

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**
КУЛЯБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. А. РУДАКИ

На правах рукописи
УДК 669.17:546.86.87



ШАРИПОВ Аламшо Партоевич

**СИНТЕЗ И СВОЙСТВА
АНТИМОНИДА И АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ
В ТВЕРДОЙ И ЖИДКОЙ ФАЗЕ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.02.01 – Материаловедение (в электротехнике)

Душанбе – 2021

Работа выполнена на кафедрах «Общей и теоретической физики» и «Методики преподавания физики и технологии материалов» Кулайбского государственного университета им. А. Рудаки.

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Республики Таджикистан, академик инженерной академии Республики Таджикистан
Каримов Самаритдин Каримович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент, директор филиала Национального исследовательского технологического университета «МИС и С» в городе Душанбе
Сайдзода Раҳимҷон Ҳамро

кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидротехническое строительство и общетехнических дисциплин» Института энергетики Таджикистана
Назарзода Ҳайрулло Ҳолназар

Ведущая организация: Государственное научное учреждение “Центр исследований инновационных технологий” при Национальной академии наук Таджикистана

Защита состоится 24 мая 2021 года в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-007 при Институте химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни 299/2, E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана www.chemistry.tj

Автореферат разослан «____» ____ 2021 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук



Махкамов Х.К.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и необходимость проведения исследования. Развитие современной электронной техники требует постоянного целенаправленного поиска новых полупроводниковых материалов, имеющих разнообразное сочетающихся электрофизические, физико-химические, термоэлектрические, термодинамические и другие свойства в широком интервале температур, включая и жидкую фазу.

Перспективными полупроводниковыми соединениями являются двойные и тройные халькогениды галлия соединения группы $A^{III}B^V$ и в частности твердые растворы на их основе. На основе литературного обзора по соединениям $A^{III}B^V$ установлено, что полупроводники этих типов обладают эффективными сочетаниями электрофизических и термоэлектрических свойств, которые могут быть исследованы как на поликристаллических, так и на монокристаллических образцах. Выращивание монокристаллов для некоторых халькогенидов галлия, методом газотранспортной реакции, требует специальной аппаратуры и методики проведения технологических процессов. На примере халькогенидов галлия открываются возможности и перспективы получения монокристаллов полупроводниковых соединений, методом «Сдвоенных тиглей» и «Химических газотранспортных реакций».

Диссертационная работа выполнена в соответствии с Государственными программами: «Стратегия Республики Таджикистан в области науки и технологии на 2007-2015гг.»; «Внедрение результатов научно-технических достижений в промышленное производство в Республике Таджикистан на 2010-2015гг.», а также и «Программа инновационного развития Республики Таджикистан на 2011-2020гг.».

Степень изученности научной проблемы. Технология получения новых полупроводниковых материалов и создание приборов на их основе могут быть выполнены в результате комплексного исследования широкого круга их свойств и процессов легирования, включающих изучение электрофизических свойств легированных соединений и взаимодействия основы – примесь и легирующих добавок друг с другом.

Исследование методов синтеза и выращивания монокристаллов халькогенидов галлия, их легирование различными примесями и комплексное исследование их свойств легли в основу данной диссертационной работы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель работы заключается в экспериментальном исследование электрофизических и физико-химических свойств антимонида и арсенида галлия, а также легированных образцов в широком интервале температур. Усовершенствование технологических процессов синтеза и получения поли- и монокристаллов этих соединений.

Объектом исследования является чистые и легированные антимониды и арсениды галлия в твердой и жидкой фазе.

Предмет исследования: синтез и изучение электрофизических и физико-химических свойств антимонида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе.

Задачи исследования:

1. Создание специальной установки сдвоенных тиглей для выращивания монокристаллов методом газотранспортных реакций.
2. Исследование фазовых равновесий с целью поиска новых полупроводниковых соединений группы $A^{III}-B^V$ – соединений.
3. Разработка оптимальных условий синтеза и выращивания монокристаллов бинарных антимонидов и арсенидов галлия и твердых растворов на их основе.
4. Исследование электрофизических, физико-химических, термодинамических свойств бинарных антимонидов и арсенидов галлия в широком интервале температур, включая и жидкую фазу.
5. Исследование легированных соединений $A^{III}B^V$ и изучение их электрофизических и термоэлектрических свойств.
6. Выяснение областей практического применения двойных и новых тройных антимонидов и арсенидов галлия в электронной технике.
7. Исследование кинетических параметров в зависимости от состава твердых растворов в системе GaAs-GaSb с целью получения материалов с высокой термоэлектрической эффективностью.

Методы исследования. При проведении исследований системы GaAs-GaSb применены методы термического, структурного и рентгенофазового анализа. Исследованы микроструктуры и микротвердости, являющиеся квазибинарными и представляющие собой непрерывного ряда твердых растворов.

Отрасль исследования является материаловедение, включающее синтез новых материалов и изучение электрофизических и физико-химических свойств антимонида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе.

Этапы исследования включают изучение литературных источников по теме диссертации; синтез новых материалов и изучение электрофизических и физико-химических свойств антимонида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе.

Основная информационная и экспериментальная база охватывает поиск исследовательских работ через научные журналы с использованием международных информационных систем. Особое внимание уделено электронным научным материалам, использованию компьютерных сетей. Экспериментальная база данного университета позволяет проводить исследования по синтезу и изучению электрофизических и физико-химических свойств антимонида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе. Экспериментальные исследования выполнены с применением модернизированных приборов и методов теории планирования эксперимента.

Достоверность диссертационных результатов. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием современных методов исследования с применением системного и функционального анализа. Достоверность полученных результатов

подтверждается также приведенными результатами экспериментальных исследований и сравнением некоторых полученных результатов с данными других исследователей, апробацией основных результатов, публикациями в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

Научная новизна исследования заключается в проведении комплексных исследований по разработке технологии получения поли- и монокристаллов полупроводниковых соединений в тройной системе Ga-As-Sb, как чистых, так и процессы легированных, а также исследования физико-химических, термоэлектрических и термодинамических свойств в широком интервале температур, где:

- исследованы фазовые равновесия в системах Ga-As и Ga-Sb и доказано существование индивидуальность соединений типа $A^{III}B^V$. В системе Ga-As-Sb установлен непрерывный ряд твердых растворов, определены кристаллическая структура и пространственная группа этих соединений;

- разработана новая разновидность метода химических транспортных реакций, позволившая получить монокристаллы соединений типа $A^{III}B^V$;

- по температурным зависимостям физико-химических, электрофизических свойств соединений $A^{III}B^V$ сделано заключение о том, что не наблюдаются радикальные изменения в характере химической связи и структуре ближнего порядка при плавлении и дальнейшем нагреве расплавов данных соединений;

- выявлен вклад составляющей теплопроводности (электронной, биполярной и молярной) в общей теплопроводности бинарных и сложных халькогенидов галлия в зависимости от температуры;

- рассчитаны температурные зависимости коэффициента термоэлектрической эффективности (добротности) данных соединений, по которым сделаны предложения об их практическом применении;

- показано, что при легировании изученных халькогенидов галлия можно регулировать их электрофизические свойства путем компенсации носителей заряда, а также установлены экспоненциальные законы температурной зависимости подвижности носителей заряда и механизм их рассеяния.

Теоретическая ценность исследования. Теоретические аспекты интерпретации данных и исследование комплекса теплофизических свойств бинарных и тройных халькогенидов галлия можно использовать при проектировании установок для выращивания соответствующих монокристаллов.

Практическая ценность исследования определяется следующими положениями:

- создана установка для выращивания монокристаллов методами двойных тиглей и газотранспортной реакции и усовершенствована аппаратура для выращивания кристаллов двойных и тройных халькогенидов галлия методом химических транспортных реакций;

- разработаны оригинальные конструкции ячейки для измерения электропроводности, коэффициентов термо-ЭДС и коэффициента Холла твердых

и жидких полупроводников при высоких температурах;

- определены соединения $A^{III}B^V$ и твердые растворы на их основе, являющиеся перспективными полупроводниковыми материалами для использования в качестве термоэлектрогенераторов и термодатчиков;

- определена температурная зависимость теплоемкости, определены отдельные ее составляющие части и установлены пределы экспоненциального закона температурной зависимости теплоемкости в соединениях $A^{III}B^V$. По данным теплоемкости рассчитана температурная зависимость термодинамических функций этих соединений;

Основные результаты диссертационной работы в виде разработанных «Термодатчиков» нашли широкое применение в производственных кооперативах «Рахмат» и «С.А. Хамадони» Кулябского района, «Мизроб» и «Ходжамумин» Воссейского района, а также и Филиале Таджикского аграрного университета имени Ш.Шотемура в Дангаринском районе в 2012 году. Разработанные материалы являются высокотермостойким и способными к легированию и представляют практический интерес к созданию на их основе различных приборов (акты внедрения прилагается).

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследования термического, структурного и рентгенофазового анализа системы GaAs-GaSb.
2. Результаты исследования электрофизических свойств соединений типа $A^{III}B^V$, легированных примесью хрома.
3. Результаты исследования теплофизических и термодинамических свойств соединений типа $A^{III}B^V$ в широком интервале температур.
4. Результаты исследования электрофизических, физико-химических и теплофизических свойств твердых растворов системы GaAs-GaSb в твердой и жидкой фазе.
5. Результаты исследования зависимости магнитной восприимчивости антимонида GaSb и арсенида GaAs в твердом и жидком состояниях от температуры.

