

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Ордена Ленина Институт общей и неорганической химии
им. Н. С. Курнакова

На правах рукописи
Для служебного пользования
Экз. № _____

ПОНОМАРЕВ

Владимир Федорович

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ $A^IV B^III$ (АНТИМОНИД КАДМИЯ, АРСЕНИДЫ КАДМИЯ
И ЦИНКА)

(02.00.04 - физическая химия)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата
химических наук

Москва - 1979

Дорогому Сергею Федоровичу
от благодарного ученика
с наилучшими пожеланиями

17.04.79

Виктор

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Ордена Ленина Институт общей и неорганической химии

им. Н. С. Курнакова

На правах рукописи

Для служебного пользования

Экз. № _____

ПОНОМАРЕВ

Владимир Федорович

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ A^IVB^V (АНТИМОНИД КАДМИЯ, АРСЕНИДЫ КАДМИЯ
И ЦИНКА)

(02.00.04 - физическая химия)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
химических наук

Москва - 1979

Работа выполнена в Институте общей и неорганической химии им.Н.С.Курнакова АН СССР.

Научные руководители: доктор химических наук, профессор
В.Б.Лазарев
доктор химических наук
В.Я.Шерченко

Официальные оппоненты: доктор химических наук В.Б.Уфимцев
доктор технических наук Е.Б.Соколов

Ведущее предприятие: Институт полупроводников АН УССР
(г.Киев).

Защита состоится "17" мая 1979 г.

на заседании специализированного Совета К002.37.02
по химии и технологии неорганических веществ по присужде-
нию ученой степени кандидата химических наук при Институте
общей и неорганической химии им.Н.С.Курнакова АН СССР
(И17071, Москва, Ленинский проспект, 31).

С диссертацией можно ознакомиться у ученого секретаря
ИОНХ АН СССР.

Автореферат разослан "17" апреля 1979 г.

Ученый секретарь специализированного
Совета, кандидат химических наук


В.П.Данилов

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Перспективными для создания неселективных приемников ИК и СВЧ-диапазонов длин волн, оптических квантовых генераторов, датчиков Холла и др. являются полупроводниковые соединения $A^{II}B^V$, обладающие необходимым сочетанием электрических и оптических свойств. Для разработки таких приборов и оптимизации их характеристик нужны соединения в виде монокристаллов с определенными физическими свойствами. Это обстоятельство предопределяет проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований свойств реальных кристаллов, направленных, в первую очередь, на изучение механизмов образования различных дефектов, их взаимодействия с примесями и установление связей с физико-химическими свойствами вещества. Результаты этих исследований позволяют установить связи: параметры технологии — состав — реальная структура — свойства, лежащие в основе получения необходимого материала, а затем и прибора на его основе.

Цель работы. Поскольку в $A^{II}B^V$ ($CdSb$) точечные дефекты связаны с термическим разупорядочением решетки, а для соединений типа $A^{II}_3B^V_2$ (Cd_3As_2 , Zn_3As_2) они являются структурным элементом решетки /1/, то представляло интерес последовательно рассмотреть для двух разных случаев процессы, связанные с образованием таких дефектов и их связь с диссоциацией и полиморфизмом; изучить взаимодействие примесей с точечными дефектами и их влияние на электрические свойства, оптимизировать свойства материала и создать эффективные измерители мощности на основе $CdSb$.

Научная новизна. Изучена морфология роста монокристаллов Cd_3As_2 и Zn_3As_2 , выращенных из газовой фазы; установлены механизм роста и зависимость габитуса кристаллов от технологических режимов получения.

Впервые получены специально ориентированные монокристаллические тонкие слои $CdSb$, в том числе легированные германием.

Предложен метод оценки степени диссоциации соединений в приближении асимметрической модели растворов и проведены конкретные расчеты диссоциации $CdSb$, Cd_3As_2 и Zn_3As_2 . Проведен анализ высокотемпературного равновесия собственных точечных дефектов в $CdSb$.

Определена роль катионных вакансий в соединениях Cd_3As_2 и Zn_3As_2 при структурных перестроениях и взаимодействии с примесями. Впервые измерено изменение теплоемкости при фазовом переходе типа $\alpha \rightarrow \alpha'$ Cd_3As_2 и выявлены характерные изменения на кривых ДТА, связанные с переходами $\alpha \rightarrow \alpha'$ и $\alpha' \rightarrow \alpha''$ в этих соединениях. Предложен механизм этих структурных перестроений. Изучены электрические свойства легированных монокристаллов Zn_3As_2 и $CdSb$.

