В99

Р-Р

7381-

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УССР

Киевский государственный педагогический институт
им. А.М. Горького

На правах рукописи

ВЯЛЫЙ Николай Григорьевич

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ С СЕЛЕНИДОМ ЦИНКА

(01.04.10 – физика полупроводников и диэлектриков)

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

НБ НПУ
імені М.П. Драгоманова
100310877

Киев – 1976

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УССР

Киевский государственный педагогический институт
им.А.М.Горького

На правах рукописи

ВЯЛИЙ Николай Григорьевич

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ С СЕЛЕНИДОМ ЦИНКА

(01.04.10 – физика полупроводников и диэлектриков)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ВЫПО

Киев–1976

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

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: кандидат физико-математических наук, доцент Войцеховский Александр Васильевич

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: член-корреспондент АН УССР, профессор Бродин Михаил Семенович,

кандидат физико-математических наук Гладкий Богдан Иванович

Ведущее высшее учебное заведение – Черновицкий ордена Трудового Красного Знамени государственный университет.

Защита диссертации состоится "__ " 1976 г. в часов на заседании Ученого Совета физико-математического факультета Киевского государственного педагогического института им.А.М.Горького, аудитория 448 (252 030, Киев-30, ул.Пирогова, 9, КГПИ им.А.М.Горького).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "3" апреля 1976 г.

Ученый секретарь совета И.И.Тычина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Арсенид галлия и селенид цинка принадлежит к числу полупроводниковых материалов, наиболее широко используемых в современной электронике. Они образуют между собой гетеровалентные твердые растворы во всей области составов, что может быть использовано для получения материалов с заданным сочетанием свойств и управления параметрами полупроводников в широких пределах. Система твердых растворов $GaAs - ZnSe$ является типичным представителем класса гетеровалентных систем типа $A^{III}B^{V} - A^{II}B^{VI}$ и во многих отношениях может быть модельным объектом для исследования основных свойств этого класса полупроводниковых материалов. Кроме того, исследование твердых растворов вблизи исходных соединений представляет интерес с точки зрения изучения взаимодействия взаимокомпенсирующих донорной и акцепторной примесей с арсенидом галлия и селенидом цинка и его влияния на зонную структуру исходных соединений.

Цель работы - исследование электрических и оптических явлений в полупроводниковых твердых растворах арсенида галлия с селенидом цинка в зависимости от состава для определения основных физических параметров, изучения особенностей зонной структуры и взаимодействия компонентов, начиная с разработки методов получения достаточно совершенных монокристаллов и эпитаксиальных слоев во всей области растворимости.

Научная новизна. Несмотря на то, что существование непрерывного ряда твердых растворов в системе $GaAs - ZnSe$ было предсказано проф.Н.А.Горюновой еще в 1955 г.[#] и в ряде последующих работ указано на широкие возможности их практического применения, к началу настоящего исследования (1971 г.) физические свойства этих материалов практически не были изучены. Это связано с трудностями разработки технологических методов их по-

[#] Н.А.Горюнова. В сб.: "Вопросы теории и исследования полупроводников и процессов полупроводниковой металлургии", стр. 13. Изд-во АН СССР. М., 1955.

лучения. В процессе выполнения настоящей работы впервые получены монокристаллы и эпитаксиальные слои твердых растворов арсенида галлия с селенидом цинка во всей области составов одним технологическим методом – методом химических газотранспортных реакций – и изучен механизм их роста из газовой фазы. Исследованы ряд электрофизических, оптических, люминесцентных характеристик полученных материалов, проведены измерения их стационарной фото- и рентгенопроводимости.

Практическая и научная ценность работы. Полученные зависимости физических характеристик от состава твердых растворов могут быть использованы при выборе полупроводникового материала с заданными свойствами. Экспериментально показана возможность применения исследованных твердых растворов в качестве материала для полупроводниковых стабилитронов, источников излучения в видимой области спектра, датчиков (дозиметров) рентгеновского излучения в области малых энергий рентгеновских квантов. На основании анализа экспериментальных результатов и литературных данных сформулированы некоторые общие закономерности изменения физических свойств твердых растворов $A^{III}B^{V} - A^{II}B^{VI}$ в зависимости от состава, изучен характер взаимодействия компонентов системы. Это может представлять определенный интерес для физики неупорядоченных структур.