Личный вклад соискателя заключается в разработке и реализации плана исследований, в постановке и решении задач исследования, выполненных в соавторстве, получении, обработке и анализе большинства экспериментальных данных и результатов экспериментов, а также в формулировке основных положений и выводов диссертации.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов. Основные результаты и положения диссертации докладывались на международных и республиканских конференциях: респ. науч.-практ. конф. «Инновационные технологии в науке и технике» (Душанбе, 2010); респ. науч.-практ. конф. к 20-летию со Дня независимости Республики Таджикистан: «Истиқолият таҳқимбаҳши давлати ҳуқуқбунёд» (Курган-тюбе, 2011); межд. науч.-теор. конф. «Философия, естественные и математические науки и образование: проблемы и перспективы», посв. 15-летию Дня национального согласия и 50-летию дня рождения д.физ.-мат. наук, академика АПН РФ,

профессора Абдулхая Комили (Курган-тюбе, 2012); респ. науч.-практ. конф. «Вклад науки в инновационном развитии регионов Таджикистан» (Куляб-Душанбе, 2012); VI межд. науч.-теор. конф. «Физико-химические основы получения и исследования комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов» (Куляб, 2014).

Опубликование результатов диссертации. По теме диссертации опубликованы 17 научных статей, из них 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 8 статей в других журналах и 7 статей в материалах международных и республиканских научно-практических конференций. Получено 3 малых патента Республики Таджикистан (№ TJ 623, 668, 918).

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключение и приложения. Общий объём диссертационной работы 159 страниц компьютерного набора, включающего 36 рисунков и 16 таблиц. Список цитируемой литературы состоит из 94 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность выполненных исследований, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимое на защиту и краткое содержание диссертации.

ГЛАВА 1. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ АРСЕНИДА И АНТИМОНИДА ГАЛЛИЯ - ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ (Обзор литературы)

В этой главе рассмотрены: место бинарных арсенидов и антимонидов галлия в системе соединения типа GaB^V ; перспективы применения; общие закономерности формирования простых антимонидов и арсенидов галлия; закономерности образования антимонида и арсенида галлия типа GaB^V и твердых растворов на их основе; современные аспекты теории электронных свойств расплавов; модели приближения (квазикристаллическое приближение; приближение модели «Почти свободных электронов»; двухзонная модель; метод сильной связи); определение основного направления исследований.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВ В ТВЁРДОМ И ЖИДКОМ СОСТОЯНИЯХ

Экспериментальное исследование электрофизических и термоэлектрических свойств металлов и полупроводников в широком диапазоне температур, включая и жидкую фазу является актуальным, с точки зрения как теоретического, так и практического применения. В связи с этим, нами была сконструирована установка, с использованием цифровых универсальных прецизионных приборов, которая позволяет исследовать комплексных свойств металлов и полупроводников в твёрдом и жидкоком

состояниях.

Данная установка даёт возможность измерять электропроводность твёрдых и жидкких материалов с применением методов постоянного и переменного токов магнитных полей с использованием цифровых универсальных прецизионных приборов, в частности универсальный вольтамперметр.

Анализ существующих методов показал, что наряду с успехами имеются и недостатки, особенно когда омические контакты спаиваются припоями или крепление производится металлическими стержнями. В связи с этим, нами разработан более универсальный держатель, который позволит крепить образец немагнитными винтовыми стержнями с острыми концами. Техническая схема держателя представлена на рисунке 1.

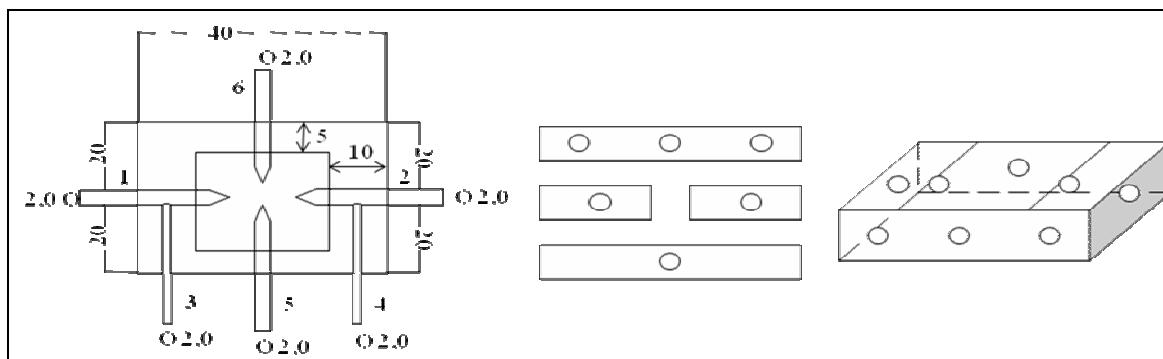


Рисунок 1 – Техническая схема держателя:
а) общая схема и размеры, б) в разрезе, в) общий вид

Данный держатель позволит на одном и том же образце одновременно измерять электропроводность, коэффициенты термо-ЭДС и Холла. Крепление термопары или токовые зонды производится при помощи винтов. Так как на термопары и зонды одеваются керамические соломки и винты прикасаются к этим соломкам, поэтому изоляция термопары и зондов от держателя полностью гарантируется. Вместе с тем, прикосновение термопары или зондов к образцам не вызывает никаких сомнений, даже при исследовании температурных зависимостей электрофизических параметров при высоких температурах вплоть до 1500 К.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ АНТИМОНИДОВ И АРСЕНИДОВ ГАЛЛИЯ В ТВЕРДОЙ И ЖИДКОЙ ФАЗЕ

Термодинамические свойства. Важное место в изучении полупроводниковых антимонидов и арсенидов галлия и двойных соединений типа $A^{III}B^V$ занимает исследование коэффициента термического расширения и теплоемкость, и их корреляции между электрическими и термодинамическими свойствами. Поэтому, в первую очередь, необходимо получить более полную термодинамическую характеристику этих соединений на основании измерения теплоемкости и коэффициента линейного расширения в широком интервале температур.

Измерение производили при постоянном давлении кипения холодильного агента и при высоком вакууме ($1,3 \cdot 10^{-3} \div 1,3 \cdot 10^{-4}$ Па). Обеспечение адиабатической защиты осуществлялось при помощи полупроводникового автоматического регулятора. Точность поддержания разности температур калориметра и экрана равна $3 \cdot 10^{-4}$ °С. Температуру измеряли посредством платинового термометра сопротивления с температурным коэффициентом сопротивления $W \geq 1,3910$, стабильность показания термометра при 0°С равна $\pm 2 \cdot 10^{-3}$ %. Измерение теплосодержания производили в интервале 298-760°К с шагом 45-50°С в двойном микрокалориметре Кельве. Погрешность измерений не превышала 2%.

Теплопроводность. Теплопроводность простых антимонидов и арсенидов галлия измерялась на установке, сконструированной в работе. Измерительная ячейка состоит из коаксиальных цилиндров, выполненных из спектрально чистого графита, обладающая высокой теплопроводностью. Установку при измерении теплопроводности предварительно откачивают и после прогрева заполняют спектрально чистым аргоном.

Расходуемую мощность на рабочем участке и показания термопар после установления стационарного режима регистрируются с помощью амперметра и вольтметра. Для цилиндрического слоя, как это имело место в нашем опыте, коэффициент теплопроводности λ вычисляли по формуле:

$$\lambda = \frac{\Theta \ell n(d_2 / d_1)}{2\pi\ell(t_1 - t_2)}, \quad (1)$$

где θ - количество тепла, которое выделяет нагреватель в единицу времени; ℓ - длина образующей цилиндра; d_1 и d_2 внутренний и внешний диаметры цилиндрического слоя жидкого полупроводника; t_1 и t_2 - температуры внутреннего и наружного слоев исследуемого вещества.

Расчетная ошибка определения теплопроводности описанным методом в наших опытах составляет не более 8-10%.

Электрофизические методы. Электропроводность и термо-эдс. Для исследования электропроводности и термо-эдс в твердой фазе полученные слитки и монокристаллы разрезались на станке при помощи алмазного круга. Образцы имели форму параллелепипеда. Измерения проводились компенсационным методом на постоянном токе с применением потенциометров, что позволило измерять напряжение до $1 \cdot 10^{-6}$ В и ток $1 \cdot 10^{-5}$ А.

При низкотемпературных измерениях применялся держатель образца, изображенный на рисунке 2. Основа держателя (3), изготовленная из красной меди, крепится к колбе газового термометра (1).

Образец (11) электрически изолированный от основы, плотно прижимался к холодильнику (13) медным посеребренным стержнем (6), служащим одновременно и нагревателем. Стержень может передвигаться вдоль своей оси и в заданном положении фиксироваться винтом (5). На него же намотана печь (3) для создания в образце температурного градиента. Печь (7) служит для регулировки температуры. При креплении образца на держателе зонды заворачиваются в виде петли, что за счет упругой силы дает хороший электрический контакт с образцом, термопары (12), и горячего (10) концов

припаиваются соответственно к холодильнику и нагревателю. Симметричные ветви термопар выполняют роль токопроводов, и с их помощью измеряется коэффициент термо-ЭДС образца.