Практическая ценность. Результаты проведенных исследований явились основой для оптимизации технологических режимов выращивания кристаллов и тонких слоев. Установление влияния дефектов (в том числе и легирующих примесей) позволило целенаправленно изменять свойства этих соединений. Ориентированные слои $CdSb$ успешно использованы вместо объемных монокристаллов $CdSb$ в приборах на основе анизотропных термоэлементов. Разработан и изготовлен измеритель мощности миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн с высокой чувстви-

тельностью и малой инерционностью, превышающий по своим характеристикам приборы аналогичного целевого назначения. Освоен выпуск таких измерителей мощности в СКБ ИРЭ АН ССР.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано II работ и получено решение о выдаче авторского свидетельства на изобретение.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на У Всесоюзном совещании по физико-химическому анализу (1976, Москва), на III и IV Всесоюзных координационных совещаниях по полупроводниковым соединениям А^ПВ^У (1976 г. Душанбе; 1978 г. Ужгород), на научных конференциях ИОНХ АН ССР.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и приложения. Список цитированной литературы включает 152 наименования. Работа изложена на 128 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков и 17 таблиц.

Основное содержание работы

В первой главе приводится обзор литературных данных по физико-химическим и физическим свойствам исследуемых соединений. Подробно рассмотрены вопросы, связанные с термической диссоциацией соединений; особенности кристаллических структур и полиморфизм в соединениях А^ПВ^У. Анализ литературных данных позволил конкретизировать этапы выполнения поставленной задачи:

1. Вырастить совершенные нелегированные и легированные кристаллы и тонкие слои $CdSb$ из расплава, а Zn_3As_2 и Cd_3As_2 из газовой фазы.

2. Построить полную самосогласованную модель образования точечных дефектов в $CdSb$ и провести ее количественную проверку.

3. Определить степень диссоциации $CdSb$, Cd_3As_2 и Zn_3As_2

по кривым ликвидуса.

4. Выяснить влияние структурных вакансий в A_3B_2 на полиморфизм этих соединений.

5. Изучить взаимодействие примесей в этих соединениях с точечными дефектами и характер формирования электрических свойств.

6. Изготовить анизотропные термоэлементы на основе тонких слоев и использовать их для создания теплотрических приборов, в частности, измерителей мощности СВЧ-диапазона. Обеспечить такими термоэлементами мелкосерийное производство приборов.

Во второй главе изложены методики исследования физико-химических и электрических свойств. Описаны методы получения монокристаллов и экспериментальные установки. Процесс получения монокристаллов состоял из двух этапов: первый - синтез соединений, второй - рост кристаллов. Исследуемые соединения синтезировали непосредственным сплавлением компонентов особой степени чистоты с общим содержанием примесей менее 10^{-4} - 10^{-5} вес.%. Полученные вещества идентифицировались физико-химическими методиками контроля состава и структуры (дифференциально-термический анализ, рентгеновский и электронографический, химический анализ, металлографические исследования).

В качестве основного метода получения монокристаллов Zn_3As_2 и Cd_3As_2 использован метод выращивания из газовой фазы в закрытом объеме. Для оптимизации температурных режимов получения кристаллов проведено измерение общего давления пара над соединениями и исследование морфологии роста кристаллов. Температура в зоне испарения изменялась в пределах

550–740°C, температура в зоне роста – от 530 до 680°C. Монокристаллы в зависимости от условий роста были получены в виде иголок, пластин, четырех- и шестигранных призм и объемных по форме ампулы. Методами Лауэ, "качания" и на установке "Самевах" детально изучали габитус и фигуры роста на поверхности кристаллов, а также ориентацию вдоль направлений роста и огранку.

В условиях роста, близких к равновесным, кристаллы ограничены плоскостями типа (III) и (100). Наиболее вероятный механизм роста – послойный. Ось роста нитевидных и пластинчатых кристаллов обычно соответствует направлению [100]. Поверхность пластинок перпендикулярна направлению [010].

Кристаллическое сходство соединений Zn_3As_2 и Cd_3As_2 обуславливает и сходство механизмов роста и ориентации. Переход от игольчатых форм к объемным ограненным кристаллам происходит в направлении уменьшения пересыщения газовой фазы.