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, четырех оригинальных глав и заключения. Экспериментальная часть диссертации иллюстрирована 70 рисунками и 14 таблицами. Список цитированной литературы содержит 140 наименований публикаций отечественных и зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации рассмотрены современные представления о взаимодействии компонентов гетеровалентных твердых растворов типа $A^{III}B^{V}$ – $A^{II}B^{VI}$ и их природе, проведен анализ литературных данных по методам получения и физическим свойствам твер-

дих растворов арсенида галлия с селенидом цинка. Показано, что в гетеровалентных растворах данного типа обычно проявляется несколько видов взаимодействия между компонентами, основным видом взаимодействия является донорно-акцепторное взаимодействие. Сложный характер взаимодействия компонентов приводит к столь же сложному изменению физических свойств твердых растворов в зависимости от состава. Это хорошо иллюстрируется анализом литературных данных для твердых растворов арсенида галлия с селенидом цинка.

Литературные данные по физическим свойствам кристаллов $(GaAs)_x(ZnSe)_{1-x}$ в ряде случаев противоречивы и неоднозначны. Это связано с тем, что исследования проводились на кристаллах, полученных различными технологическими методами, так как ни один из описанных в литературе методов не давал возможности получения монокристаллов во всей области составов. Однако первые полученные результаты позволяют сделать вывод о наличии в твердых растворах ряда ценных для практики качеств (большая ширина запрещенной зоны и возможность управления физическими свойствами посредством изменения состава, возможность получения материалов с устойчивым типом проводимости, комбинированное действие компонентов в качестве микропримеси и т.д.). Актуальной проблемой является разработка методов получения и исследование свойств гетероструктур на основе растворов $(GaAs)_x(ZnSe)_{1-x}$, что может способствовать улучшению качества некоторых приборов на арсениде галлия и селениде цинка, а также углублению представлений о физических явлениях в р-n-гетероструктурах.

Вторая глава посвящена исследованию методов получения и идентификации состава монокристаллов и эпитаксиальных слоев твердых растворов арсенида галлия с селенидом цинка, исследованию механизма их роста из газовой фазы и некоторых физико-химических свойств.

В качестве основного технологического метода выбран метод химических газотранспортных реакций (ХГТР), широко применяющийся для синтеза и кристаллизации тугоплавких полупроводников. С целью определения оптимальных условий роста совершенных кристаллов проведено детальное изучение зависимости скорости массопере-

носа в газовой фазе от типа и концентрации транспортирующего агента, геометрических размеров реактора, разности температур зоны источника и зоны кристаллизации, а также условий образования минимального количества центров кристаллизации. Метод ХГТР применялся как в статическом, так и в динамическом (протяжка ампулы через температурный градиент) вариантах. Были получены достаточно крупные (до 3 см в длину) монокристаллы твердых растворов.

Для получения кристаллов твердых растворов, близких по составу к арсениду галлия (до 15 мол.% селенида цинка в растворе), применялся также метод направленной кристаллизации (НК) из расплава с использованием аппаратуры, обычно применяемой в технологии арсенида галлия.

Выращивание эпитаксиальных слоев (ЭС) твердых растворов во всей области составов осуществлялось на подложках из арсенида галлия и селенида цинка, ориентированные в плоскостях (100), (111)А и (111)В, в процессе газотранспортного переноса в системе $Ga-ZnSe-AsCl_3-H_2$. Обнаружена существенная зависимость скорости роста и морфологии поверхности ЭС от ориентации подложек и температуры эпитаксии, особенно в низкотемпературной области. Показано, что наилучшие по качеству слои с зеркально гладкой поверхностью могут быть получены при отклонении ориентации подложки от (100) на 4-5° в направлении <111>, в то время как на сингулярных поверхностях во всех случаях наблюдаются характерные фигуры роста.

Исследование морфологии и микроструктуры поверхностей монокристаллов и эпитаксиальных слоев, полученных газофазовым методом, позволило установить, что рост их происходит как по слоевому, так и по дислокационному механизмам (слоисто-спиральный рост).

Методами микро- и рентгеноструктурного анализа подтверждено образование гомогенных кристаллов во всей области составов при использовании указанных технологических методов.

