

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УССР

КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ им. А. М. ГОРЬКОГО

На правах рукописи

*СЕРЫЙ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ*

**Исследование физических свойств  
полупроводникового соединения  $CdGeP_2$   
в зависимости от степени упорядочения**

(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

К и е в—1974

НБ НПУ  
імені М.П. Драгоманова



100313823

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

Научные руководители:

доктор физико-математических наук, доцент И.В.Потыкевич,  
кандидат физико-математических наук, доцент И.И.Тычина.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Сорин Л.А.

Кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник Болтовец Н.С.

Внешний член - кафедры физики

Ужгородского государственного университета.

Автореферат разослан " 7 " мврта 197б г.

Защита диссертации состоится "     "     "     197 г.  
на заседании Ученого совета физико - математического  
факультета Киевского государственного педагогического  
института им.А.М.Горького/252030, Киев-30, ул.Пирогова, 9/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

/ И.И.ТЫЧИНА /

Развитие современной полупроводниковой техники в значительной степени определяется успехами в изыскании их физических свойств. Поиски новых полупроводниковых материалов в последнее время идут по пути усложнения структуры полупроводников.

Особое внимание, как в Советском Союзе, так и за рубежом, в настоящее время уделяется тройным алмазоподобным полупроводникам типа  $A^2B^4C_2^5$ . Общие условия образования сложных полупроводниковых фаз были установлены профессором Ленинградского физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР Н. А. Горюновой.

Первоначальное исследование физических свойств соединений типа  $A^2B^4C_2^5$  показали, что по ряду параметров они не уступают, а часто и превосходят классические полупроводники кремний и германий и соединения  $A^3B^5$  и  $A^2B^6$ . Усложнение состава приводит к появлению в тройных соединениях ряда особенностей, которые не наблюдаются в их бинарных аналогах: усложнения зонной структуры, анизотропия физических свойств, явления разупорядочения, расширение области гомогенности. Эти особенности приводят к появлению в полупроводниках  $A^2B^4C_2^5$  двулучепреломления, значительного электрон-ионного взаимодействия, значительной нелинейной восприимчивости, сильной зависимости физических свойств от условий выращивания, влияния степени упорядочения на свойства материала. Упомянутые особенности проявляются в соединении  $CdGeP_2$ , в частности, это соединение может существовать в различных структурных модификациях /халькопирит, сфалерит, стекло/. Поэтому  $CdGeP_2$  /одного и того же состава/ представляет собой весьма удобный объект, позволяющий изучать физические свойства при различных степенях разупорядочения.

Первая глава диссертации содержит литературный обзор по физическим и физико-химическим свойствам соединения  $\text{CdGeP}_2$ .

Выращивание монокристаллов соединения  $\text{CdGeP}_2$  является сложной задачей. Известно, что давление паров компонентов, входящих в состав соединения, резко различается. Область гомогенности соединения  $\text{CdGeP}_2$  значительна, особенно по элементу четвертой группы - германию. К настоящему времени не существует полной P-T-X диаграммы состояния соединения. Склонность к трещинообразованию, обусловленная значительным тетрагональным сжатием кристаллической решетки, затрудняет выращивание крупных монокристаллов особенно методом кристаллизации из стехиометрического расплава. Кроме того, вероятность образования структурных дефектов соединений типа  $\text{A}^2\text{B}^4\text{C}_2^5$  большая, чем в их изоэлектронных аналогах.

Исследуемое соединение высокоомное, обладает малой подвижностью и концентрацией носителей, поэтому измерение гальваномагнитных свойств материала затруднено. В связи с этим актуальность проведения оптических исследований кристаллов  $\text{CdGeP}_2$  является неоспоримой при изучении зонной структуры.

В литературе имеются сведения о теоретических расчетах зонной структуры  $\text{CdGeP}_2$  /В.А.Чалдышев, Ф.Н.Гашимзаде и др./ . Теоретические расчеты показали, что наличие аналогии в кристаллической структуре соединений  $\text{A}^3\text{B}^5$  и  $\text{A}^2\text{B}^4\text{C}_2^5$  сказывается на зонной структуре, а общие черты зонной структуры сфалерита сохраняются в халькопирите. Экспериментальные исследования подтвердили сложность зонной структуры соединений  $\text{A}^2\text{B}^4\text{C}_2^5$  по сравнению с их изоэлектронными аналогами. Однако, проведенные расчеты и выполненный эксперимент не дают полной картины энергетического зонного спектра. С целью уточнения зонной структуры соединения  $\text{CdGeP}_2$  необходимо дальнейшее исследование его физических, в частности оптических свойств.