Монокристаллические специально ориентированные слои выращены методом направленной кристаллизации с затравкой. Выбор подложки, пригодной для использования в технологии тонких слоев, был сделан на основании исследования адгезии между материалом подложки и $CdSb$. Оказалось, что наилучшим сцеплением с $CdSb$ обладают подложки из стекла и сапфира. Основное внимание при изготовлении установки уделено контролю и управлению тепловыми режимами выращивания. Исследование условий кристаллизации тонких слоев $CdSb$ показало, что при скорости охлаждения расплава ~ 1 град/мин. скорость выращивания $V_{выр} \sim 30$ мкм/сек, что соответствует плоской форме фазовой границы.

Электроннографическим исследованием установлено, что при кристаллизации от затравки тонкие слои $CdSb$ были заданной

ориентации (по затравке) с высоким структурным совершенством.

Третья глава, посвящена исследованию степени диссоциации соединений CdSb , Cd_3As_2 , Zn_3As_2 и построению модели точечных дефектов в CdSb . На основе представлений теории регулярных растворов достаточно хорошо описывается диссоциация конгруэнтно плавящихся соединений типа $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$. Однако бинарные системы, в частности $\text{A}^{\text{II}}\text{-B}^{\text{V}}$, редко бывают симметричны относительно свойств, зависящих от концентрации компонентов. Поэтому оценка степени диссоциации соединений $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{V}}$ была проведена в рамках более общей асимметрической модели растворов. Отклонение от регулярности было учтено введением параметра m в выражения для коэффициента активности компонентов. С учетом результатов работы /2/ получено общее выражение для константы диссоциации сложного соединения A_kB_N при плавлении в жидкой фазе и по экспериментальным результатам исследования диаграмм состояния соответствующих систем проведены оценки степени диссоциации CdSb , Cd_3As_2 и Zn_3As_2 (табл. I).

Таблица I.

Соединение	Параметр m	Степень диссоци- ции, α дис	Радиус кривизны линии ликвидуса	
			ρ_L расч.	ρ_L эксп.
CdSb	1,88	0,32	$-5,8 \cdot 10^{-4}$	$-1,0 \cdot 10^{-4}$
Cd_3As_2	1,55	0,15	$-3,3 \cdot 10^{-4}$	$-3,3 \cdot 10^{-4}$
Zn_3As_2	1,57	0,36	$-5,0 \cdot 10^{-4}$	$-4,2 \cdot 10^{-4}$

Проведенный расчет позволил заключить, что в системах $\text{A}^{\text{II}}\text{-B}^{\text{V}}$ соединения CdSb , Cd_3As_2 , Zn_3As_2 значительно диссоциированы при температуре плавления и хорошо описываются простой асимметрической моделью растворов.

Известно, что в CdSb уже с температур $\sim 150^\circ\text{C}$ термическая диссоциация приводит к образованию точечных дефектов. Анализ собственных дефектов в CdSb проведен с учетом представлений химии дефектов /3/. Рассмотрены процессы, приводящие к образованию в кристалле дефектов по Френкелю и по Шоттки. Решение системы уравнений, описывающих поведение дефектов в кристалле и равновесие с паровой фазой, проведено для трех приближений уравнения электронейтральности. Построены изотермы концентраций точечных дефектов в зависимости от внешнего давления пара кадмия (рис.1). При температуре плавления для стехиометрического состава концентрация вакансий достигает $7 \cdot 10^{19} \text{см}^{-3}$ (0,38 мол.%), что почти на два порядка меньше, чем в расплаве. Зависимость концентрации носителей заряда от температуры и отклонения от стехиометрии показывает, что определяющее влияние на электрические свойства оказывают избыточные двукратно ионизованные вакансии по кадмию (рис.2). При соответствующих значениях паров кадмия концентрация электрически активных точечных дефектов (вакансий кадмия) может быть заметно снижена.