Разработан метод идентификации состава твердых растворов арсенида галлия с селенидом цинка на основе рентгеновского флуоресцентного анализа с применением расчетного способа введения поправок к определенным в первом приближении по относительной интенсивности линий характеристического спектра концентрациям элементов в пробе. Эти поправки учитывают различие в поглощении первичного и вторичного излучений в материале эталона и пробы. Точность метода сопоставима с точностью химического анализа. Для количественного и качественного анализа состава полученных материалов применялись также метод оптического эмиссионного спектрального анализа, микрорентгеноспектральный и химический методы.

В процессе исследований разработаны условия получения ЭС селенида цинка на подложках из арсенида галлия, ориентированных в плоскости (100) с отклонением в 4-5° в направлении <III>, в системе $ZnSe-H_2$. Качество таких слоев существенно выше, чем в случае обычно применяемой ориентации (III), а скорость роста примерно такая же по величине. Улучшение морфологии слоев при этом связывается с переходом от слоисто-спирального роста на поверхности (III) к чисто слоевому за счет движения собственных ступеней на исследованных нами поверхностях. Этот результат может способствовать улучшению качества гетеропереходов $GaAs-ZnSe$, представляющих "идеальную гетеропару" и перспективных для ряда применений в оптоэлектронике.

В третьей главе изложены результаты исследования некоторых электрических свойств (электропроводность, эффект Холла, термоэдс) твердых растворов, полученных различными технологическими методами (ХТТР и НК) с целью получения сведений об основных электрофизических характеристиках полупроводников (концентрация и подвижность носителей заряда, удельное сопротивление, степень вырождения), характере взаимодействия носителей заряда с решеткой и зонной структуре.

Монокристаллы твердых растворов с высокой концентрацией арсенида галлия обладают дырочной проводимостью. Удельная электропроводность уменьшается по мере возрастания концентрации $ZnSe$

в твердом растворе. Концентрация носителей заряда с увеличением содержания селенида цинка в арсениде галлия до 3-5 мол.% возрастает до $\sim 10^{19}$ $см^{-3}$. Дальнейшее увеличение концентрации селенида цинка в растворе приводит к уменьшению концентрации и подвижности носителей заряда, а также электропроводности, что свидетельствует о наличии значительной компенсации в сплавах. Сопоставление электрофизических параметров (концентрация p, подвижность μ_H, удельная электропроводность σ) твердых растворов, полученных различными технологическими методами, показывает, что наилучшие по качеству кристаллы могут быть получены по эпитаксиальной технологии. Концентрация носителей в ЭС примерно на порядок ниже, а подвижность в 2-3 раза выше, чем для кристаллов такого же состава, полученных методом НК. Сопоставление зависимостей ρ, μ_H и σ от концентрации $ZnSe$ в твердом растворе с зависимостью этих величин от концентрации Zn в $GaAs$ свидетельствует о доминирующем влиянии примеси цинка при введении $ZnSe$ в $GaAs$.

Независимость коэффициента Холла от температуры в области 296-750 К свидетельствует о вырождении дырочного газа, примесные акцепторные уровни мелкие и ионизированы в данной области температур. При высоких концентрациях второго компонента происходит образование примесной акцепторной зоны и ее слияние с валентной зоной.

Анализ температурных зависимостей подвижности и сопоставление экспериментальных значений μ_H с данными расчета по формуле Брукса-Херринга позволяет допустить наличие, по крайней мере, трех механизмов рассеяния в сплавах на основе арсенида галлия: рассеяние на ионах примеси, рассеяние на колебаниях решетки, рассеяние на комплексах типа диполей $(A^{II}-B^{VI})^{0}$. По данным измерения термоэдс и эффекта Холла оценены значения эффективных масс плотности состояний дырок для сплавов различного состава ($x \geqslant 0{,}90$). Значения эффективных масс ($m^* = 0{,}50 \div 0{,}57$ при $r = 2$) не зависят в пределах погрешности метода от количества $ZnSe$ в сплаве и концентрации носителей, что свидетельствует о близости валентной зоны к параболичной.

