении.

Во второй главе излагаются результаты исследования возможности образования твердых растворов $(GaAs)_x(A^{II}B^{VI})_{1-x}$ ($A^{II}B^{VI} - ZnTe, CdTe$). технология получения этих материалов в виде монокристаллов и слитков, состоящих из нескольких монокристаллических блоков, а также результаты физико-химических исследований /рентгенструктурный, микроструктурный, микрорентгеноспектральный, химический, термографический, электронномикроскопический и масс-спектрометрический анализ/ полученных сплавов.

Синтез твердых растворов обеих систем проводился двухтемпературным методом в эвакуированных кварцевых ампулах путем сплавления стехиометрических количеств элементов при температуре 1255°C для сплавов, обогащенных $GaAs$, и 1150-1160°C для сплавов на основе теллурида кадмия.

Для получения монокристаллических и крупнокристаллических образцов твердых растворов $(GaAs)_x(ZnTe)_{1-x}$, $(GaAs)_x(CdTe)_{1-x}$ были применены методы направленной кристаллизации, зонного выравнивания и химических транспортных реакций в закрытом объеме.

Методами рентгеноструктурного, микрорентгеноспектрального и химического анализов показано, что в средней части слитков

твердых растворов, полученных методом направленной кристаллизации, исходный состав, в основном, сохраняется.

На основании данных рентгеноструктурного, микроструктурного, термографического и электронномикроскопического анализов установлены примерные области существования гомогенных твердых растворов в системах $Ga-As-Zn-Te$ и $Ga-As-Cd-Te$. Растворимость теллуридов цинка и кадмия в $GaAs$ составляет соответственно 15 и 5% мол. Область растворимости арсенида галлия в теллуриде цинка ограничена 30% мол. $GaAs$, а в теллуриде кадмия - 10% мол. $GaAs$.

Третья глава посвящена исследованию электрических и тепловых свойств сплавов $(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x > 0,9$), $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x > 0,95$) в широком интервале температур. Приводятся методики измерения эффектов переноса и анализ погрешностей, возникающих при определении кинетических коэффициентов.

Исследования эффекта Холла и дифференциальной термоэдс при $T = 300^\circ K$ показали, что сплавы $(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x > 0,85$) обладают дырочной проводимостью, а сплавы $(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x < 0,8$) и $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x > 0,95$; $x \leq 0,1$) - электронной. Основные параметры полученных твердых растворов приведены в таблице I.

На кристаллах сплавов $(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x > 0,9$) $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x > 0,95$) различного состава были проведены исследования температурных зависимостей удельной электропроводности σ , коэффициента Холла R (83-900°K), коэффициента поперечного эффекта Нернста-Эттингсгузена $Q/100-800K$ и дифференциальной термоэдс α_0 при $T = 296^\circ K$. В исследованном интервале температур образцы сплавов находятся в вырожденном состоянии и обладают примесной проводимостью. Удельная электропроводность сплавов $(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x > 0,9$) слабо зависит от температуры в интервале 83-350°K, а при $T > 350^\circ K$ резко уменьшается. Коэффициент Холла остается постоянным во всем исследованном интервале температур /83-900°K/. ...

Таблица I.

| система | № об- ма | состава, разраца X | n; ρ см ⁻³ | σ ом ⁻¹ ·см ⁻¹ | U _n в.сек см ² | α ₀ мкв К | E _{opt} 296°K |
|---|-------------|-----------------------|--------------------------|---|--|----------------------------|---------------------------|
| (GaAs) _x (ZnTe) _{1-x} | 1 | 0,999 | 1,6.10 ¹⁹ | 110 | 44 | 248 | 1,38±0,01 |
| | 2 | 0,995 | 3,5.10 ¹⁹ | 260 | 46 | 178 | - |
| | 8 | 0,99 | 4,9.10 ¹⁹ | 460 | 48 | 168 | 1,36 |
| | 4 | 0,98 | 6,2.10 ¹⁹ | 410 | 41 | 156 | - |
| | 5 | 0,95 | 8,6.10 ¹⁹ | 370 | 27 | 149 | 1,35 |
| | 6 | 0,90 | 1,0.10 ²⁰ | 310 | 22 | 144 | 1,32 |
| (GaAs) _x (CdTe) _{1-x} | I | 1,0 | 9,1.10 ¹⁷ | 300 | 2000 | - | 1,38±0,01 |
| | 2 | 0,999 | 1,8.10 ¹⁸ | 820 | 1100 | 197 | 1,44 |
| | 3 | 0,995 | 3,0.10 ¹⁸ | 390 | 840 | 154 | 1,41 |
| | 4 | 0,99 | 4,5.10 ¹⁸ | 420 | 580 | 125 | 1,39 |
| | 5 | 0,97 | 1,0.10 ¹⁹ | 520 | 320 | 90 | 1,38 |
| | 6 | 0,95 | 1,2.10 ¹⁹ | 570 | 280 | 87 | 1,32 |
| | 7 | 10 ⁻⁵ | - | 3,2.10 ⁻³ | - | - | - |
| | 8 | 10 ⁻⁴ | - | 1,3.10 ⁻³ | - | - | - |
| | 9 | 10 ⁻³ | - | 1,6.10 ⁻⁴ | - | - | - |
| | 10 | 10 ⁻² | 3,1.10 ¹⁶ | 8,2.10 ⁻¹ | 160 | - | 1,42 |
| | 11 | 10 ⁻¹ | 1,9.10 ¹⁶ | 4,9.10 ⁻² | 15 | - | 1,39 |
| | 12 | 0,00 | 1,1.10 ¹⁵ | 6,4.10 ⁻² | 460 | - | 1,58 |