Сравнение результатов проведенных расчетов указывает, что при плавлении в CdSb должно происходить возрастание концентрации дефектов. Анализ литературных и полученных данных с этих позиций позволил установить, что при плавлении CdSb переходит в металлическое состояние и в расплаве вблизи температуры плавления не происходит структурных перестроений. Появление дополнительного эффекта "предплавления", отвечает плавлению состава, обогащенного сурьмой, который образуется в результате перехода кадмия из кристалла в пар с образованием эвтектической смеси. На микроструктурах образцов в

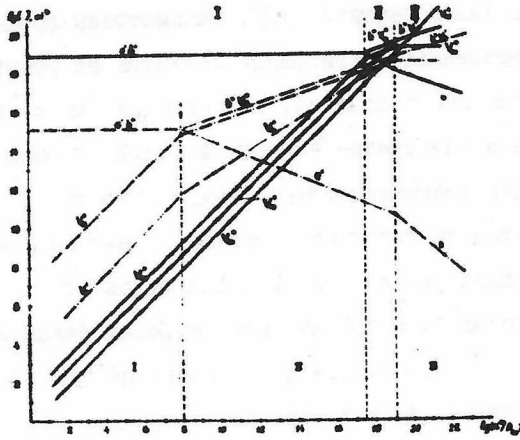


Рис.1 Изотермы концентрации дефектов в CdSb
 — при 700 К, - - - при 400 К.

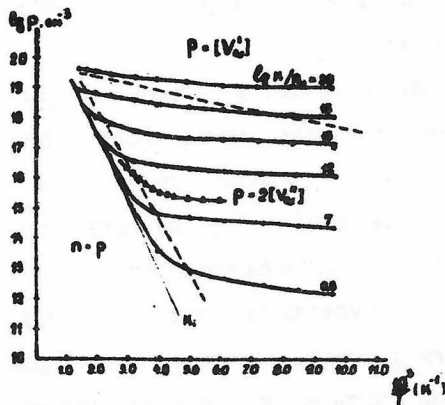


Рис.2 Температурные зависимости концентрации дырок в CdSb .
 — расчет, -Δ- эксперимент.

этом случае наблюдается выпадение второй фазы, что подтверждает сделанное заключение.

В четвертой главе проведено кристаллохимическое рассмотрение полиморфных переходов в соединениях Me_3As_2 . Исследование взаимосвязи кристаллических структур проведено на примере Cd_3As_2 , поскольку это соединение обладает всеми кристаллическими структурами, характерными для полиморфных модификаций этого класса соединений (α - C_{4v}^{12} , α' - D_{4h}^{11} , α'' - D_{4h}^{15}). Анализ проводился на основе выделения общего структурного фрагмента - слоя определенным образом уложенных "ячеек" типа дефектного флюорита. Взаимное расположение таких "ячеек" определяет особенности кристаллических структур всех фаз. На основе этого подхода описан простой механизм перестроения структур при полиморфизме.

Кристаллические структуры α , α' , α'' - модификаций соединений Cd_3As_2 , Zn_3As_2 можно построить путем укладки одинаковых слоев, сдвинутых относительно друг друга в определенной последовательности.

В случае D_{4h}^{15} : ... 0 в 0 в ... или ... 0 а 0 а

В случае D_{4h}^{11} : ... а + в, в, а + в, а ...

В случае C_{4v}^{12} : ... 0, а, а + в, в ...

где каждый следующий слой обозначен символом сдвига на параметр ячейки относительно слоя 0 (D_{4h}^{15}). Смещение двух любых слоев в выбранном фрагменте структуры D_{4h}^{15} на (а+в) приводит к структуре C_{4v}^{12} . Смещение одного слоя в D_{4h}^{15} или C_{4v}^{12} на (а+в) приводит только к одной промежуточной структуре D_{4h}^{11} . Поскольку слои 0 и (а+в) отличаются друг от друга только сменой расположения тетраэдрических пустот, то при таком рассмотрении смещение слоя на (а+в) отвечает переходу атомов металла в ближай-

шую тетраэдрическую пустоту в каждой "ячейке" выбранного слоя. Это означает, что при структурных превращениях $\alpha \rightarrow \alpha'$ и $\alpha' \rightarrow \alpha''$ происходит переход каждого двадцатого атома, т. е. 5% всех атомов в элементарной ячейке.

В § 2 проведено исследование низкотемпературных переходов в арсенидах цинка и кадмия. На кривых нагревания отмечены температурные области, в которых происходят превращения $\alpha \rightarrow \alpha'$ и $\alpha' \rightarrow \alpha''$. Переход $\alpha \rightarrow \alpha'$ происходит при температуре 237°C и 197°C для Cd_3As_2 и Zn_3As_2 соответственно. Полиморфному переходу $\alpha' \rightarrow \alpha''$ Cd_3As_2 отвечает широкая область температур 410-520°C. Предполагается, что сложный характер $\alpha' \rightarrow \alpha''$ перехода связан с наличием нескольких эффектов: переход в ближайшие тетраэдрические пустоты аналогично переходу $\alpha \rightarrow \alpha'$; смещение атомов металла из своих прежних позиций; тетрагональная деформация и как следствие - изменение положения оси 4-го порядка, что выражается в изменении элементарной ячейки структуры α'' -модификации.