Исследование удельной электропроводности селенида цинка при раздельном и совместном введении примесей галлия и мышьяка в области температур 300 – 450 К показало, что совместное введение Ga и As в $ZnSe$ следует рассматривать как сложное бинарное легирование, в котором при $x \leq 0{,}001$ доминирующее влияние оказывает акцепторная примесь As, а при $x > 0{,}001$ – донорная примесь Ga. С увеличением содержания $GaAs$ в $ZnSe$ наблюдается увеличение степени компенсации материала. Наблюдаемые особенности связываются с влиянием электрически активных центров акцепторного типа, обусловленных, по-видимому, наличием вакансий цинка. Это приводит к дополнительной компенсации доноров.

При исследовании вольт-амперных характеристик гетероструктур $n\text{-}GaAs$ — $p\text{-}(GaAs)_x(ZnSe)_{1-x}$ ($x \geq 0{,}90$) при приложении обратного смещения обнаружено явление обратимого электрического пробоя зенеровского типа. Показана возможность применения таких структур в качестве рабочих элементов стабилитронов для низких напряжений.

В четвертой главе приведены результаты исследования края собственного поглощения монокристаллов твердых растворов, полученных методом ХТР.

Поглощение света в монокристаллах твердых растворов происходит по экспоненциальному закону. В области составов, близких к исходным полупроводникам, наблюдается резкий сдвиг края поглощения в сторону меньших энергий. Это явление связывается нами с образованием глубоких "хвостов" плотности состояний в запрещенной зоне вследствие флуктуаций примесного потенциала. Наличие сильной компенсации в кристаллах подтверждается независимостью наклона края поглощения от температуры в области 80–296 К. Изменение формы края собственного поглощения с увеличением концентрации второго компонента в твердом растворе (уменьшение его наклона) может быть обусловлено, по-видимому, проявлением двух эффектов – кулоновского взаимодействия между носителями и разупорядочения кристаллической решетки.

Сдвиг края поглощения в длинноволновую сторону для кристаллов, близких по составу к исходным $GaAs$ и $ZnSe$, приводит к резкому уменьшению их оптической ширины запрещенной зоны $E_{опт.}$. Этот результат, а также данные по исследованию других физических свойств (электрических, люминесцентных, фотоэлектрических), позволяют сделать вывод о возможности рассмотрения твердых растворов в указанной области составов как сильно легированных компенсированных полупроводников. Анализ литературных данных для твердых растворов $GaAs$ – $A^{II}B^{VI}$ указывает на общность этого вывода для широкозонных растворов данного типа. Таким образом, в указанной области составов гетеровалентных твердых растворов арсенида галлия с соединениями $A^{II}B^{VI}$ свойства исходных полупроводников сохраняются. В области собственно твердых растворов арсенида галлия с селенидом цинка, как и для других подобных систем, наблюдается аддитивное изменение ширины запрещенной зоны с составом.

Зависимость ширины запрещенной зоны от состава твердых растворов может быть интерпретирована в рамках модели примесных зон Блума*.

В пятой главе изложены результаты исследования люминесценции монокристаллов $(GaAs)_x(ZnSe)_{1-x}$ при различных видах и уровнях возбуждения (возбуждение ртутной лампой, аргоновым и гелий-неоновым лазерами, пучком электронов) в области 4,8–500 К. Разнообразие условий возбуждения позволяет получить наиболее полные сведения об излучательных характеристиках материалов. Исследованы также фото- и рентгенопроводимость монокристаллов твердых растворов на основе селенида цинка ($x \leq 0{,}05$).

В областях составов, близких к исходным компонентам, в спектрах излучения кристаллов наблюдается ряд особенностей, характерных для исходных соединений. Так, в арсениде галлия сохраняется краевая люминесценция при введении селенида цинка в количестве до 4 мол.%. Спектры люминесценции и фотопроводимости селенида цинка не претерпевают существенных изменений при введении до 1 мол.% арсенида галлия и т.д. Эти факты подтверждают сделанный ранее вывод о возможности рассмотрения четырехкомпонентных гетеровалентных твердых растворов как сильно легированных компенсированных

* S. Bloom. J. Appl. Phys., 41, 1864 (1970).