Возможности практического применения соединения  $\text{CdGeP}_2$  полностью не определены, хотя есть рекомендации об использовании этих кристаллов в качестве материала для нелинейной оптики и для создания солнечных батарей. Стеклообразный  $\text{CdGeP}_2$  перспективен для функциональной микроэлектроники. Исследования электрических свойств  $\text{CdGeP}_2$  с различной степенью упорядочения /кристалл-ситалл-стекло/ показали, что этот материал обладает высокой температурной чувствительностью, поэтому возникает необходимость проведения исследований пригодности его для создания термисторов.

Анализ литературных данных приводит к постановке задач исследований:

1. Изучить влияние способа выращивания монокристаллов на некоторые физические свойства соединения  $\text{CdGeP}_2$ . Усовершенствовать технологию получения стеклообразного  $\text{CdGeP}_2$ .

2. С целью уточнения зонной структуры кристаллов соединения  $\text{CdGeP}_2$  провести исследования оптических свойств.

3. Изучить влияние степени упорядочения на ИК-спектры соединения  $\text{CdGeP}_2$  /стекло-ситалл-кристалл/.

4. Провести исследование электрических свойств  $\text{CdGeP}_2$  и определить основные параметры термистора, построенного на основе стеклообразного  $\text{CdGeP}_2$ .

Вторая глава посвящена описанию методики получения кристаллов  $\text{CdGeP}_2$  методом зонной перекристаллизации и методом газотранспортных реакций с использованием хлора в качестве транспорта.

Выращивание монокристаллов газотранспортным методом проводилось в двухзонной печи в эвакуированных ампулах из кварцевого стекла. При проведении экспериментов выяснялось влияние на рост монокристаллов температурных условий, концентрации

транспортера, формы и размеров ампул.

Установлено, что температурный градиент, обеспечивающий пересыщение, отвечающее нормальному росту кристаллов, составляет 25-30°C. При концентрации хлора 4 мг/см<sup>3</sup> в ампулах диаметром 18 мм и длиной 160 мм были получены образцы в виде призм с правильной огранкой /9×2×2 мм<sup>2</sup>/, а также объемные монокристаллы в форме пирамид с хорошо развитыми естественными гранями {112} и {004}.

В работе показана принципиальная возможность выращивания монокристаллов CdGeP<sub>2</sub> методом зонной перекристаллизации. Отмечается, что при выращивании монокристаллов были использованы монокристаллические затравки. Методом зонной перекристаллизации получены образцы в виде слитков длиной 3,5 см и диаметром 1,5 см.

Соединение CdGeP<sub>2</sub> получено в стеклообразном состоянии. Раньше эти стекла получали путем закалки расплава в воде. Более эффективный метод получения стекол CdGeP<sub>2</sub> - это метод закалки в расплавленных металлах. Такая методика позволила не только увеличить процент выхода готовой продукции, но и способствовала получению качественных однородных слитков. На основе проведенных экспериментов был подобран оптимальный технологический режим получения стеклообразного CdGeP<sub>2</sub> с воспроизводимыми физическими свойствами. Такая методика дала возможность получать цилиндрические образцы стеклообразного CdGeP<sub>2</sub> диаметром 8 мм и длиной 4-5 см.

Усовершенствована технология получения стеклокристаллических материалов с различной долей закристаллизованности CdGeP<sub>2</sub>. Степень кристалличности материала оценивалась рентгеновским методом и методом исследования электропроводности.