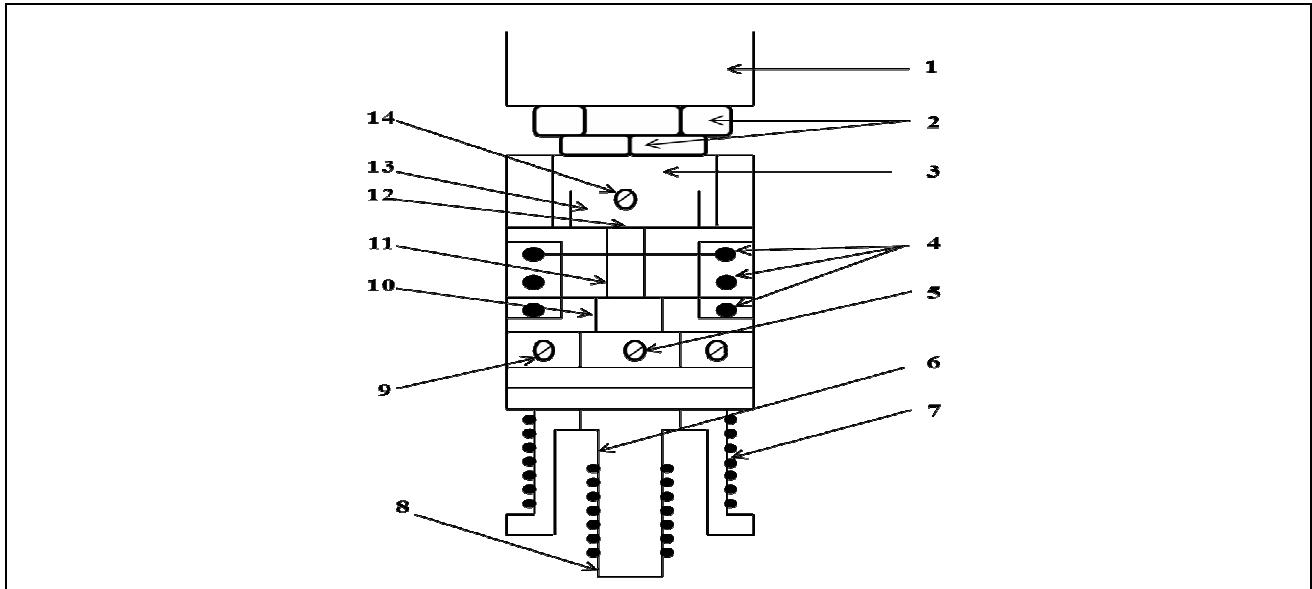


Рисунок 2 – Держатель образца для измерения электропроводности, коэффициентов Холла и термо-ЭДС при низких температурах антимонидов и арсенидов галлия.

Для измерения удельной электропроводности, в качестве электродов и зондов применялись платиновые провода диаметром 0,2 мм. Измерения производились в эвакуированной ($1,3 \cdot 10^{-3}$ Па) стеклянной ампуле со шлифом в атмосфере чистого гелия.

Образец выдерживался в определенном положении до тех пор, пока показание термопары не оставалось постоянным. Затем производилось измерение электропроводности. При измерении термо-ЭДС температура горячего и холодного концов фиксировалась проградуированной нами термопарой меди-констант, измерение дифференциальной термо-ЭДС проводилось относительно меди.

Для измерения температурной зависимости термо-ЭДС применялся держатель, который использовался для измерения температурной зависимости электропроводности с той лишь разницей, что при измерении термо-ЭДС на верхнем блоке держателя был намотан небольшой нагреватель, который создает необходимый перепад температур вдоль образца. Разница температур между верхней и нижней печами ΔT при измерении равнялась $5 \pm 10^\circ\text{C}$.

Таким образом, удельная электропроводность в твердой фазе определялась по формуле:

$$\sigma = \frac{I\ell}{\Delta V S}, \text{ См} / \text{см} \quad (2)$$

где ℓ - расстояние между измерительными зондами в см; S - площадь поперечного сечения образца в см^2 ; ΔV – разность потенциалов между зондами в вольтах (В), а дифференциальный коэффициент термо-ЭДС вычислялся по

формуле:

$$\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta T}, \quad (3)$$

где ΔT - градиент температуры между холодными и горячими концами образца в град. (К).

Термо-эдс в твердом и жидкок состояниях измеряли в горизонтальной лодочке, вдоль которой создавался градиент температуры 35-45°C. Контактный метод исследования электропроводности и термо-эдс позволяет производить высокотемпературные измерения под давлением инертного газа 4-5 атм.

Тепловой режим был стабилизирован. Значения термо-эдс вычисляли по методике. По длине образца фиксировалась разность температур $\Delta T = T_1 - T_2$, где T_1 и T_2 — температуры, измеряемые термопарами, $A_1 - X_1$ и $A_2 - X_2$ соответствие. Напряжения, $E_{M/X}$ и $E_{M/A}$ измеряются соответственно в хромелевой и алюмелевой ветвях цепи с помощью потенциометров, определяются из соотношений:

$$E_{M/X} = \alpha_{x/M} \Delta T, \quad (4); \quad E_{M/A} = \alpha_{A/M} \Delta T, \quad (5)$$

где $\alpha_{x/M}$ и $\alpha_{A/M}$ - коэффициенты термо-эдс соответственно хромеля и алюмелия относительно исследуемого материала. Следовательно,

$$\begin{aligned} E_{M/A} - E_{M/X} [(E_{A/M})T_1 + (E_{M/A})T_2] - [(E_{x/M})T_2] &= [(E_{A/M}) - (E_{x/M})]T_1 + \\ [(E_{M/A}) - (E_{M/X})]T_2 &= (E_{A/x})T_1 - (E_{A/x})T_2 \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом:

$$E_{M/A} - E_{M/X} = (E_{A/x})T_1 - (E_{A/x})T_2 = \alpha_{A/x} \Delta T, \quad (7)$$

где $\alpha_{A/x}$ - коэффициент термо-эдс пары алюмель-хромель.

Из выражений (5), (6) и (7) получаем:

$$\alpha_{X/M} = \frac{E_{M/X}}{E_{M/A} - E_{M/X}} \cdot \alpha_{A/X} \quad (8); \quad \alpha_{A/M} = \frac{E_{M/X}}{E_{M/X} - E_{M/A}} \cdot \alpha_{A/X} \quad (9)$$

Значение относительной термо-эдс определялось при этом по формулам (8) и (9), где $\alpha_{x/M}$ и $\alpha_{A/M}$ - дифференциальная термо-эдс образца исследуемого материала относительно хромеля и алюмеля соответственно; $E_{M/X}$ и $E_{M/A}$ - величины эдс образца относительно хромеля и алюмеля соответственно; $\alpha_{A/x}$ - коэффициент термо-эдс хромель-алюмелевой термопары.

Значение абсолютной термо-эдс определяется из выражения:

$$\alpha_M^0 = \alpha_{M/Z} + \alpha_{Z/M}^0, \quad (10)$$

где $\alpha_{M/Z}$ - значение термо-эдс исследуемого вещества относительно электрода сравнения; α_Z^0 - абсолютная термо-эдс электрода сравнения.

Эффект Холла. Принципиальная омическая схема для измерения коэффициента Холла в области низких температур, такая же, как и при измерении электропроводности и термо-эдс. Коэффициент Холла вычислялся по формуле:

$$R_h = \frac{V_h d}{I H} \cdot 10^8, \text{ см}^3 / \text{Кл} \quad (11)$$

где d - толщина образца в см; H - напряженность магнитного поля в гс; I – ток через образец в амперах (А); V_h - Холловская разность потенциалов в вольтах (В).

Методика исследования электропроводности, термо-эдс и эффекта Холла в расплавах полупроводников. Экспериментальное исследование электрофизических параметров жидких металлов и полупроводников, обладающих высокой химической активностью, при температурах плавления и при дальнейшем нагреве расплава сопряжено с преодолением значительных трудностей. Основные затруднения, по нашему мнению, при создании установок возникают из-за недостаточной чувствительности аппаратуры, которая должна позволять регистрировать малые сигналы порядка $10^{-7} \div 10^{-8}$ В, а также из-за отсутствия герметичности ячейки, что приводить к большим ошибкам в эксперименте на веществах, содержащих в своем составе легколетучие компоненты. Эти обстоятельства являются, особенно важными, при исследовании полупроводниковых расплавов. Вместе с тем, наиболее распространенными средствами получения информации об электронном строении вещества и изменении структуры являются измерения электрофизических свойств, таких как электропроводность, термо-эдс и эффект Холла. При этом создание установок для измерения эдс Холла в металлических и полупроводниковых расплавах вызывает существенно большие трудности, чем для электропроводности и термо-эдс.

Нами, в содружестве с кафедрой теоретических основ теплотехники МЭИ собран измерительный комплекс, который позволяет преодолеть перечисленные выше затруднения при измерении эффекта Холла, термо-эдс и электропроводности в широком температурном диапазоне, включая жидкую фазу.

ГЛАВА 4. СИНТЕЗ КРИСТАЛЛОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ АНТИМОНИДА И АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ В ТВЕРДОЙ И ЖИДКОЙ ФАЗЕ

Общие закономерности образования арсенида и антимонида галлия типа $A^{III}B^V$. Для исследования взаимодействия и образования бинарных полупроводниковых соединений на основе элементов A^{III} и B^V группы, важное место занимает изучение диаграммы фазовых равновесий в системах $A^{III}-B^V$ (As-Ga и Ga-Sb). На основании анализа полученных нами результатов и исследования ряда других работ построена фазовая диаграмма состояния системы As – Ga. Диаграмма состояния системы As-Ga построена по данным термического и рентгеноструктурного анализа сплавов, синтезированных и приготовленных из стехиометрического состава химических элементов As.

Результаты литературной данные и наши данные подтверждают предыдущие исследования, в результате которых было установлено, что добавка до 2 вес. % (1,85 ат. % As) не влияет на точку плавления Ga. Арсенид галлия (GaAs) (51,79 вес. % As) изоструктурен цинковой обманкой (ZnS), типа В3, с постоянной, элементарной кристаллической ячейкой (решеткой) $\vec{a}=5,6532\text{ }\textit{\AA}^0$.