В сплавах (GaAs)_x(CdTe)_{1-x} (x ≥ 0,95) имеет место полная независимость удельной эле. проводности от температуры в области 83-400°K и резкое уменьшение σ при T > 400°K. Коэффициент Холла R в этих сплавах не зависит от температуры в интервале 83-500°K, после чего величина R резко возрастает. Рост коэффициента Холла в сплавах (GaAs)_x(CdTe)_{1-x} (x > 0,99) при высоких температурах объясняется влиянием вышележащего минимума в зоне проводимости. Величина энергетического зазора ΔE₁₂ между нижним и вышележащим минимумами, определенная по температурной зависимости lg(R-R₀)/R₀ = f(1/T), составляет 0,85-0,86 эВ.

По характеру температурных зависимостей подвижности носителей заряда и коэффициента поперечного эффекта Н.-Э. в сплавах $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$) делается вывод о преобладающей роли рассеяния на ионах примеси в температурном интервале 88-400°K. Уменьшение подвижности в области более высоких температур /400-900°K/ объясняется совместным действием рассеяния на ионах примеси и колебаниях решетки.

В сплавах $(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,9$) в области 83-400°K преобладает примесное рассеяние, а при более высоких температурах - рассеяние на акустических колебаниях решетки.

Для согласования экспериментальных величин подвижностей с теорией примесного рассеяния при $T = 78^\circ K$ необходимо допустить, что в исследованных гетеровалентных твердых растворах действуют, по крайней мере, три механизма рассеяния: 1. рассеяние на ионах примеси; 2. рассеяние на колебаниях решетки; 3. рассеяние на комплексах типа диполей $(Zn^{2+}Te^{2-})^0$, $(Cd^{2+}Te^{2-})^0$.

По данным измерений дифференциальной термоэдс и эффекта Холла при комнатной температуре оценены значения эффективных масс плотности состояний носителей заряда для сплавов различного состава. Полученные для твердых растворов $(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,9$) значения эффективных масс дырок $m_p^* = (0,48 \pm 0,07)m_0$ - $(0,6 \pm 0,1)m_0$; $\gamma = 2/$ не зависят в пределах гетерности данного метода от количества теллурида цинка и концентрации дырок в образцах, что свидетельствует о параболичности валентной зоны сплавов.

В сплавах $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$) имеет место концентрационная зависимость эффективных масс электронов /для $\gamma = 2$ $m_n^* = (0,061 \pm 0,006)m_0$ - $(0,076 \pm 0,008)m_0$ / обусловленная непараболичностью зоны проводимости исследованных сплавов. Результаты определения эффективных масс плотности состояний электронов в сплавах $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,97$) по данным α_0 , R , β и Q^1 подтверждают этот вывод.

На твердых растворах обеих систем были проведены измерения коэффициента теплопроводности κ в зависимости от состава и

температуры в интервале 303-403°K. Показано, что в сплавах арсенида галлия с теллуридами кадмия и цинка имеет место значительное уменьшение решеточной теплопроводности $\kappa_{\text{р}}$ по сравнению с $\kappa_{\text{р}}$ арсенида галлия. Уменьшение $\kappa_{\text{р}}$ с ростом температуры объясняется доминирующим влиянием тройфононных и четырехфононных процессов рассеяния в явлениях теплопроводности.