Как показали А.С.Боршевский и Ю.К.Унцалов, соединение CdGeP<sub>2</sub> обладает широкой областью гомогенности /по разрезу CdP<sub>2</sub> - CdGeP<sub>2</sub>

в нем растворяется до 20 мол. %  $\text{CdF}_2$  и 10 мол. % Ge по разрезу  $\text{Ge-CdGeF}_2$ , что обусловило необходимость контроля распределения взаимосвязанных компонентов. Исследования выполнены методом локального рентгеноспектрального анализа с помощью микроанализатора "Cameca". Установлено, что метод зонной перекристаллизации и газотранспортный метод дают возможность получать монокристаллы  $\text{CdGeF}_2$ , состав которых соответствует химической формуле. Количественный анализ концентраций компонентов стеклообразного  $\text{CdGeF}_2$  указывает на то, что состав стекол несколько обеднен фтором, это связано с особенностями технологического процесса их получения.

Третья глава диссертации посвящена исследованиям оптических свойств  $\text{CdGeF}_2$ .

Используя данные оптических измерений по междузонному поглощению вблизи критических точек зоны Бриллюэна, можно определить зонную структуру в широкой области энергий.

Для получения информации о свойствах энергетических зон проведены исследования спектров отражения в области энергий падающих фотонов 1,6-5,2 эв при комнатной температуре в естественном и поляризованном свете. Анализ спектров оптического отражения позволяет заключить, что основные черты в зонном спектре соединения  $\text{CdGeF}_2$  сохраняются такими, как в их бинарных аналогах  $\text{A}^3\text{B}^5$  и  $\text{A}^2\text{B}^6$ . Такая аналогия дала возможность интерпретировать максимумы отражения  $\text{CdGeF}_2$  междузонными переходами в определенных точках зоны Бриллюэна, которые соответствуют точкам  $\Gamma$  и  $\Delta$  зоны Бриллюэна в орто-рhomбе.

Целью является сравнение спектров отражения стеклообразного  $\text{CdGeF}_2$  с кристаллическим. Максимумы в спектрах стекол с энергиями  $E_1=2,4$  эв и  $E_2=4,1$  эв. размыты и несколько сдвинуты в сторону меньших энергий по отношению к положению максимумов в монокристаллах. Размытие и смещение полос в стеклообразном  $\text{CdGeF}_2$  можно объяснить размы-

нием краев зон аморфных полупроводников.

Детальное исследование краев фундаментального поглощения проводилось на монокристаллах, выращенных методом зонной перекристаллизации и газотранспортным методом в естественном и поляризованном свете в интервале температур 4,2-293°К. В работе представлены спектры поглощения монокристаллов  $CdGeP_2$ , полученных газотранспортным методом, на которых впервые обнаружены две четко выраженные полосы 1,807 эв / $\vec{E} \parallel \vec{C}$ / и 1,785 эв / $\vec{E} \perp \vec{C}$ / при температуре 80°К. При повышении температуры до комнатной обе полосы сдвигаются в более длинноволновую область и размываются так, что полоса  $\vec{E} \perp \vec{C}$  полностью исчезает. Температурный коэффициент смещения обеих полос хорошо согласуется с температурным коэффициентом смещения ширины запрещенной зоны. Узкие полосы должны соответствовать прямым переходам в экситонное состояние  $n=2$  расщепленное кристаллическим полем на две компоненты, как это уже наблюдалось в соединении  $CdSiP_2$ <sup>4</sup>. Малая интенсивность указанных полос свидетельствует о том, что переходы являются прямыми запрещенными, поэтому линию, связанную с переходом в экситонное состояние  $n=1$ , обнаружить не удалось. Таким образом, в кристаллах  $CdGeP_2$  обнаружена тонкая структура спектров поглощения, которая связана с прямыми запрещенными переходами в экситонное состояние.

Исследование поглощений в поляризованном свете показало, что важной особенностью монокристаллов  $CdGeP_2$  является наличие в них дихроизма /зависимости коэффициента поглощения от поляризации светового луча/, что обусловлено расщеплением валентной зоны. Изменение дисперсии показателя преломления от 0,02 до 0,04 в интервале энергий 1,14-1,4 эв для обычного  $\vec{E} \parallel \vec{C}$  и необычного  $\vec{E} \perp \vec{C}$  лучей, подтверждает наличие в кристаллах двулучепреломления. Наличие дихроизма и двойного лучепреломления подтверждает перспектив-

---

И.С.Горбань, В.В.Луговский, В.И.Гадзивиц, ФТТ, 14, 1972.