Нами также, установлено, что добавки сурьмы (Sb) не снижает точку

плавления галлия (Ga). Показано, что соединение GaSb (63,58 вес.% Sb), приготовление непосредственно сплавлением элементов стехиометрического состава. А также диаграмма фазового состояния системы (Ga-Sb), была построена посредством полученных нами результатов термического, микроскопического и рентгеноструктурного анализов. Определено, что добавки Ga не изменяют периоды кристаллической решетки Sb.

Технологические процессы синтеза и выращивания монокристаллов двойных соединений GaAs и GaSb. Монокристаллы GaB^V выращивали в сконструированной нами двухзонной печи, температура печей которой стабилизировалась с высокой точностью до $\pm 2^\circ\text{C}$. Нами сконструирована двухзонная печь для синтеза и получения кристаллов Ga B^V.

Для защиты от взаимодействия кварца с веществом в высокотемпературной зоне печи была использована графитовая лодочка, внутри которой находилось вещество. Выяснилось, что для исследуемых нами соединений с температурным градиентом 305-310°K можно вырастить монокристаллы с хорошей огранкой. Показано, что из высокотемпературной области печи, где расположено вещество, газообразные продукты дифундируют в низкотемпературную область и кристаллизуются.

При общей навеске 5-6 ч вещества, время выдержки ампулы при температурном градиенте 25-30°C составляет 75-80 ч. При такой навески и продолжительности опыта скорость массы переноса равна 68 мг/ч.

В течении 115-145 ч непрерывного процесса вырастили кристаллы Ga B^V длиной 4-6 мм с размерами граней 1,5-2,5 мм. На основе серии дебаеграмм порошков GaB^V и рентгенограмм качания монокристаллов соединений Ga B^V были вычислены параметры элементарной ячейки.

Теплопроводность и термодинамические свойства соединения типа A^{III}B^V и твердые растворы GaAs-GaSb в тройной системе Ga-As-Sb. Целью настоящей работы является исследование и получение термодинамических характеристик соединений типа A^{III}B^V на основании измерения теплоемкости и коэффициента термического линейного расширения в широком интервале температур, а также результаты определения предельных законов теплоемкости и некоторых характеристик колебательного спектра.

Монокристаллические образцы соединения типа A^{III}B^V получены методом химических газотранспортных реакций и методом «зонной перекристаллизации» («зонной плавки»). Химический, рентгеноструктурный, электронографический анализы показали, что полученные монокристаллические образцы являются однофазными и соответствуют соединению стехиометрического состава A^{III}B^V. Точность поддержания разности температур калориметра и ширмы равна $2,5 \cdot 10^{-4}$ К. Температура измерялась с помощью платинородиевого термопары сопротивления. Стабильность показания при температуре 269 К равна $\pm 1,5 \cdot 10^3\%$. Экспериментальные результаты изменения дебаевской температуры, приведены на рисунке 3.

Для оценки прочности химической связи в соединениях типа A^{III}B^V при

высоких температурах характеристическую температуру Дебая также вычислялись по формуле Линдемана-Бореллиуса и Грюнайзена. Значения $\theta_d \sim f(T)$, определенные этими двумя способами, хорошо согласуются между собой ($\theta_{d, 293,15} = 254 \pm 5$) К в первом случае (для GaSb) и ($\theta_{d, 298,15} = 263 \pm 5$) К во втором случае (для GaAs).

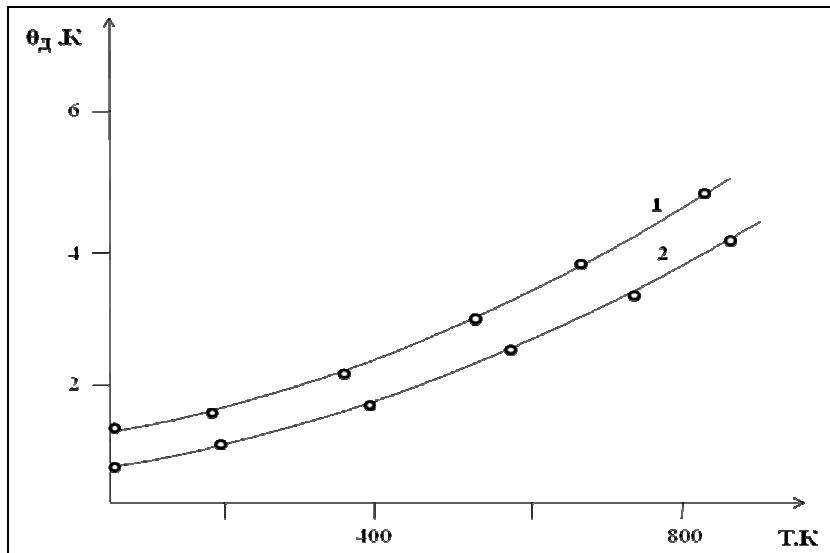


Рисунок 3 – Температурная зависимость характеристической температуры Дебая соединений GaSb (1) и GaAs (2)

Твёрдые растворы GaSb-GaAs в тройной системе Ga-As-Sb. Представляло интерес экспериментально исследовать образование непрерывных рядов твердых растворов между бинарными соединениями GaAs и GaSb в тройной системе Ga – Sb – As. В образце для исследования получили прямым синтезом стехиометрических количеств исходных компонентов. Продолжительность синтеза 18-20 часов при температурах, на 45-60°С превышающих температуры ликвидуса. После синтеза расплавы со скоростью 25-28 °С/ч охлаждались до комнатной температуры. Полученные сплавы подвергали гомогенизирующему отжигу при температурах, близких к плавлению данных соединений (составов) в течение 260-280 часов. Монокристаллические и поликристаллические образцы сплавов данного разреза получали также методом химических газотранспортных реакций.

На рисунке 4 представлена зависимость микротвердости от состава сплавов в системе GaSb – GaAs. На дебаеграммах и рентгенограммах наблюдаются линии и структуры типа GaSb с изменением характера упорядочения вблизи соединения состава GaAs, а для сплавов, содержащих от 90,1 до 98,% (по массе) GaSb, наблюдаются линии обоих видов упорядочения.

Элементарная кристаллическая решетка (постоянная кристаллическая решетка) а также изменяется монотонно с составом от 6,106 Å° (0,61 Нм) (для GaSb) до 5,646 Å° (0,56 Нм) (для GaAs). Также проводили дифференциальный термический анализ с помощью Пирометра Курникова в интервале температур от 120 до 1050°С. Средняя скорость изменения температуры составляла

примерно 10-12°C/мин. Для исследования использовали только отожженные образцы, содержащие одну фазу. Сплавы в количестве 1,5-2,02.

На полученных термограммах всех составов данного разреза сплавов наблюдали только два термических эффекта, один из которых, по-видимому, связан с началом затвердевания сплава данного состава, а второй эффект, - по-видимому, связан с его окончанием. На термограммах сплавов, содержащих более 65-70% (по массе) GaAs, в интервале температур 125 \div 1030°C наблюдали только один эффект, отвечающий линии ликвидуса (L – Ж), а второй эффект был незаметен, где учитывается характер кристаллизации в данном диапазоне концентрации в интервале температур кристаллизации. Полученные результаты исследования термического анализа представлены на рисунке 5.

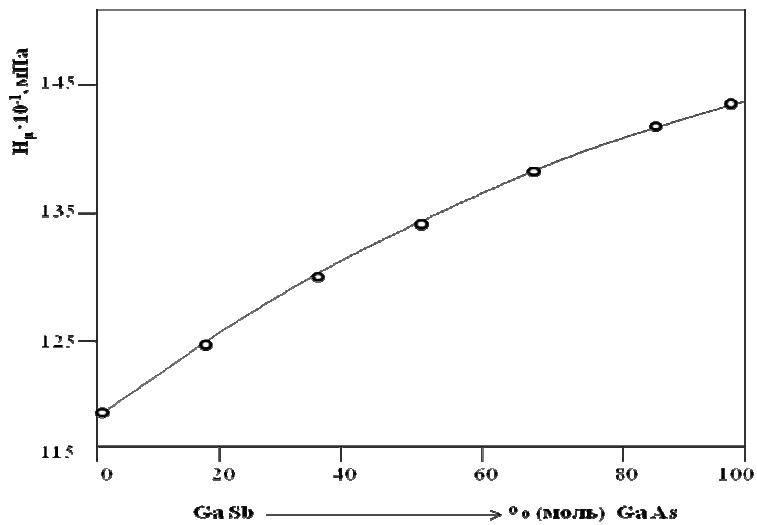


Рисунок 4 – Зависимость микротвердости (H_μ) от состава сплавов в системе GaSb – GaAs

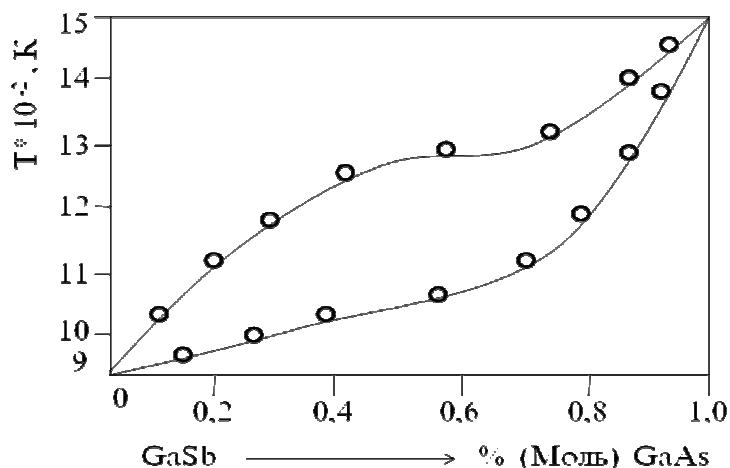


Рисунок 5 – Диаграмма состояния разреза системы GaSb – GaAs

Видно, что в рассматриваемой системе GaSb – GaAs образуется непрерывный ряд твердых растворов из полученных сплавов твердых растворов в системе GaSb – GaAs. Исследовали температурные зависимости электропроводности в широком интервале температур, включая и жидкую фазу. По результатам исследования температурной зависимости

электропроводности была определена ширина запрещенной зоны (ΔE_0) сплавов состава разреза системы GaSb – GaAs. Результаты расчетов указывает на то, что с увеличением содержания GaAs в сплавах системы GaSb – GaAs, ширина запрещенной зоны (ΔE_0) увеличивается монотонно.