Четвертая глава посвящена исследованию оптических свойств твердых растворов арсенида галлия с теллуридами кадмия и цинка и выяснению особенностей зонной структуры в этих сплавах. Приводятся методики измерения оптических свойств и анализ ошибок, возникающих при определении коэффициентов поглощения и отражения.

Спектральные зависимости коэффициента поглощения $\alpha = f(h\nu)$ для всех сплавов описываются экспонентой /т.е. имеет место правило Урбаха/.

По положению края фундаментального поглощения оценена ширина запрещенной зоны E_{opt} в твердых растворах арсенида галлия с теллуридами кадмия и цинка /табл. I/. Как видно из таблицы, в сплавах арсенида галлия с теллуридом кадмия с содержанием $CdTe$ до 1,0% мол. имеет место увеличение E_{opt} , обусловленное эффектом Бурштейна-Мосса. При дальнейшем увеличении концентрации теллурида кадмия наблюдается уменьшение E_{opt} . Уменьшение ширины запрещенной зоны объясняется образованием "хвостов" плотности состояний в запрещенной зоне сплавов и изменением параметра решетки в зависимости от состава. То обстоятельство, что наклон края поглощения сплавов $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$) не изменяется при повышении температуры от 90 до 296°K свидетельствует о наличии компенсации в сплавах.

Ширина запрещенной зоны E_{opt} твердых растворов $(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,85$) при $T = 296^\circ K$ уменьшается с ростом содержания теллурида цинка /табл. I/. В области низких температур /90°K/ для сплавов с содержанием $ZnTe$ до 1% мол. наблюдается сдвиг Бурштейна-Мосса, обусловленный увеличением степени вырождения дырочного газа при понижении темпера-

туры. В сплавах с более высоким содержанием теллурида цинка имеет место уменьшение E_{opt} . Результаты исследования фотолюминесценции /ФЛ/ сплавов, обогащенных арсенидом галлия, подтверждают факт уменьшения E_{opt} при увеличении концентрации теллуридов цинка и кадмия.

На твердых растворах $(GaAs)_x(CdTe)_{1-x}$ ($x \leq 0,1$) проведены исследования ФЛ /4,2°K/, экситонного отражения /4,2°K/ и спектральных зависимостей коэффициента поглощения α /80°K/ в области края собственного поглощения. Исследование спектров ФЛ показало, что в твердых растворах, в отличие от ФЛ чистого $CdTe$, отсутствует экситонная люминесценция и при $x \geq 10^{-4}$ преобладающей становится полоса в области 1,42 эВ. В спектрах экситонного отражения наблюдается уменьшение размаха дисперсионной кривой отражения, уширение ее при $x < 10^{-2}$ и практически полное размытие структуры спектра при больших значениях x . Спектральные зависимости $\alpha = f(h\nu)$ в твердых растворах $(GaAs)_x(CdTe)_{1-x}$ ($x \leq 0,1$) описываются экспонентой и смещаются в сторону меньших энергий по мере увеличения концентрации $GaAs$ в образцах.

Размытие и исчезновение тонкой структуры спектров ФЛ и отражения в области возбуждения экситонов; а также длинноволновое смещение края собственного поглощения обусловлено, по-видимому, совместным действием таких факторов: 1. ионизацией экситонов в электрических полях хаотически расположенных примесных ионов; 2. образованием "хвостов" плотности состояний; 3. образованием глубоких примесных зон в запрещенной зоне сплавов.

В случае твердого раствора $(GaAs)_{0,1}(CdTe)_{0,9}$ обнаружено аномально сильное уменьшение оптической ширины запрещенной зоны относительно исходного теллурида цинка $\Delta E_{opt} \approx 0,4$ эВ/. Наблюдаемая особенность объясняется в терминах модели глубоких донорных и акцепторных зон, которые могут при определенных обстоятельствах сливаться в собственные зоны, что и приводит к уменьшению E_{opt} .