ность применения материала  $CdGeP_2$  в приборах по нелинейной оптике.

Нами было исследовано влияние способа выращивания монокристаллов  $CdGeP_2$  на спектре рекомбинационного излучения /РИ/. Исследование излучения проводилось при возбуждении пучком быстрых электронов с помощью электронной пушки с энергией электронов 50-70 кэВ в интервале температур 11-300°K. Применяемая методика позволила получить спектры РИ монокристаллов, выращенных методом газотранспортных реакций. При 12°K и плотности тока 3 а/см<sup>2</sup> удалось обнаружить в спектрах две серии полос с энергиями 1,79; 1,77; 1,75 эВ и 1,72; 1,695; 1,685 эВ. Структуры спектров РИ не удалось обнаружить на монокристаллах, полученных методом зонной перекристаллизации.

Для установления зависимости спектров пропускания в ИК-области от степени упорядочения в  $CdGeP_2$  проведены исследования на монокристаллах, ситаллах и стеклах в естественном свете при комнатной температуре.

Спектр пропускания кристаллического  $CdGeP_2$  состоит из ряда минимумов в области 14 и 18 мкм, которые находятся в определенном соответствии с поперечными и продольными комбинациями кристаллической решетки. Спектр пропускания стеклообразного  $CdGeP_2$  не имеет подобной структуры и представляет собой плавную кривую, имеющую 3 слабо выраженных минимума в области 10, 14 и 18 мкм. Полосы размыты, имеют значительную ширину и несколько смещены в длинноволновую область относительно соответствующих им полос в кристаллическом  $CdGeP_2$ .

По мере увеличения времени отжига стекла до 60 часов увеличивается интенсивность наблюдаемых полос в спектре, уменьшается их ширина. В случае отжига образца в течение 75 часов при температуре 475°С в спектре пропускания наблюдается расщепление полос в области 18 мкм, свойственное кристаллическому  $CdGeP_2$ . Таким образом,

с помощью анализа спектров ИК-области можно утверждать, что степень закристаллизованности стекол в процессе отжига увеличивается, это подтверждается данными рентгеновского анализа. Проявление основных полос в стеклах  $CdGeP_2$ , по-видимому, связано с сохранением ближнего порядка.

Исследования спектров пропускания стекол  $CdGeP_2$  и ИК-области показали, что материал имеет большую прозрачность в области 2-20 мкм /порядка 40-50%/, обладает крутым краем поглощения, поэтому является перспективным для фильтров инфракрасной оптики.

Имеющиеся в литературе данные о колебаниях решетки в кристаллах типа  $A^2B^4C_2^6$  указывают на сложность их спектров. Для анализа указанных процессов были сняты спектры пропускания и отражения на монокристаллах  $CdGeP_2$  в поляризованном свете. Исследования проводились с помощью спектрометра  $Ds-30I$  в области длин волн 1-40 мкм с разрешением не менее  $1000\text{ см}^{-1}$  на 1 см. Поляризатором в установке служила пластинка *АрА*.

На основе теоретико-группового анализа можно предсказать основные свойства колебательных спектров для  $\Gamma$ -точки зоны Бриллюэна монокристаллов  $CdGeP_2$ , имеющих кристаллическую решетку халькопирита. В таблице 1 приведены характеры неприводимых представлений группы  $D_{2d}^{13}$ , симметрия базисных функций, распределение оптических и акустических колебаний  $CdGeP_2$  по неприводимым представлениям и их активность в инфракрасном /ИК/ спектре, а также в спектре комбинационного рассеяния /КР/. Из таблицы следует, что в ИК-спектре будут активны 9 оптических частот. Три из них можно наблюдать при  $\hat{E} \parallel \hat{C}$ , а шесть активны при  $\hat{E} \perp \hat{C}$ .

В таблице 2 приведены значения основных частот, которые были определены по спектрам пропускания и отражения в области 250-450  $\text{см}^{-1}$ .

Переходя к двухфононным спектрам, нужно отметить, что соглас-

Таблица 1.