Некоторые электрофизические свойства твердых растворов системы GaSb–GaAs. Твердые растворы синтезировали компоненты стехиометрического состава в кварцевых ампулах, предварительно графитизированных и вакуумированных до $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па в разработанной нами установке. Результаты исследования коэффициентов электропроводности и термо-ЭДС твердых растворов GaAs-GaSb представлены на рисунках 6 и 7.

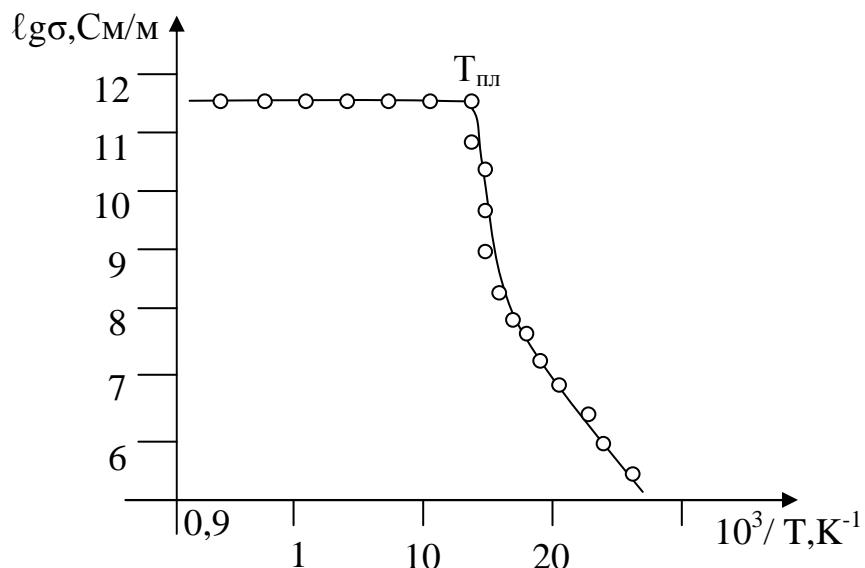


Рисунок 6 – Температурная зависимость электропроводности твердого раствора GaSb – GaAs

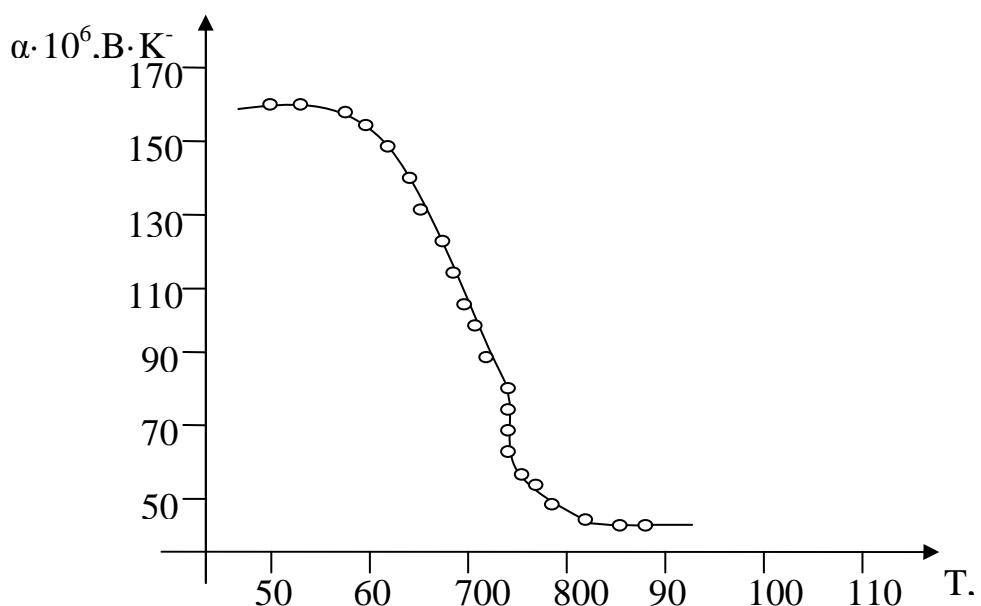


Рисунок 7 – Температурная зависимость коэффициента термо-ЭДС твердого раствора GaSb – GaAs

Видно, что в твердом состоянии с повышением температуры электропроводность увеличивается, а коэффициент термо-ЭДС уменьшается. В точке плавления электропроводность увеличивается, а коэффициент термо-ЭДС уменьшается скачком, в точке плавления значения электропроводность равняется $\sigma = 10^6 \text{ См}/\text{м}$.

Изучения растворимости примеси хрома в GaSb и GaAs методом микротвердости. Для исследования микротвердости соединения типа $A^{III}B^V$ (GaAs и GaSb), легированного Cr изготавлили серии сплавов (моноокристаллов), причем концентрации примеси Cr меняли от 0,1 до 1,2 вес %.

Для исследования микротвердости соединения GaA^V , легированного Cr, вырезали моноокристаллы, полученных методами «зонной перекристаллизации» («зонной плавки») и «химической газотранспортной реакции». При резании на поверхности образца возникал поверхностный наклеп, который после шлифовки и полировки (химической обработки) удаляли химическим травлением в химреактиве. Затем производили механическую шлифовку и полировку с использованием микропорошка, затем поверхность микрошлифа тщательно промывали теплой дистиллированной водой и высушивали. Образцы отжигали при 760°C в вакууме $1 \cdot 10^{-3}$ Па в течении 75-80 ч.

На рисунке 8 показано влияние поверхностного наклена и химической обработки на характер изотерм микротвердости при 300°K для образцов соединения типа $A^{III}B^V$, легированного Cr. Видно, что тщательное проведение химической обработки поверхности слоя резко уменьшает разброс величины микротвердости.

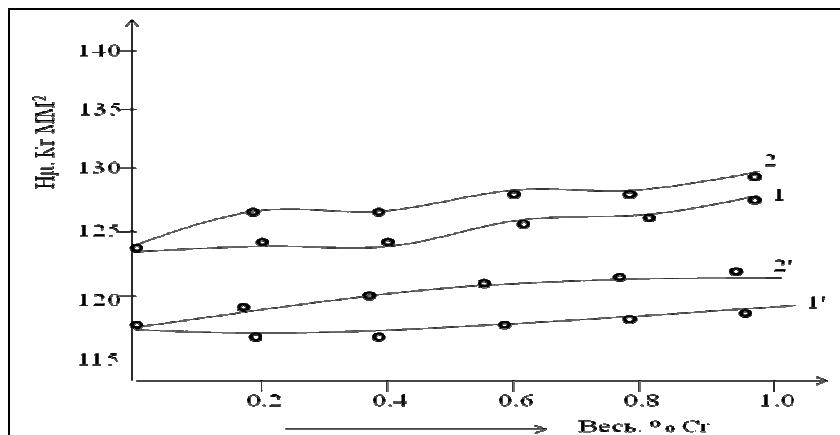


Рисунок 8 – Зависимость микротвёрдости соединения типа $A^{III}B^V$, легированного Cr. $GaSb + Cr$ (1,1') и $GaAs + Cr$ (2,2') от концентрации примесей: (1, 2) – образцы с наклесом; (1', 2') – образцы после химической обработки (травления)

На рисунке 9 представлены кривые зависимости микротвердости от времени травления сплавов состава $A^{III}B^V + 1$ вес.% и чистого соединения $A^{III}B^V$. Такая же зависимость микротвердости от времени травления наблюдается и при легировании GaSb и GaAs 0,1 и 0,5 вес.% Cr. Равномерно распределение примеси Cr вдоль слитков соединений типа $A^{III}B^V$

контролировали измерением электрического сопротивления кристаллов в условных единицах компенсационным методом.

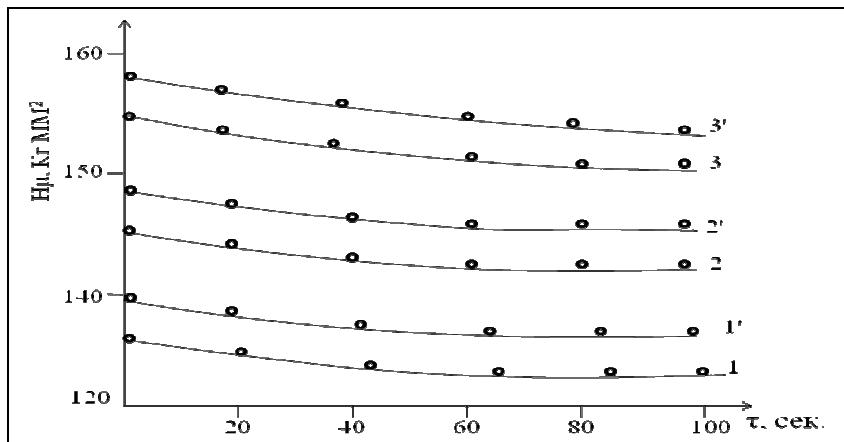


Рисунок 9 – Зависимость микротвердости соединения GaSb (1), GaAs (1'); легированного Cr (2,2') и (3,3') от времени травления смесью CP-4. Концентрации легирующей примеси Cr -1,0 вес.%

На рисунке 10(а,б) представлены зависимость микротвердости исследованных образцов от концентрации примесей Cr при различных температурах отжига. Результаты проведения опытов показывают, что растворимость Cr в $A^{III}B^V$ максимально у образца, содержащего 0,85 вес. %Cr. Таким образом, максимальное значение растворимости Cr в $A^{III}B^V$ соответственно составляет 0,81 (GaSb) и 0,79 (GaAs).