Особый интерес вызывает появление, начиная с 400°C, аномального участка на кривой нагревания Zn_3As_2 . По характеру изменения и интервалу температур обнаруженная аномалия может быть связана с перестроением $\alpha' \rightarrow \alpha''$ в Zn_3As_2 , которое в литературе отмечено не было.

Для подтверждения предложенного механизма структурных перестроений при полиморфизме проведено исследование температурной зависимости теплоемкости в интервале 300-530 К и оценена теплота перехода $\alpha \rightarrow \alpha'$ - Cd_3As_2 , которая составила 57 кал/моль. На основании этих данных оценено общее количество перешедших атомов - 2-3%, что хорошо согласуется с результатами кристаллохимического анализа этих структур.

В пятой главе проведено исследование электрических свойств легированных и нелегированных кристаллов и тонких слоев. Измерение $\rho(T)$ и $R_x(T)$ показало, что наиболее совершенные, обладающие наибольшей подвижностью носителей тока - $270 \text{ см}^2/\text{в.сек}$ при концентрации $1,3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ (77 К) для Zn_3As_2 и $8,7 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{в.сек}$. при $8,0 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ (77 К) для Cd_3As_2 являются монокристаллы с естественными гранями, выращенные из газовой фазы. Подвижности носителей заряда в образцах, полученных из расплава, имеют значения более чем на порядок ниже.

Исследование легированных Cu и Te образцов Zn_3As_2 показывает, что подвижности дырок в легированных образцах несколько выше, чем в нелегированных, что свидетельствует об определяющей роли структурных вакансий при взаимодействии с примесями в кристаллах с такой структурой. Изменение подвижности носителей (77-300 К) отклоняется от закона T^{-1} , характерного для нелегированных кристаллов Zn_3As_2 .

Изменение $\rho(T)$ в области фазового перехода указывает, что фазовый переход этого типа происходит без существенного образования ионизованных дефектов и нарушения кристаллической структуры. Ход кривых $\rho(T)$ обратим при нагреве и охлаждении образца.

Температурные зависимости (77-300 К) компонент тензоров сопротивления и постоянной Холла, были измерены на образцах CdSb , легированных Ga , Jn , Te , в трех кристаллографических направлениях. Для образцов n -типа свойства мало меняются в зависимости от направлений. Образцы, сохраняющие p -тип проводимости, характеризуются заметной анизотропией электрических и термоэлектрических свойств. Анизотропия термо-э.д.с. достигает значения 140 мкв/град и повышается с понижением температуры.

Проведенные в качестве операционного контроля технологии измерения $\rho(T)$ и $R_x(T)$ показали хорошую воспроизводимость свойств монокристаллических слоев $CdSb$, полученных на диэлектрических подложках. Концентрация и подвижность носителей заряда при 77 К в слоях толщиной ~ 30 мкм достигали $5,9 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и $470 \text{ см}^2/\text{в.сек.}$ Уровень дефектов в слоях $CdSb$, по-видимому, связан с остаточными внутренними напряжениями на границе слоя с подложкой. Нарушение структурного совершенства особенно заметно проявляется с уменьшением толщины тонких слоев менее 15 мкм.

Исследование температурных, концентрационных и толщинных зависимостей электрических и термоэлектрических свойств показывает, что по своим параметрам монокристаллические слои могут успешно заменить объемные монокристаллы $CdSb$, используемые в качестве фильтров и чувствительных элементов в приемниках тепловых потоков.

В приложении приведены результаты разработки конструкции измерителей мощности субмиллиметрового диапазона длин волн на основе тонких слоев $CdSb$. С целью повышения температурной стабильности чувствительный слой изготовлен из $CdSb$, легированного германием (0,01-0,1 ат.%). Описаны конструкция прибора, технологическая схема его изготовления и сравнительные рабочие характеристики. Совместно с ИРЭ АН СССР и СКБ ИРЭ АН СССР выпущена серия приборов, которые используются в академических и отраслевых учреждениях для измерения мощности излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн.