$\Delta_{\text{вс}}$	E	$2S_4$	$C_2$	$2C_2$	$2C_4$	симметрия	опт.	ак.	актив-ность
$A_1 (\Gamma_1)$	1	1	1	1	1	$x^2 + y^2, z^2$	-	-	КР
$A_2 (\Gamma_2)$	1	1	1	-1	-1	-	2	-	-
$B_1 (\Gamma_3)$	1	-1	1	1	-1	$x^2 - y^2$	3	-	КР
$B_2 (\Gamma_4)$	1	-1	1	-1	1	$xy, x$	3	1	КР, ИК
$E (\Gamma_5)$	2	0	-2	0	0	$x, y$	6	1	КР, ИК

Таблица 2.

$\bar{E} \perp \bar{C}$			$\bar{E} \parallel \bar{C}$		
неприводимые представления	$\nu$	$\text{см}^{-1}$	неприводимые представления	$\nu$	$\text{см}^{-1}$
$E (\Gamma_4)$	$\nu_1$	392	$B_2$	$\nu_6$	400
$E (\Gamma_4)$	$\nu_2$	386	$B_2$	$\nu_7$	309
$E (\Gamma_4)$	$\nu_3$	354	$B_2$	$\nu_8$	294
$E (\Gamma_4)$	$\nu_4$	290			
$E (\Gamma_4)$	$\nu_5$	177			
$E (\Gamma_4)$	$\nu_2$	450			

но теоретико-групповым соображениям, представленным в таблице I, при  $\bar{E} \mid \bar{C}$  будут активны все обертоны и составные частоты, относящиеся к неприводимому представлению E. Кроме того, в этой же поляризации будут активны частоты  $\nu_2$  в комбинации с частотой  $\nu_1$ . В поляризации  $\bar{E} \mid \bar{C}$  будут активны частоты представления  $E/\Gamma_4'$  в комбинации со всеми с-атомными, не относящимися к  $E/\Gamma_4'$ .

В таблице 3 приведены значения обертоновых и составных колебаний, вытекающих в соответствии с правилами отбора из возможных комбинаций составных частот. Здесь же приведены частоты наблюдаемых полос, которые по спектральному положению можно отнести к подходящим комбинациям основных частот.

В конце таблицы приведены частоты, соответствующие таким наблюдаемым полосам поглощения, которые не удается поставить в соответствие комбинациям колебаний активных в инфракрасном спектре. Возможно, их интерпретацию можно будет получить, когда будут известны частоты колебаний, активных в спектрах комбинационного рассеяния.

Четвертая глава диссертации посвящена изучению электрических свойств стеклообразного  $\text{CdGeP}_2$ .

Интенсификация исследований аморфных полупроводников обусловлена непрерывно возрастающим использованием их в технике.

Исследования электрических свойств стекол  $\text{CdGeP}_2$  обусловлено выяснением пригодности этого материала в качестве рабочего тела термистора.

Исследована температурная зависимость электронного числа стеклообразного  $\text{CdGeP}_2$  в интервале температур 20-540°С. Построен график зависимости  $\ln p = f(1/T)$ . Наклон прямой в указанном интервале температур различен. Условно можно выделить три области: низкотемпературная /20-442°С/, верхний предел которой определен температурой, близкой к температуре размягчения стеклообразного  $\text{CdGeP}_2$ ;

Таблица 3.