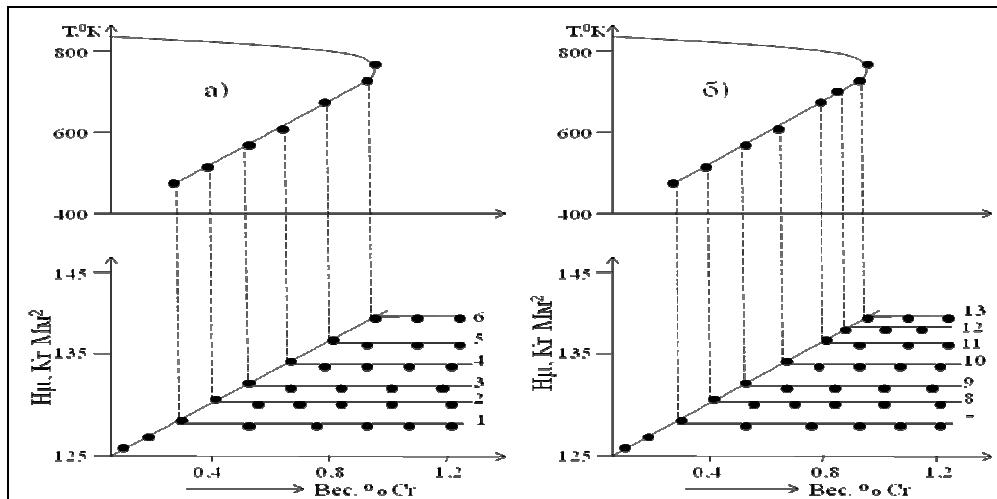


Рисунок 10 – Микродиаграммы состояния и зависимости микротвердости от состава сплавов систем GaSb (а), GaAs (б). Сплавы закаливали после отжига при различных температурах: 1 - 420; 2 - 480; 3 - 520; 4 - 580; 5 - 640; 6 - 690; 7 - 730; 8 - 780; 9 - 820; 10 - 850; 11 - 880; 12 - 910; 13 - 960 К

Исследование электрофизических свойств полупроводниковых соединений антимонида галлия (GaSb), и легированных примесью хрома в температурном интервале. На рис. 4.19 (а, б и в) представлены температурные зависимости электропроводности (а), коэффициентов Холла (б) и термо-ЭДС (в) чистого антимонида галлия – (1) и легированного GaSb хромом – (2) в твердом

и жидким состояниях.

Показано, что ход температурных зависимостей коэффициентов электропроводности, термо-ЭДС и Холла как чистого GaSb, так и легированных образцов хромом полностью коррелируют между собой (рисунок 11а,б,в). Численные значения электропроводности и термо-ЭДС образцов GaSb с содержанием хрома меньше, чем чистого антимонида галлия. В твердой фазе все образцы сохраняют ковалентные связи и имеют полупроводниковый характер проводимости, т. е. с увеличением температуры электропроводность возрастает, а коэффициенты термо-ЭДС и Холла уменьшаются. В жидкой фазе значение электропроводности для образцов GaSb с содержанием хрома ниже, чем у чистого антимонида галлия.

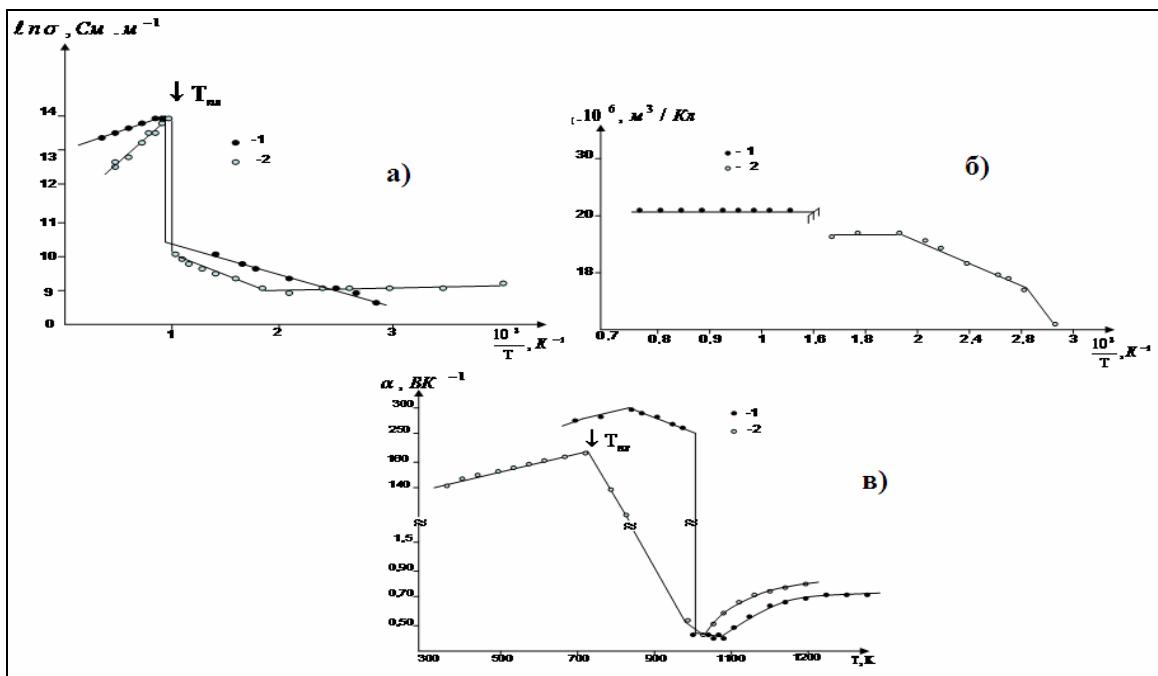


Рисунок 11 – Температурная зависимость электропроводности – (а), коэффициента Холла – (б) и термо-ЭДС - (в) чистого GaSb – (1) и легированного Cr – (2)

На основе экспериментальных данных по температурной зависимости коэффициента Холла по формулам:

$$R_H = \frac{A}{en}, \text{ м}^3/\text{Кл}, \quad (12); \quad n = \frac{A}{eR_H} \text{ см}^{-3}, \quad (13)$$

рассчитаны концентрации носителей заряда, а по результатам температурных зависимостей электропроводности и коэффициента Холла по формуле:

$$\sigma |R_H| = \mu, \text{ м}^2/(\text{В. с}), \quad (14)$$

определенны подвижность зарядов (рисунок 12).

Видно, что с повышением температуры концентрация носителей заряда n_p увеличивается экспоненциально, а подвижность μ_p уменьшается в начале по закону $\mu_p \sim BT^{-0.6}$, а потом по закону $\mu_p \sim BT^{-1.5}$. Это означает, что основным механизмом рассеяния зарядов при низких температурах являются рассеяние на

заряженных центрах (примесях), а в области высоких температурах - главным образом на акустических колебаниях решетки.

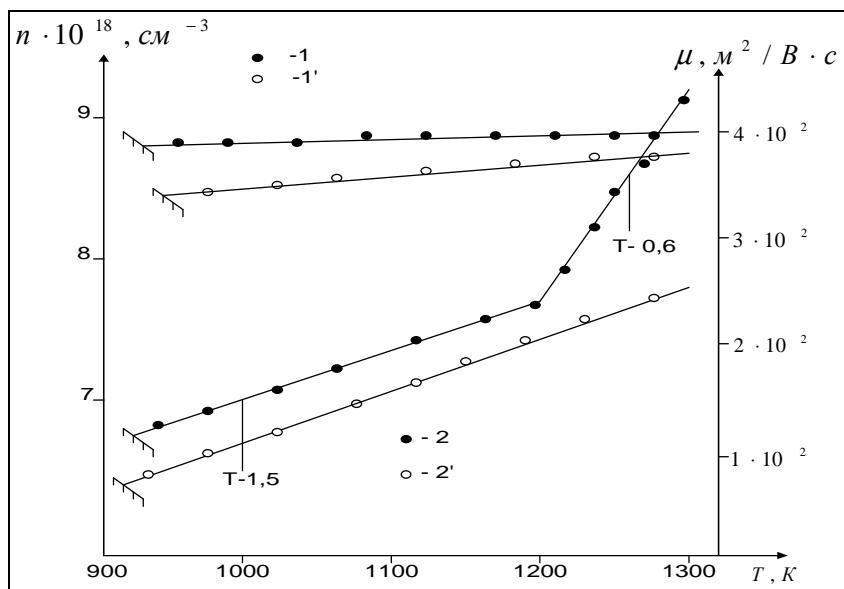


Рисунок 12 – Температурная зависимость концентрации носителей тока и подвижности зарядов чистого GaSb –(1, 2) и легированного хромом (1', 2')

Таким образом, μ_p примерно на 25-30% больше, а эффективная масса дырок вдвое меньше, чем у электронов, что собственно и обуславливает дырочный характер проводимости чистого антимонида галлия и легированного хромом.