В ы в о д ы

1. Разработана технология совершенных огранных монокристаллов арсенидов цинка и кадмия из газовой фазы. Изучены формы роста, характерные направления роста и огранка объемных,

пластинчатых и нитевидных кристаллов в зависимости от условий выращивания.

2. Разработана технология ориентированных монокристаллических слоев $CdSb$. На основании исследования адгезионных свойств материала подложки и $CdSb$ выбраны подложки из стекла и сапфира, на которых получены однофазные монокристаллические слои $CdSb$ (толщиной до 6 мкм и площадью 10 x 10 мм²) с воспроизводимыми свойствами.

3. На основе представлений теории регулярных растворов получено общее выражение для константы реакции диссоциации соединений при температуре плавления, в котором учтена зависимость свойств от концентрации компонентов и зависимость энергии смешения от температуры. Проведен расчет степени диссоциации $CdSb$, Cd_3As_2 , Zn_3As_2 и оценено отклонение в поведении расплавов от регулярности. Показано, что при плавлении эти соединения значительно диссоциируют.

4. Рассмотрены физико-химические процессы, приводящие к образованию собственных точечных дефектов в $CdSb$. Анализ равновесия дефектов в зависимости от температуры и давления пара кадмия над соединением показал, что характер изменения электрических свойств в $CdSb$ определяется присутствием в кристалле избыточных двукратно ионизованных вакансий по кадмию. Оценки равновесных концентраций дефектов показали, что в кристалле вследствие диссоциации образуется $\sim 7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ электрически активных вакансий при температуре плавления. Совместная интерпретация теоретических и экспериментальных результатов позволила показать, что при плавлении $CdSb$ переходит в металлическое состояние и в расплаве до 550°C дополнительные эффекты отсутствуют. Наблюдаемый при некоторых

условиях опыта эффект предплавления связан с изменением состава при нагреве и образованием эвтектической смеси.

5. Установлена связь между кристаллическими структурами полиморфных модификаций соединений Me_3As_2 . Анализ проведен на основе выделения в α , α' , α'' -модификациях Cd_3As_2 общего структурного фрагмента - слоя определенным образом уложенных "ячеек" типа дефектного флюорита. Установлено, что переходы $\alpha \rightarrow \alpha'$ и $\alpha' \rightarrow \alpha''$ модификаций осуществляются путем диагонального сдвига одного из четырех слоев "ячеек" дефектного флюорита. Доказана единственность промежуточной структуры D_{4h}^{11} между структурами D_{4h}^{15} и C_{4v}^{12} . Показано, что при структурных переходах $\alpha \rightarrow \alpha'$ и $\alpha' \rightarrow \alpha''$ происходит переход каждого двадцатого атома в ближайшую тетраэдрическую пустоту.

6. Исследованы низкотемпературные переходы $\alpha \rightarrow \alpha'$ и $\alpha' \rightarrow \alpha''$ в Zn_3As_2 и Cd_3As_2 . Измерена температурная зависимость теплоемкости при переходе $\alpha \rightarrow \alpha'$ Cd_3As_2 . Определена теплота перехода - 57 кал/моль и рассчитано общее количество перешедших атомов, которое составило 2-3%, что хорошо согласуется с результатом оценки из кристаллохимического анализа структур.

7. Исследованы электрические свойства нелегированных и легированных кристаллов Zn_3As_2 . Наибольшей подвижностью носителей заряда $270 \text{ см}^2/\text{в.сек}$ при 77 К обладают ограниченные кристаллы Zn_3As_2 , полученные из газовой фазы, что существенно превосходит значения подвижностей дырок в образцах, полученных из расплава. Показано, что введение Cu и Te изменяет концентрацию и характер рассеяния носителей заряда в Zn_3As_2 в отличие от соединений со структурными вакансиями типа Ga_2Te_3 где примеси остаются электрически неактивными.

8. Разработаны измерители мощности излучения миллиметрового субмиллиметрового диапазонов длин волн, обладающие вольтватт-

ной чувствительностью 0,2-0,4 в/вт, предельной чувствительностью 10^{-6} вт и инерционностью менее секунды. Совместно с СКБ ИРЭ АН СССР и ИРЭ АН СССР проведена опытно-конструкторская разработка и выпущена серия промышленных измерителей мощности, используемых в заводской и лабораторной практике.