Исследование фото- и катодолуминоесценции твердого раствора $(GaAs)_{0,1}(ZnTe)_{0,9}$ позволило установить, что рекомбинация неравновесных носителей в этом материале происходит по сложной схеме. Зависимость положения максимумов излучения от энергиями $1,50 \text{ эВ / фл, } 78^{\circ}\text{K/}$ и $1,67 \text{ эВ / кл, } 79^{\circ}\text{K/}$ от уровня возбуждения свидетельствует о донорно-акцепторном механизме рекомбинации в твердом растворе. Ширина запрещенной зоны сплава $(GaAs)_{0,1}(ZnTe)_{0,9}$, определенная по полуширине полосы с максимумом $1,850 \text{ эВ / } 9^{\circ}\text{K, кл /}$, составляет $1,90 \text{ эВ}$. Это значение E_{opt} достаточно хорошо согласуется с величиной $E_{opt} = 1,89 \text{ эВ / } 78^{\circ}\text{K/}$, полученной по данным измерений коэффициента поглощения.

На кристаллах твердых растворов $(GaAs)_x(CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$), $(GaAs)_x(ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,85$) различного состава исследованы спектральные зависимости коэффициента отражения R при $T = 296^{\circ}\text{K}$ в диапазоне длин волн $2-25 \text{ мкм}$. Путем экстраполяции зависимостей $(1 + \sqrt{R})^2 / (1 - \sqrt{R})^2 = f(\lambda^2)$ к $\lambda = 0$ получены значения высокочастотной диэлектрической проницаемости ϵ_{∞} . Величина ϵ_{∞} для всех исследованных сплавов $(GaAs)_x(CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$) находится в пределах $12,0-12,4$. В случае сплавов $(GaAs)_x(ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,85$) $\epsilon_{\infty} = 11,5$. Найденные величины диэлектрической проницаемости сплавов близки к значениям ϵ_{∞} в n - и p - $GaAs$ с такой же концентрацией носителей заряда.

По положению минимума на кривых спектральных зависимостей $R = f(\lambda)$ была оценена эффективная масса проводимости носителей заряда m_{σ}^* . Определение m_{σ}^* проводилось по методу Ли-ла [1].

Эффективная масса дырок в твердых растворах $(GaAs)_x(ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,85$) колеблется в пределах $m_{\sigma}^* = (0,46-0,55)m_0$ и не зависит, с учетом погрешности метода, от количества теллурида цинка и концентрации носителей заряда в сплавах. Это дает основание предположить, что при образовании твердых растворов между $GaAs$ и $ZnTe$ (до 15% мол. $ZnTe$ / существенных изменений в структуре валентной зоны твердых растворов, по сравнению с исходным $GaAs$, не происходит.

В сплавах $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ имеет место сильная концентрационная зависимость эффективной массы электронов $m_e^* = (0,072 \pm 0,008) m_0 - (0,18 \pm 0,02) m_0$; $n = (1,5-15,0) \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, обусловленная непараболическостью зоны проводимости.

По данным измерений эффекта Фарадея $\Delta\Phi/\Phi$ в твердых растворах $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,97$) с $n = (1,2-8,5) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ вычислены значения эффективных масс электронов $m_e^* = (0,076 \pm 0,004) m_0 - (0,107 \pm 0,009) m_0$. Сравнение эффективных масс электронов, полученных по ИК-отражению и ЗФ указывает, что эффективные массы m_e^* возрастают в зависимости от концентрации носителей заряда в твердом растворе более сильно, чем рассчитанные из ЗФ. Такое различие в концентрационных зависимостях $m_e^*(n)$ и $m_e^*(n)$, по-видимому, обусловлено влиянием вышележащего минимума в зоне проводимости сплавов.

С целью получения данных о механизмах рассеяния в твердых растворах $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$) исследовались спектры ИК-поглощения в интервале длин волн 2-8 мкм при $T = 296^\circ \text{K}$. Полученные зависимости коэффициента поглощения α от длины волны определяются выражением $\alpha \sim \lambda^p$, где p изменяется от 3,4 до 2,0 в зависимости от количества теллурида кадмия и концентрации носителей заряда в сплаве. Расчет соотношения механизмов рассеяния в образце с концентрацией $CdTe$ 0,1% мол. / $n = 1,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, а также увеличение отношения α/n для образцов с большей концентрацией теллурида кадмия, дает основание считать, что преобладающим механизмом рассеяния при $T = 296^\circ \text{K}$ является рассеяние на ионах примеси. Уменьшение показателя степени p в зависимости от количества теллурида кадмия, по-видимому, обусловлено тем обстоятельством, что в образцах с $n \approx 10^{19} \text{ см}^{-3}$ / 3 и 5% мол. $CdTe$ поглощение света свободными носителями уже не описывается теорией, развитой Хаммурой [2] и имеет место переход с классической теории поглощения света свободными носителями, описанной Друде.