Исследования некоторых электрофизических свойств арсенида галлия (GaAs) чистого и легированного хромом. Для измерения электропроводности и магнитной восприимчивости из полученных слитков вырезались цилиндрические образцы, у которых диаметр был равен высоте (по 8-10 мм соответственно). Образцы соединений арсенид галлия измерялись в вакуумированных до $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па и запаянных кварцевых ампулах соответствующего размера. Арсенид галлия взаимодействует с кварцем, поэтому образцы помещались в корундовые стаканчики соответствующего размера, которые запаивали в вакуумированные кварцевые оболочки.

При измерениях различных свойств образец перегревался на 20–25°C градусов выше температуры плавления и выдерживался при этой температуре перед началом измерений в течение 5-6ч, что гарантировало его расплавление. Такая длительная выдержка была обусловлена тем, что все измеряемые объекты обладают высокой теплотой плавления. При остальных температурах выдержка перед началом плавления составляла 20–25 мин.

Результаты измерения электропроводности, коэффициентов Холла и термо-ЭДС приведены на рисунке 13 (а, б, в), по арсенидам галлия с которыми результаты нашей работы хорошо согласуются, с данными других исследователей.

Из графиков видно, что электропроводность чистого арсенида галлия и

легированного хромом (Cr) в твердом состоянии при повышении температуры растет. При плавлении соединений электропроводность скачкообразно возрастает, достигая значений порядка $10^6 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$.

Незадолго до температуры плавления (за 20-30 градусов) термо-ЭДС вновь возрастает, а в точке плавления уменьшается скачком до низких значений порядка $(30-60) \cdot 10^{-6} \text{ В/К}$, а при дальнейшем нагреве продолжает возрастать. Знак термо-ЭДС, положительный при низких температурах, меняется при нагреве на обратный и сохраняется после плавления.

О росте концентрации носителей тока свидетельствует также скачкообразное уменьшение магнитной восприимчивости (рис. 14), которое, по нашему мнению, связано главным образом, с ростом спинового парамагнетизма свободных электронов за счет увеличения их концентрации, также в основном, с ростом концентрации носителей тока можно связать резкое уменьшение термо-ЭДС при плавлении соединений арсенида галлия.

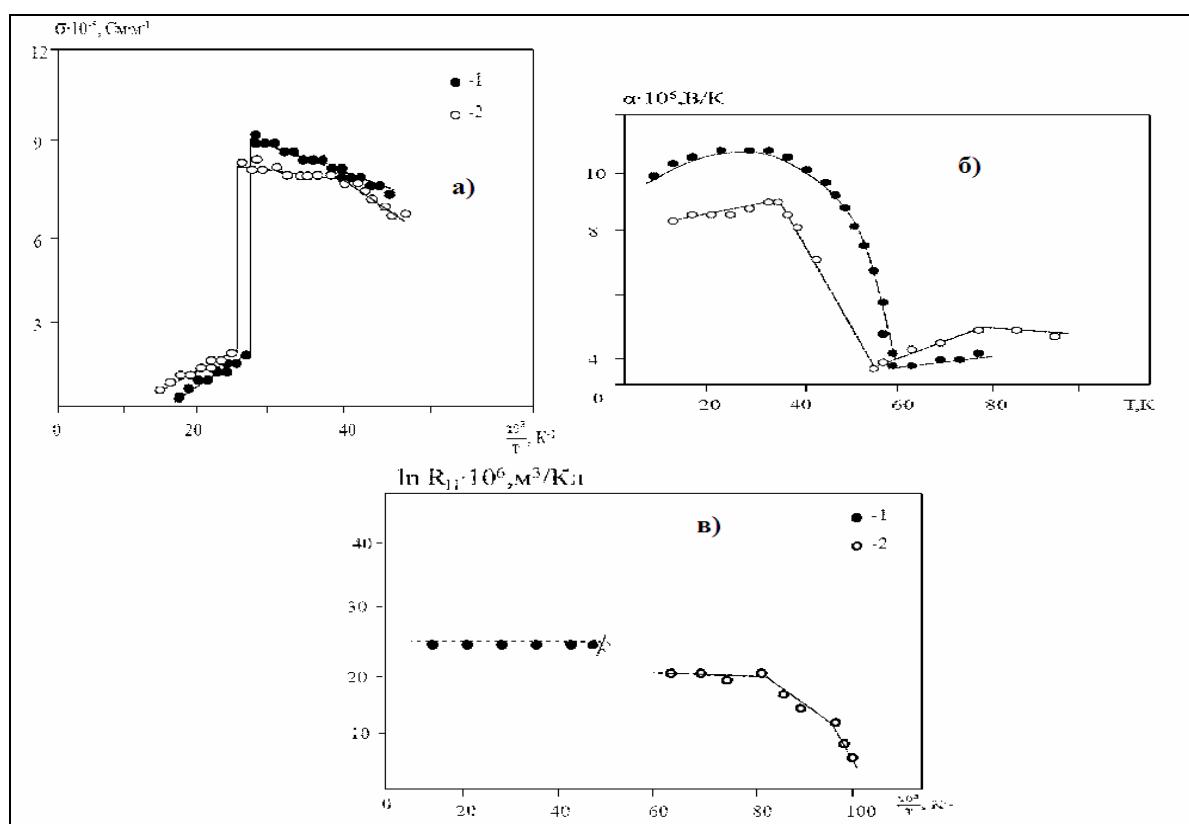


Рисунок 13 – Температурная зависимость электропроводности – (а), коэффициента Холла – (б) и термо-ЭДС (в) чистого GaAs (1) и легированного хромом Cr-(2)

Таким образом, вся совокупность электрофизических и магнитных свойств антимонидов и арсенидов галлия свидетельствует о том, что плавление этих полупроводниковых соединений сопровождается резким увеличением концентрации носителей тока, в результате чего электропроводность достигает величины, свойственной расплавленным металлам.

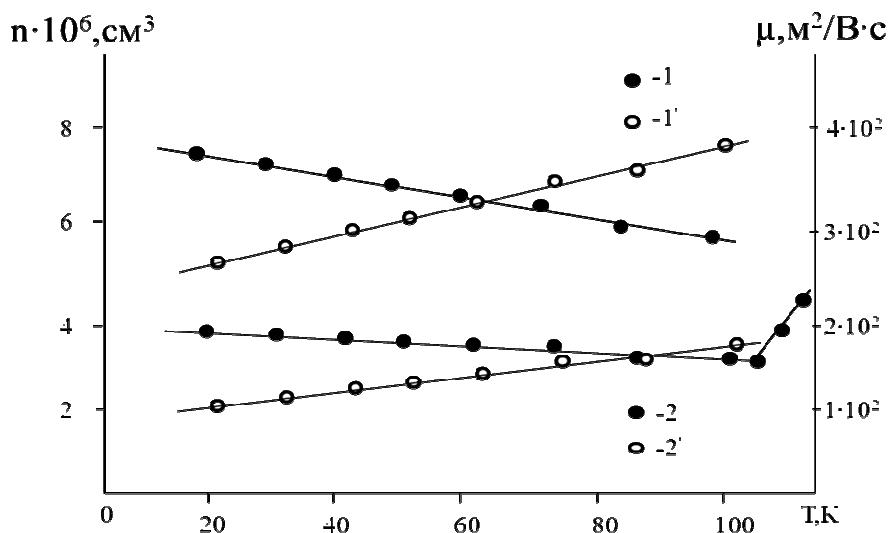


Рисунок 14 – Температурная зависимость концентрации носителей тока и подвижности зарядов чистого GaAs – (1, 2) и легированного хромом Cr – (1', 2')

Изучение влияния примеси хрома на поверхностное напряжение расплавов и микротвердость монокристаллов в составе GaSb и GaAs. Целью настоящей работы является изучение влияния примеси хрома (Cr) на поверхностное напряжение расплавов состава $A^{III}B^V$ (GaSb и GaAs) и на микротвердость монокристаллов данного соединения. Соединение типа $A^{III}B^V$, легированного хромом (Cr) синтезировали сплав-лением стехиометрического состава соответствующих навесок исходных компонентов в предварительно графитизированных и вакуумированных примерно до $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па, отпаянных кварцевыми ампулами.

На рисунке 15 представлены результаты определения поверхностного напряжения расплава состава $A^{III}B^V$, легированного хромом (Cr): 1- GaSb + Cr; 2- GaAs + Cr при 920°C . Концентрацию примеси хрома (Cr) введенных в расплав состава $A^{III}B^V$, изменяли от 0 до 1,2 вес. % и повышение концентрации исследуемых примеси хрома (Cr) увеличивает поверхностное напряжение расплава состава $A^{III}B^V$.

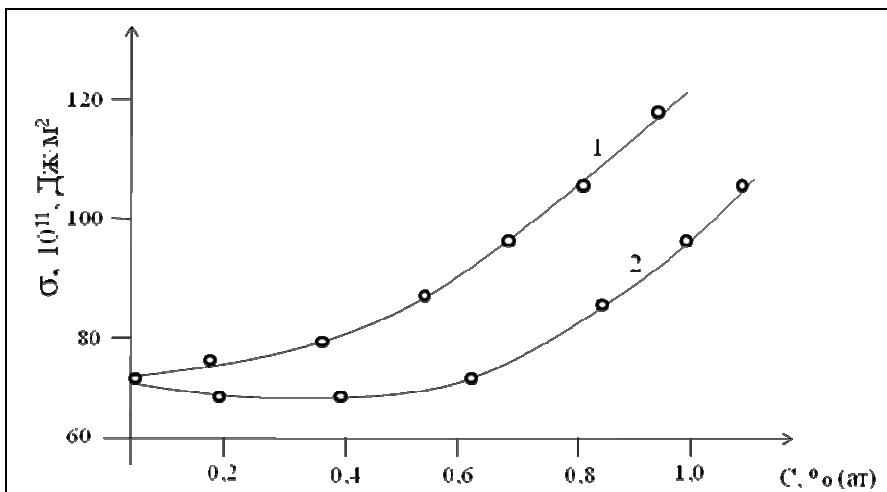


Рисунок 15 – Зависимость поверхностного напряжения расплава состава $A^{III}B^V$ от концентрации примеси Cr: 1- GaSb + Cr; 2- GaAs + Cr при 920°C

На рисунке 16 приведены результаты измерения микротвердости монокристаллических образцов соединения $A^{III}B^V$ в зависимости от атомов примеси хрома (Cr): 1- GaSb и 2-GaAs при 298,18 , где при увеличении концентрации атомов хрома (Cr) микро-твёрдость соединения $A^{III}B^V$ растет.