полупроводников. Полученные экспериментальные данные указывают также на существенное влияние собственных дефектов решетки на рекомбинационные явления в таких люминофорах. По-видимому, взаимодействие компонентов в твердых растворах нельзя рассматривать без учета возникновения ассоциатов примесных атомов со стехиометрическими вакансиями, особенно в области составов, близких к $A^{II}B^{VI}$.

Исследованы спектры фотопроводимости монокристаллов селенида цинка при раздельном и совместном введении примесей галлия и мышьяка. Полученные данные подтверждают высказанное выше предположение о взаимодействии компонентов твердых растворов данного типа.

Совместное рассмотрение явлений люминесценции и фотопроводимости в изученных кристаллах позволило построить энергетическую диаграмму запрещенной зоны твердых растворов и выделить предполагаемые каналы рекомбинации (рис. I). Показано, что основным каналом излучательной рекомбинации в полупроводниковых твердых растворах арсенида галлия с селенидом цинка является рекомбинация неравновесных носителей между образующимися в запрещенной зоне исходных полупроводников примесными донорной и акцепторной зонами и "хвостами" плотности состояний. Наличие собственных дефектов решетки (катионных вакансий) и неконтролируемой примеси меди оказывает существенное влияние на спектры люминесценции кристаллов. Одним из способов устранения этого влияния может быть применение эпитаксиальной технологии.

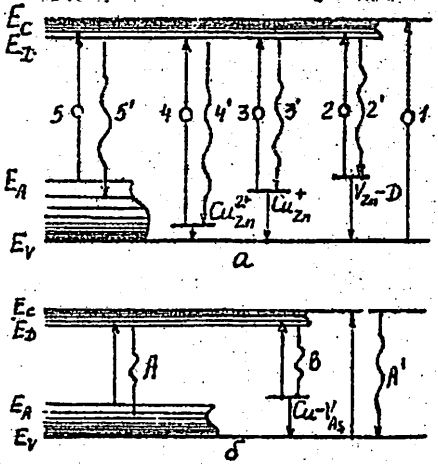


Рис.I. Предполагаемая энергетическая диаграмма и схема рекомбинационных переходов в монокристаллах твердых растворов на основе селенида цинка (а) и арсенида галлия(б).

Экспериментально наблюдаемые изменения спектров излучения в зависимости от условий возбужде-

ния (уровень возбуждения, температура и др.) позволяют сделать вывод о возможности применения теории люминесценции сильно легированных компенсированных полупроводников для описания явлений излучательной рекомбинации в исследованных материалах.

Анализ полученных результатов, а также литературных данных, приводит к некоторым общим заключениям относительно особенностей излучательной рекомбинации в твердых растворах $A^{III}B^{V} - A^{II}B^{VI}$:

1. В спектрах излучения кристаллов обычно наблюдается широкая бесструктурная полоса, образованная несколькими спектрально близкими полосами.

2. Энергия максимума основной коротковолновой полосы обычно существенно меньше ширины запрещенной зоны. В кристаллах, близких по составу к $A^{III}B^{V}$, а также в кристаллах на основе некоторых $A^{II}B^{VI}$, для которых эффект самокомпенсации собственными дефектами решетки не столь ярко выражен (например, $(GaAs)_x (CdTe)_{1-x}$) возможно проявление межзонной рекомбинации.

3. Спектральное распределение и энергетическое положение максимума основной полосы излучения кристаллов существенно зависит от интенсивности и длины волны возбуждающего излучения, а также от температуры.

4. Наблюдается корреляция между зависимостями энергетического положения максимума основной полосы излучения и ширины запрещенной зоны от состава твердых растворов.

Эти особенности могут быть объяснены на основании представления о том, что основным механизмом излучательной рекомбинации в твердых растворах $A^{III}B^{V} - A^{II}B^{VI}$ является межпримесная рекомбинация.

Высокая эффективность излучательной рекомбинации в монокристаллах твердых растворов арсенида галлия с селенидом цинка (внешний квантовый выход излучения в видимой области составляет 4–5%), возможность плавной перестройки частоты излучения в зависимости от состава позволяют сделать вывод о перспективности применения исследованных материалов в качестве материала для полупроводниковых источников света.