Для сплавов $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x > 0,97$) проведены измерения оптического отражения в области 2,4-5,6 эВ при $T = 300^\circ \text{K}$. В смешанных кристаллах имеет место схождение пиков в

области 3 и 5 эВ в сторону меньших энергий относительно исходного $GaAs$. Дублетная структура максимума отражения в области 3 эВ, характерная для арсенида галлия, проявляется и в смешанных кристаллах, но менее отчетливо. Согласно литературным данным, этот переход следует рассматривать как переход в точке $\Lambda(\Lambda_3 - \Lambda_1)$. Максимум отражения в области 5 эВ обусловлен переходами в точке $X(X_5 - X_1)$, однако, по последним данным, этот максимум могут быть ответственными и переходы в точках Σ или Δ . Некоторое размытие и смещение низкоэнергетического и высокоэнергетического пиков в сторону меньших энергий объясняется размытием краев зон в области рассматриваемых переходов и изменением параметра решетки в зависимости от состава.

Основные результаты работы можно сформулировать в виде следующих выводов:

1. Синтезированы четырехкомпонентные твердые растворы арсенида галлия с теллуридами цинка и кадмия. Область существования твердых растворов, обогащенных арсенидом галлия, составляет 15% мол. $ZnTe$ и 5% мол. $CdTe$, а растворимость арсенида галлия в теллуридах цинка и кадмия не превышает соответственно 30 и 10% мол.

Образование твердых растворов в системах $Ga - As - Zn - Te$ и $Ga - As - Cd - Te$ подтверждено рентгеноструктурным, микроструктурным, термическим, электронномикроскопическим и массоспектрометрическим анализами.

2. Методами направленной кристаллизации и зонного выравнивания получены монокристаллические и крупнокристаллические образцы твердых растворов $(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,9$), $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$; $x \leq 0,1$). Мелкие кристаллические пластинки твердых растворов $(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x \leq 0,8$) получены методом химических транспортных реакций.

3. Исследованы эффекты переноса в широком интервале температур на гомогенных образцах полученных твердых растворов. Тип проводимости сплавов $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$),

$(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,85$), а также высокая концентрация носителей заряда, обусловлены донорным /сплавы с $CdTe$ / и акцепторным /сплавы с $ZnTe$ / действием избыточных атомов теллура и цинка.

4. В результате измерения температурных зависимостей коэффициента Холла R сплавов $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,99$) обнаружено влияние сложной структуры зоны проводимости сплавов на величину коэффициента Холла. Полученное из эксперимента значение энергетического зазора между минимумами ΔE_{12} составляет $0,95-0,36$ эВ.

5. Исследованы температурные зависимости подвижности носителей заряда в сплавах $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$), $(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,9$) и проведено сравнение экспериментальных величин подвижностей с теорией примесного рассеяния при $T = 78$ и $300^\circ K$. Показано, что для объяснения экспериментальных величин подвижностей в сплавах необходимо допустить наличие, по крайней мере, трех механизмов рассеяния: 1/ рассеяние на ионах примеси; 2/ рассеяние на колебаниях решетки; 3/ рассеяние на комплексах типа диполей $(Zn-Te)^{\circ}$ и $(Cd-Te)^{\circ}$. Результаты исследования температурных зависимостей коэффициента поперечного эффекта Гернста-Эттингсгаузена в сплавах $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,97$), а также спектров ИК-поглощения при $T = 296^\circ K$ ($x \geq 0,95$), подтверждает вывод о преобладающей роли примесного рассеяния в области температур $83-400^\circ K$.

6. Из сравнения экспериментальных и теоретических значений подвижности и измерений края собственного поглощения при $T = 90$ и $296^\circ K$ делается вывод о наличии компенсации в сплавах.

7. По данным измерений дифференциальной термоэдс α_0 в спектрах ИК - отражения твердых растворов $(GaAs)_x (ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,9$), $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$), а также α_0 , R , σ , Q^1 (п. 3.) и эффекта Фарадея в твердых растворах $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,97$) при $T = 296^\circ K$, вычислены эффективные массы носителей заряда. Показано, что валентная со-

на в сплавах $(GaAs)_x(ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,85$) параболична, а зона проводимости в сплавах $(GaAs)_x(CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$) непараболическая.

8. Проведены измерения коэффициента теплопроводности α сплавов, обогащенных арсенидом галлия, в интервале температур 300-425°K. Уменьшение α с ростом температуры объясняется доминирующим влиянием трехфононных и четырехфононных процессов рассеяния в явлениях теплопроводности.