Е И С			Е I С		
КОМБИНАЦИЯ	ДОЛЖНО БЫТЬ НАБЛ.		КОМБИНАЦИЯ	ДОЛЖНО БЫТЬ НАБЛ.	
2V <sub>1</sub>	784	-	V <sub>6</sub> + V <sub>1</sub>	792	780
2V <sub>2</sub>	772	768	V <sub>6</sub> + V <sub>2</sub>	786	780
2V <sub>3</sub>	708	708	V <sub>6</sub> + V <sub>3</sub>	754	730
2V <sub>4</sub>	580	575	V <sub>6</sub> + V <sub>4</sub>	690	690
2V <sub>5</sub>	354	354	V <sub>6</sub> + V <sub>5</sub>	577	560
2V <sub>z</sub>	900	900	V <sub>7</sub> + V <sub>1</sub>	701	702
V <sub>1</sub> + V <sub>2</sub>	778	755	V <sub>7</sub> + V <sub>2</sub>	695	690
V <sub>1</sub> + V <sub>3</sub>	746	738	V <sub>7</sub> + V <sub>3</sub>	663	662
V <sub>1</sub> + V <sub>4</sub>	682	678	V <sub>7</sub> + V <sub>4</sub>	599	606
V <sub>1</sub> + V <sub>5</sub>	569	562	V <sub>7</sub> + V <sub>5</sub>	486	479
V <sub>2</sub> + V <sub>3</sub>	740	730	V <sub>5</sub> + V <sub>1</sub>	686	686
V <sub>2</sub> + V <sub>4</sub>	676	668	V <sub>6</sub> + V <sub>2</sub>	680	680
V <sub>3</sub> + V <sub>5</sub>	569	564	V <sub>6</sub> + V <sub>3</sub>	648	630
V <sub>3</sub> + V <sub>4</sub>	644	634	V <sub>2</sub> + V <sub>4</sub>	584	570
V <sub>3</sub> + V <sub>5</sub>	531	534	V <sub>1</sub> + V <sub>5</sub>	371	365
V <sub>4</sub> + V <sub>5</sub>	467	470	V <sub>z</sub> + V <sub>6</sub>	850	840
V <sub>1</sub> + V <sub>z</sub>	842	842	V <sub>z</sub> + V <sub>7</sub>	759	754
V <sub>2</sub> + V <sub>z</sub>	836	836	V <sub>z</sub> + V <sub>6</sub>	744	728
V <sub>3</sub> + V <sub>z</sub>	804	798			
V <sub>4</sub> + V <sub>z</sub>	740	738			
V <sub>5</sub> + V <sub>z</sub>	627	618			
		718			680
		542			712
		521			509
		516			
		512			
		505			
		490			

область 442-507<sup>0</sup>С, соответствующая интервалу размягчения и высокотемпературная область от 507<sup>0</sup>С.

Акцентировалось внимание на изучении низкотемпературной области, т.к. образцы на этом участке температур не претерпевают никаких структурных изменений. Анализируя температурную зависимость электропроводности стекол  $\text{CdGeF}_2$  в области температур 20-442<sup>0</sup>С, отмечаем, что температурный интервал экспоненциального роста сопротивления значительный, крутизна характеристики  $R=f(T)$  велика  $/7 \cdot 10^5 \text{ ом/град. в интервале температур } 117-127^{\circ}\text{C}/$ , структура материала стабильна. Поэтому имеются все основания утверждать, что стеклообразный  $\text{CdGeF}_2$  может быть использован в качестве рабочего тела полупроводникового термистора /ПТР/. В диссертации описано устройство термистора на основе  $\text{CdGeF}_2$ , приведены его некоторые параметры и характеристики.

Теоретический расчет линейных участков стационарных ВАХ термисторов хорошо согласуется с экспериментальным. По температурной и вольт-амперной характеристикам построена характеристика рассеяния ПТР.

Выполнен расчет основных параметров термистора, изготовленного на основе стеклообразного  $\text{CdGeF}_2$ : температурного коэффициента сопротивления, коэффициента энергетической чувствительности, коэффициента рассеяния, показателя температурной чувствительности. Проведено сравнение параметров термистора на основе стеклообразного  $\text{CdGeF}_2$  с соответствующими параметрами термисторов, изготовленных промышленностью /СТП-18 и СТП-19/.

Показано, что по основным параметрам термистор на основе стеклообразного  $\text{CdGeF}_2$  не уступает промышленным, а по таким, как коэффициент энергетической чувствительности и температурный коэффициент сопротивления, значительно превосходит термисторы СТП-18 и СТП-19. Необходимо отметить, что стеклообразный  $\text{CdGeF}_2$  обладает

значительной радиационной стойкостью и нечувствителен к примесям.

В работе приводятся результаты исследования переключателей на основе аморфного  $CdGeP_2$ . Исследования стационарных ВАХ переключающих элементов позволяют предположить, что эффект переключения из высокоомного состояния в низкоомное обусловлен тепловым пробоем.