Исследована рентгенопроводимость монокристаллов $ZnSe$ и твердых растворов в области составов $0 < x \leq 0{,}5$. Показано, что введение $GaAs$ способствует повышению рентгеночувствительности монокристаллов $ZnSe$. Данные материалы могут быть использованы для создания на их основе датчиков (дозиметров) рентгеновского излучения в области малых энергий квантов (до 3 кэВ).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведенные технологические, физико-химические и физический исследования свидетельствуют о том, что одним из наиболее перспективных методов получения совершенных монокристаллов и эпитаксиальных слоев твердых растворов арсенида галлия с селенидом цинка является метод химических газотранспортных реакций.

2. Доминирующим механизмом роста монокристаллов и эпитаксиальных слоев твердых растворов является слоисто-спиральный рост. Создание специальных условий для перехода от слоисто-спирального роста к чисто слоевому за счет движения собственных ступеней (отклонение ориентации подложки от сингулярной плоскости (100) на $4\text{-}5^0$ в направлении <111>) приводит к существенному улучшению морфологии эпитаксиальных слоев и возможности получения слоев с зеркально-гладкой поверхностью.

3. Разработан метод идентификации состава четырехкомпонентных твердых растворов с применением расчетного способа введения поправок к определенным в первом приближении по относительной интенсивности спектральных линий концентрациям элементов в пробе. Метод исключает приготовление калибровочных образцов, что являлось необходимым в разработанных ранее методах анализа состава фаз переменного состава с применением рентгеновского флуоресцентного анализа.

4. Анализ вероятных механизмов рассеяния носителей заряда на основе данных электрических измерений монокристаллов $(GaAs)_x(ZnSe)_{1-x}$ показывает, что кроме рассеяния на ионах примеси и колебаниях решетки, возможен еще один специфический вид рассеяния - рассеяния на электронейтральных комплексах типа диполей "донор - акцептор".

5. Оценены значения эффективных масс дырок для сплавов, близких по составу к арсениду галлия. Значения эффективных масс в пределах погрешности метода не зависят от состава растворов и концентрации носителей заряда, что может свидетельствовать о близости валентной зоны сплавов к апараболичной.

6. Обнаружено существенное уменьшение оптической ширины запрещенной зоны монокристаллов твердых растворов не только вблизи селенида цинка, но и вблизи арсенида галлия. Данное явление связывается с образованием сравнительно глубоких "хвостов" плотности состояний в запрещенной зоне. В области собственно твердых растворов наблюдается плавное изменение оптической ширины запрещенной зоны, обусловленное взаимодействием комплексов донор – акцептор с матрицей исходного кристалла.

7. Основным каналом излучательной рекомбинации в твердых растворах арсенида галлия с селенидом цинка является межпримесная рекомбинация между образующимися в запрещенной зоне исходных полупроводников примесной донорной и акцепторной зонами и "хвостами" плотности состояний. Наличие собственных дефектов решетки (катионных вакансий) и неконтролируемой примеси меди оказывает существенное влияние на спектры излучения кристаллов, что связано с большими значениями сечений захвата соответствующими центрами неравновесных носителей.

8. Исследование физических свойств монокристаллов твердых растворов в зависимости от их состава показывает, что смешанные кристаллы вблизи исходных соединений следует рассматривать как сильно легированные компенсированные полупроводники. Анализ взаимодействия компонентов в этой области составов следует проводить также с учетом взаимодействия примесей со стехиометрическими вакансиями матрицы. В средней области составов взаимодействие компонентов осуществляется посредством взаимодействия комплексов "донор-акцептор" с основным соединением, что приводит к плавному изменению свойств кристаллов твердого раствора в зависимости от его состава.

Сопоставление полученных экспериментальных результатов с литературными данными позволяет предположить, что сделанные выше выводы о взаимодействии компонентов в твердых растворах

$(GaAs)_x(ZnSe)_{1-x}$ применимы, по-видимому, для всех широкозонных твердых растворов гетеровалентного замещения типа $A^{III}B^{V} - A^{II}B^{VI}$.

9. Введение взаимокомпенсирующих примесей галлия и мышьяка в селенид цинка способствует улучшению некоторых его электрических свойств (резко уменьшается удельное сопротивление, увеличивается интенсивность люминесценции, повышается рентгенопроводимость и т.д.). По-видимому, такой способ легирования может быть полезным и для других соединений $A^{II}B^{VI}$.