9. Исследован край собственного поглощения сплавов $(GaAs)_x(ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,85$; $x \leq 0,3$) и $(GaAs)_x(CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$; $x \leq 0,7$) при $T = 78, 90$ и $296^\circ K$. Во всех исследованных сплавах наблюдается смещение края собственного поглощения в сторону меньших энергий. Такая зависимость края поглощения сплавов $(GaAs)_x(ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,85$) и $(GaAs)_x(CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$) от состава обусловлена образованием "хвостов" плотности состояний в запрещенной зоне сплавов и изменением параметра решетки.

Сдвиг края собственного поглощения сплавов $(GaAs)_x(CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$), $(GaAs)_x(ZnTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,85$) в сторону меньших энергий объясняется в терминах модели глубоких примесных зон. Образование глубоких донорных и акцепторных зон подтверждается исследованиями фото- и катодoluminesценции.

10. Смещение максимумов отражения в области 3 и 5 эВ в сторону меньших энергий в зависимости от состава твердых растворов $(GaAs)_x(CdTe)_{1-x}$ ($x \geq 0,95$) и уширение этих пиков объясняется изменением зонной структуры твердых растворов в результате уменьшения параметра решетки и размытием краев зон в области рассматриваемых переходов.

11. Проведенные исследования электрических и оптических свойств сплавов арсенида галлия с теллуридами кадмия и цинка позволяют сделать вывод о том, что зонная структура сплавов в областях гомогенности не претерпевает существенных изменений по сравнению с зонной структурой исходного арсенида галлия.

12. Анализ всего проведенного исследования позволяет наметить возможные области применения изученных твердых растворов,

к которым относится производство инжекционных лазеров, туннельных диодов, гетеропереходов и термоэлектрических устройств. Наличие компенсации в сплавах может быть выгодно использовано для понижения порога генерации полупроводниковых лазеров.

Основные результаты исследований докладывались на Всесоюзной конференции по электрическим и оптическим свойствам кристаллов типа A^3B^5 и сложных соединений типа $A^2B^4C_2^5$ /Алхабад, 1971г./, на IV Республиканском симпозиуме по полупроводниковому материаловедению /Львов, 1972 г./, на V Всесоюзном совещании по электролюминесценции /Ставрополь, 1973 г./, на научных семинарах отраслевой лаборатории физики полупроводников и на отчетно-научных конференциях кафедр Киевского госпединститута им. А.М.Горького /Киев, 1969-1973 г./ и опубликованы в работах:

1. В.А.Анищенко, А.В.Войцеховский, А.Д.Пашун. Всесоюзная конференция по электрическим и оптическим свойствам кристаллов типа A^3B^5 и сложных соединений типа $A^2B^4C_2^5$. Тезисы докладов. Изд. "Чилы", Алхабад, 1971, стр. 34.

2. В.А.Анищенко, А.В.Войцеховский. Сб. "Физика твердого тела", изд. КГПИ им. А.М.Горького, Киев, 1972, стр.26.

3. А.В.Войцеховский, Н.Г.Вялый, В.А.Анищенко, А.Д.Пашун, И.Т.Марончук, В.С.Коваленко. У Всесоюзное совещание по электролюминесценции. Тезисы докладов. Изд. АН СССР, Москва, 1973, стр. 129.

4. В.А.Анищенко. Журнал физической химии, XIУП, 2431, 1973.

5. В.А.Анищенко, А.В.Войцеховский, В.Е.Шарченко. Украинский физический журнал, 18, 1735, 1973.

6. В.А.Анищенко, А.В.Войцеховский, А.Д.Пашун. Сб. "Актуальные вопросы физики твердого тела", изд. КГПИ им.А.М.Горького, Киев, 1973, стр. 38.

7. В.А.Анищенко, А.В.Войцеховский, А.Д.Пашун. Сб. "Актуальные вопросы физики твердого тела", изд. КГПИ им. А.М.Горького, Киев, 1973, стр. 36.

Л и т е р а т у р а

1. Н. Lyden. Phys. Rev., 134, A1106, 1964.

2. К. Hega, Н. Kimura, J. Phys. Soc. Japan, 19, 471, 1964;
19, 658, 1964.

БД 26402 27.И.74 г. тир. 200 экз. I печ. лист ф-т 60x84/16

Зак. 353 ЯАБ-у ФОТО-ОСЕТНОЙ ПЕЧАТИ ИППИ.