Основные результаты работы можно сформулировать в виде следующих выводов:

1. Разработана технология выращивания монокристаллов соединения  $CdGeP_2$  методом зонной перекристаллизации и методом газотранспортного переноса в хлоридной системе. Установлено, что монокристаллы, выращенные методом химических транспортных реакций, по-видимому, обладают меньшим числом структурных дефектов, чем монокристаллы, выращенные методом зонной перекристаллизации, о чем свидетельствуют данные исследования спектров РИ, края собственного поглощения и процессов рассеяния.

2. Сконструирована установка для получения стеклообразных материалов. Усовершенствование технологии получения стекол  $CdGeP_2$  путем закалки расплава в жидком металле позволило подобрать оптимальный режим изготовления качественных слитков с воспроизводимыми физическими свойствами.

3. Методами микрорентгеноспектрального анализа установлено, что применяемая технология дает возможность получать соединение  $CdGeP_2$ , состав которого соответствует химической формуле.

4. Исследование спектров отражения кристаллического  $CdGeP_2$  в видимой и ультрафиолетовой областях /1,6-5 эв/ в естественном и поляризованном свете показали, что расположение и интенсивность основных пиков как в исследованном соединении, так и в соединениях  $A^3B^5$  со структурой сфалерита, подобны. Однако, спектры отражения кристаллического  $CdGeP_2$  богаче по сравнению со спектрами отражения

соответствующих изоэлектронных аналогов, что обусловлено увеличением числа энергетических зон в халькопирите. Полученные данные согласуются с теоретическими расчетами /А.С. Попплавной, Ю.И. Полыгалов, В.А. Чадлышев, Известия вузов, Физика, №11, 1969 г. и №6, 1970 г./

5. Сравнение изученных спектров отражения кристаллического и стеклообразного  $\text{CdGeP}_2$  показывает, что структура спектра энергетических зон в стеклообразном  $\text{CdGeP}_2$ , по-видимому, сохраняет основные черты структуры зон кристаллического  $\text{CdGeP}_2$ .

6. Исследование структуры длинноволнового края собственного поглощения монокристаллов  $\text{CdGeP}_2$  позволило впервые обнаружить в кристаллах тонкую структуру спектров поглощения, которая связана с прямыми запрещенными переходами в экситонное состояние. Из характера спектра можно сделать вывод о том, что абсолютный минимум зоны проводимости расположен в точке  $\Gamma$  и обусловлен зоной  $\Gamma_3$ .

7. Выводы, полученные при исследовании длинноволнового края поглощения, подтверждаются изучением спектров РИ. Причем, тонкую структуру спектра удалось обнаружить лишь на монокристаллах, выращенных методом газотранспортных реакций, что говорит в пользу предположения о том, что число структурных дефектов решетки в этих кристаллах меньше, чем в кристаллах, полученных методом зонной перекристаллизации.

8. Сопоставление основных полос спектров пропускания и отражения монокристаллического, стеклокристаллического и стеклообразного  $\text{CdGeP}_2$  в ИК-области спектра /0.75–25 мкм/ дает основание предполагать, что ближний порядок в стекле и кристалле сходен.

9. Полученные спектры пропускания и отражения монокристаллов  $\text{CdGeP}_2$  в ИК-области спектра в изотропном свете позволяют дать определенную теоретико-групповую классификацию основных частот колебаний решетки и предварительную интерпретацию колебательным частотам, активным в двухфононном спектре.



10. Значительная прозрачность стеклообразного  $\text{CdGeP}_2$  /50%/ в широкой области спектра /1-20 мкм/ делает этот материал перспективным для фильтров в ИК-области.

11. Наличие дихроизма и двойного лучепреломления подтверждает перспективность применения материала  $\text{CdGeP}_2$  в приборах по нелинейной оптике.

12. На основе температурных исследований электропроводности стеклообразного  $\text{CdGeP}_2$  сделан вывод о высокой термической чувствительности исследуемого материала и пригодности его для рабочего тела термистора.

13. Построен термистор на основе стекол  $\text{CdGeP}_2$ . Исследования некоторых параметров и характеристик термистора показали, что он обладает широким рабочим температурным интервалом /0-440°C/ имеет высокую энергетическую чувствительность /0,35 мВт/%/ с большим температурным коэффициентом сопротивления /-9,8 %/°C/, слабо чувствителен к примесям, обладает высокой радиационной стойкостью по отношению к  $\gamma$ -излучению.