Основное содержание диссертации доложено на У Всесоюзной конференции по физико-химическому анализу (г.Москва, 1976г.), Ш, IV Всесоюзных координационных совещаниях по полупроводниковым соединениям $A^{IV}B^V$ (Душанбе, 1976г., Ужгород, 1978г.), на Конференциях научных сотрудников и молодых ученых ИОНХ АН СССР (1975-1978гг.).

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. С.Е.Козлов, В.Б.Лазарев, С.И.Максимова, С.Ф.Маренкин, В.Ф.Пономарев, В.Я.Шевченко. Исследование морфологии роста из газовой фазы монокристаллов M_3X_2 , Изв.АН СССР, сер. неорганич. материалы 13, 1729 (1977).
2. В.Я.Шевченко, С.Ф.Маренкин, В.Ф.Пономарев. Рост монокристаллов Zn_3As_2 из газовой фазы, Изв.АН СССР, сер. неорганич. материалы 13, 1898 (1977).
3. В.Ф.Пономарев, А.Г.Падалко, В.П.Саныгин. Получение и свойства монокристаллических слоев $CdSb$, Изв.АН СССР, сер. неорганич. материалы 14, 207 (1978).
4. Е.С.Калевич, С.Ф.Маренкин, В.Ф.Пономарев, В.Я.Шевченко. Термическая диссоциация Cd_3As_2 , Изв.АН СССР, сер. неорганич. материалы 14, 1933 (1978).
5. Л.М.Павлова, В.Я.Шевченко, С.Ф.Маренкин, М.В.Глезов, В.Ф.Пономарев, А.Д.Изотов. Оценка степени диссоциации некоторых соединений $A_{IV}^{IV}B_N^V$ в приближении простой асимметрической модели растворов, Докл.АН СССР, 238, 108 (1978).

6. В.Ф.Пономарев. Электрические свойства арсенида цинка, Тезисы докладов III Всесоюзного координационного совещания по полупроводниковым соединениям $A^{IV}B^V$, Душанбе, 1976г.
7. В.А.Стукан, В.И.Трифонов, В.Ф.Пономарев, В.А.Попов. Измерители мощности миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн на основе тонких слоев $p-CdSb$, Тезисы докладов III Всесоюзного координационного совещания по полупроводниковым соединениям $A^{IV}B^V$, Душанбе, 1976.
8. И.М.Пилат, А.Д.Шевченко, Н.Г.Фарафонов, В.Ф.Пономарев. Влияние легирования на анизотропию термоэлектрических свойств монокристаллов $CdSb$, Тезисы докладов У Всесоюзного совещания по физико-химическому анализу, Москва, 1976.
9. В.Ф.Пономарев, С.Ф.Меренкин, В.Я.Шевченко, А.Д.Изотов. Исследование степени диссоциации и полного равновесия дефектов в Me_3As_2 и $CdSb$, Тезисы докладов IУ Всесоюзного координационного совещания по полупроводниковым соединениям $A^{IV}B^V$, Ужгород, 1978.
10. А.Д.Изотов, В.П.Саныгин, В.Ф.Пономарев. Генетическая связь кристаллических структур полиморфных модификаций соединений типа $A_3B_2^{IV}$, Кристаллография, 23, 764 (1978).
11. А.Д.Изотов, В.П.Саныгин, В.Ф.Пономарев, Н.Е.Шмидт, Э.П.Озерова. Исследование полиморфных превращений в Cd_3As_2 . Тезисы докладов IУ Всесоюзного координационного совещания по полупроводниковым соединениям $A^{IV}B^V$, Ужгород, 1978.
12. Авторское свидетельство (по заявке № 253786I/25 с положительным решением II.ОI.78).

Цитируемая литература

- /1/ В.Б.Лазарев, В.Я.Шевченко, Я.Х.Гринберг, В.В.Соболев
Полупроводниковые соединения А^{IV}В^V, Изд. "Наука", М., 1978
- /2/ В.М.Глазов, Л.М.Павлова, Докл.АН СССР, 225, 1347 (1975)
- /3/ Ф.Крегер. Химия несовершенных кристаллов, Изд. "Мир", М.,
1969.

Подп. к печати 3/12-79 Ф.
Бум. тип. № Физ. п. л. 1,25 Уч.-изд. л. 20
Заказ 7007 Тираж 100