10. На основании проведенных исследований можно заключить о перспективности применения исследованных материалов для полупроводниковых стабилитронов, источников видимого и инфракрасного излучения, датчиков рентгеновского излучения. Дальнейшая разработка позволит выявить и другие области применения этих полупроводников.

МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ ДОКЛАДЫВАЛИСЬ на: IУ Республиканском симпозиуме по полупроводниковому материаловедению (Львов, сентябрь 1972 г.); У Всесоюзном совещании по электролюминесценции (Ставрополь, апрель 1973 г.); У Республиканском симпозиуме по полупроводниковому материаловедению (Ужгород, октябрь 1974 г.); Ш Всесоюзном совещании по электрическим и оптическим свойствам широкозонных полупроводников (Киев, май 1975 г.); IУ Симпозиуме "Процессы роста и синтеза полупроводниковых кристаллов и пленок" (Новосибирск, июнь 1975 г.); П Республиканском совещании "Физика и технология тонких пленок сложных полупроводников" (Ужгород, октябрь 1975 г.); Ш Всесоюзной конференции по физико-химическим основам легирования полупроводниковых материалов (Москва, октябрь 1975 г.); Международной конференции "Твердые растворы "75" (Рейнгардсбрюнн, ГДР, ноябрь 1975 г.)

и ОПУБЛИКОВАНЫ в следующих работах:

I. А.В.Войцеховский, Н.Г.Вялый, В.А.Анищенко, А.Д.Пашун, И.Е.Марончук, В.Ф.Коваленко. В об. "Актуальные проблемы физики твердого тела", стр. 39. КПИ им.А.М.Горького, Киев, 1973 г.

2. А.В.Войцеховский, Н.Г.Вялий. В сб. "Физика твердого тела", стр. 19. КГПИ им.А.М.Горького, Киев, 1975 г.

3. А.В.Войцеховский, Н.Г.Вялий, И.Е.Марончук. IУ симпозиум по процессам роста и синтеза полупроводниковых кристаллов и пленок. Тезисы докладов, стр. 210. Изд-во СО АН СССР, Новосибирск, 1975г.

4. А.В.Войцеховский, Н.Г.Вялий, И.Е.Марончук, Л.А.Холко. В сб. "Физика и технология тонких пленок сложных полупроводников (Тезисы докладов П Республиканского совещания)", стр. 70. Изд-во УГУ, Ужгород, 1975 г.

5. А.Е.Войцеховский, Н.Г.Вялий, В.В.Дидик. В сб. "Физика и технология тонких пленок сложных полупроводников (Тезисы докладов П Республиканского совещания)", стр. 73. Изд-во УГУ, Ужгород, 1975 г.

6. В.А.Анищенко, А.В.Войцеховский, Н.Г.Вялий, А.Д.Пашун. Материалы Международной конференции "Твердые растворы "75", стр.50. Рейнгардсбрюнн (ГДР), 1975 г.

7. В.А.Анищенко, А.В.Войцеховский, Н.Г.Вялий, М.В.Курик, В.С.Манжара. Материалы Международной конференции "Твердые растворы "75", стр. 54. Рейнгардсбрюнн, ГДР, 1975 г.

8. А.В.Войцеховский, Н.Г.Вялий, П.Н.Ткачук, Н.И.Глущенко, А.Л.Рвачев, Е.П.Скидан. Материалы Международной конференции "Твердые растворы "75", стр.191. Рейнгардсбрюнн, ГДР, 1975 г.

9. А.В.Войцеховский, Н.Г.Вялий, В.Ф.Коваленко, И.Е.Марончук, П.Н.Ткачук. ФТП, 10, 201 , 1976 (ДЭ-3464/75 "Электроника").

10. А.В.Войцеховский, Н.Г.Вялий, А.М.Демченко, В.Ф.Коваленко, И.Е.Марончук. ФТП, 9, 2106 (1975).

11. А.В.Войцеховский, Н.Г.Вялий. В сб. "Вопроси физики веществ и дисперсных систем", стр. 56, КГПИ им.А.М.Горького, Киев, 1975 г.

БФ 17431. НДПІ. Лабораторія друку. Зам. 2744. Тираж 200. 3. 04.76.