14. Исследования характеристик переключающих элементов на основе стекол  $\text{CdGeP}_2$  показывают, что эффект переключения элементов из высокоомного состояния в низкоомное обусловлен, по-видимому, тепловым пробоем.

Основные результаты исследований доложены на Всесоюзном совещании "Физико-химические и физические свойства полупроводников типа  $\text{A}^2\text{B}^4\text{C}_2^5$  и  $\text{A}^2\text{B}_2^3\text{C}_4^6$ ", /Кишинев, 1971 г./, на У1 научно-технической конференции Кишиневского политехнического института им. С. Лазо /Кишинев, 1970 г./, на III Всесоюзном совещании по фосфидам и фосфатам /Тига, 1971 г./, на отчетно-научных конференциях КПИ им. А. М. Горького /1970-1974 г. г./, на научных семинарах института полупроводников АН УССР и отраслевой лаборатории полупроводников КПИ им. А. М. Горького, а также опубликованы в работах:

1. Структура длинноволнового края поглощения кристаллов  $\text{CdGeP}_2$ , ФТТ, т.15, 1973 /совм.И.С.Горбань, В.В.Луговский, И.П.Барков, И.И.Тычина/.
2. Оптические свойства кристаллического и стеклообразного  $\text{CdGeP}_2$ , Изв.АН СССР, сер.НМ, т.УП, №9 1971 /совм.И.В.Потыкевич, О.Н.Беллев, А.А.Владимирова, М.М.Кириленко, А.П.Середний/.
3. Оптические свойства  $\text{CdGeP}_2$ , сб.ст. "Тройные полупроводники  $\text{A}^2\text{B}^4\text{C}_2^5$  и  $\text{A}^2\text{B}_2\text{C}_4$ ", "Штиинца", Кишинев, 1972, /совм.И.В.Потыкевич, О.Н.Беллев, А.А.Владимирова, М.М.Кириленко, А.П.Середний/.
4. Установка для получения полупроводниковых стекол, сб.ст. "Физика твердого тела", Киев, 1972, /совм.И.М.Кяличенко/.
5. Микрорентгеноспектральный анализ полупроводникового соединения  $\text{CdGeP}_2$ , сб.ст. "Физика твердого тела", Киев, 1972 /совм.М.М.Кириленко, И.И.Тычина/.
6. Вольт-амперные характеристики стеклообразного  $\text{CdGeP}_2$ , сб.ст. "Физика твердого тела", Киев, 1972, /совм.М.М.Кириленко, И.И.Тычина, И.В.Потыкевич/.
7. Исследование края фундаментального поглощения кристаллов  $\text{CdGeP}_2$ , сб.ст. "Актуальные вопросы физики твердого тела", Киев, 1973, /совм. М.М.Кириленко, И.И.Тычина, В.Г.Федотов, И.П.Шербина/.
8. К вопросу о получении некоторых тройных фосфидов методом химических транспортных реакций, сб.ст. "Актуальные вопросы физики твердого тела", Киев, 1973, /совм.В.А.Горняк, В.П.Радзивил, Н.М.Коршак/.
9. Исследование удельной электропроводности стеклообразного  $\text{CdGeP}_2$  подвергнутого различной термообработке, в широком интервале температур, Материалы VI научно-технической конференции Кишиневского политехнического института им.С.Лазо, Кишинев, 1970, /совм.А.П.Середний, И.И.Тычина, А.Е.Федотовский/.
10. Оптические свойства стеклообразного и кристаллического  $\text{CdGeP}_2$ , Материалы III Всесоюзного совещания по фосфидам и фосфатам, Гута, 1971, /совм.И.В.Потыкевич, И.И.Тычина, А.А.Владимирова, М.М.Кириленко, А.П.Середний, О.Н.Беллев/.

БФ 12834. Подписано к печати 30/Х-74 г.

Формат 84 x 108/32. Объем 1,25 п.л.

Заказ 9796. Тираж 200 экз.

Кировоградская облтипография им. Г.М. ДIMITрова  
ул. Глиньки, 2