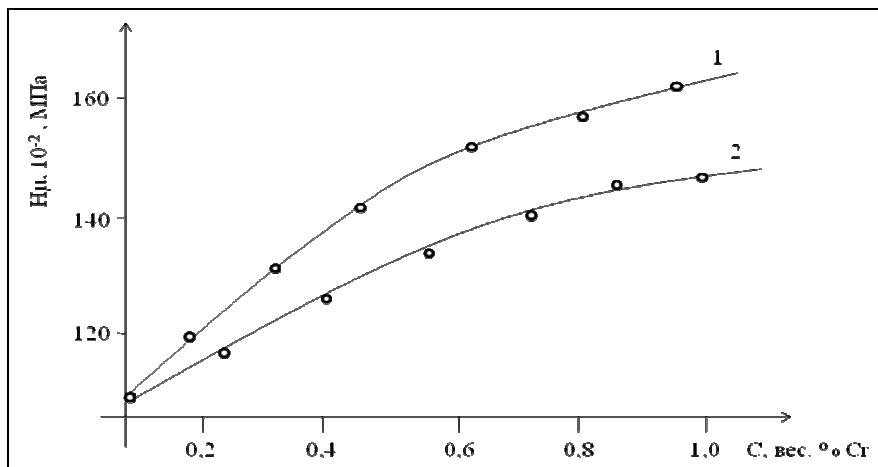


Рисунок 16 – Зависимости микротвердости монокристаллов соединения типа $A^{III}B^V$ от концентрации атомов примеси хрома (Cr): 1 - GaSb + Cr; 2 - GaAs + Cr

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации:

1. Методами дифференциального, термического, рентгеноструктурного, микроструктурного анализов и измерением микротвердости изучены фазовые равновесия в системах $A^{III}B^V$ (GaAs, GaSb); обнаружены конгруэнтно плавящиеся соединения $A^{III}B^V$, кристаллизующиеся в тетрагональной структуре. Показано, что в системах $A^{III}B^V$ образуются ряд непрерывных твердых растворов [6–9-А].

2. Сконструирована нами установка «Двухтемпературная печь» для синтеза и выращивания монокристаллов соединений типа $A^{III}B^V$ и непрерывных ряда твердых растворов на их основе методом «Химических газотранспортных реакций». С помощью разработанного прибора «Двухзонная печь», методом «Химических транспортных реакций» синтезированы и получены монокристаллические образцы твердых растворов GaAs-GaSb [3, 4, 20-А].

3. В интервале температур 10–325К исследованы изобарная теплоемкость соединений $A^{III}B^V$ (GaAs, GaSb). Определены стандартное значение энталпии и энтропии указанных соединений. Рассчитана характеристическая температура Дебая в зависимости от температуры и решеточных составляющих теплоёмкость [11, 16-А].

4. В широком интервале температур, включая и жидкую фазу исследованы электрофизические свойства соединений $A^{III}B^V$. Изучены температурные зависимости коэффициентов электропроводности, Холла и термо-ЭДС в твердом и жидком состояниях. Определены значения ширины запрещенной зоны, температурная зависимость концентрации и подвижность носителей заряда и их эффективная масса. Установлена экспоненциальная зависимость подвижности от температуры. Установлены основные механизмы рассеяния носителей заряда в $A^{III}B^V$ [1, 5, 10, 18-А].

5. Исследование электрофизических свойств и теплопроводности расплавов и сплавов соединения $A^{III}B^V$ показало, что расплавы этих соединений имеют высокий коэффициент и термоэлектрическую эффективность и представляют большой интерес как материал для термоэлементов [10, 13-А].

6. Методом микротвердости изучены фазовые равновесия соединения $A^{III}B^V$, легирующие примесь-хром (Cr). Определены предела растворимости хрома (Cr) в соединения $A^{III}B^V$. Построены микродиаграммы состояния типа соединений - легирующей добавки хрома (Cr). Показано, что растворимость хрома (Cr) имеет тетрагональный характер [8, 16-А].

7. Исследованы электрофизические свойства $A^{III}B^V$, легированных примесью хрома (Cr). Показано, что изменяя концентрации примеси хрома (Cr) при различных температурах можно получить сплавы или расплавы $A^{III}B^V$ с металлическим и полупроводниковым характером проводимости как в твердом, так и в жидком состоянии [15-А].

8. Изучены теплофизические свойства и термодинамическая добротность соединений $A^{III}B^V$, определены составляющие части теплопроводности $A^{III}B^{VI}$ в широком интервале температур. Выявлено, что физические свойства соединения $A^{III}B^V$ существенно меняются в широком интервале температур, включая и жидкую фазу, что делают их перспективными материалами для практического применения в различных областях электротехники [12–14-А].

9. Исследована зависимость магнитной восприимчивости антимонида GaSb и арсенида GaAs в твердом и жидком состояниях от температуры. Показано, что в соединениях $A^{III}B^V$ (GaAs, GaSb) при переходе из твердого состояния в жидкую, никаких кардинальных изменений в характере химической структуры и ближнего порядка не происходит [1, 17-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов:

1. Соединения типа $A^{III}B^V$ (GaAs, GaSb) и твердые растворы на их основе GaAs-GaSb в твердом и расплавленном состоянии имеют высокую термоэлектрическую эффективность, что их можно рекомендовать в качестве положительных ветвей термоэлектрических материалов. Также соединений $A^{III}B^V$ имеют высокую воспроизводимость в интервале температур 250-750⁰К, что рекомендуются для создания терморезисторов и различных «Датчиков температур» («термодатчики»).

2. Некоторые наши предложения и рекомендации, а также разработанные нами «Термодатчики» («Датчики температуры») нашли широкое применение в различных областях промышленности. Эти материалы являются высокотемпостойким и способными к легированию, что представляют практический интерес к созданию на их основе различных приборов.

3. Сочетание магнитных и полупроводниковых свойств в соединений типа $A^{III}B^V$ открывают возможности создания на их основе различных приборов: приемники кратковолнового излучения; источники некогерентного света; полупроводниковые квантовые генераторы; ганновские генераторы; различные магниторезисторы и т.д.

4. Разработанная нами установка «Двухзонная (двухтемпературная) печь» можно использовать для синтеза и получения монокристаллических однородных образцов простых и более сложных соединений методом

«химических газотранспортных реакций».

5. Разработанная универсальная прецизионная установка и ячейки рекомендуются для исследования комплекса свойств металлических и простых, тройных и более сложных полупроводниковых материалов и твердых растворов, образующихся на их основе.

СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных
ВАК при Президенте Республики Таджикистан:*

[1-А]. Каримов, С.К. Некоторые электрофизические свойства твердых растворов системы GaSb-GaAs / С.К. Каримов, А. Шарипов // Вестник Таджикского национального университета. – 2013. – № 1/1 (102). – С. 119-124.

[2-А]. Каримов, С.К. Некоторые физико-химические свойства соединения типа $A^{III}B^V$, легированного хромом (Cr) / С.К. Каримов, А. Шарипов // Вестник Таджикского национального университета. – 2014. – № 1/2 (130). – С. 74-77.

Изобретений:

[3-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТJ 623. Датчик температуры (Температурный датчик) для измерения температуры почвы перед посевом семян сельхозкультуры / С.К. Каримов, С.Г. Гафоров, Н.И. Баротов, А.П. Шарипов // Приоритет изобретения от 24.07.2014 г.

[4-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТJ 668. Двухзонная (двухтемпературная) печь для синтеза и получения монокристаллических полупроводниковых соединений методом «химических газотранспортных реакций» / С.К. Каримов, С.Г. Гафоров, А.П. Шарипов // Приоритет изобретения от 06.01.2015 г.

[5-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТJ 918. Держатель образца для исследования электрофизических параметров полупроводниковых соединений при низких температурах / С.К. Каримов, С.Г. Гафоров, А.П. Шарипов // Приоритет изобретения от 23.07. 2018 г.

Статьи, опубликованные в других журналах:

[6-А]. Гаффоров, С.Г. Современные проблемы исследования жидких металлов и полупроводников / С.Г. Гаффоров, С.К. Каримов, Н.И. Баротов, А. Шарипов // Вестник КГУ им. А. Рудаки. – 2009. – № 1(1). – С. 86-88.

[7-А]. Каримов, С.К. Общие закономерности образования арсенида и антимонида галлия типа $A^{III}B^V$ / С.К. Каримов, А. Шарипов // Вестник КГУ им. А.Рудаки. – 2009. – № 2(2). – С. 113-116.

[8-А]. Каримов, С.К. Определение растворимости Cr в GaSb и GaAs методом микротвердости / С.К. Каримов, А. Шарипов // Вестник КГУ им. А. Рудаки. – 2011. – № 1(5). – С. 168-173.

[9-А]. Каримов, С.К. Твердые растворы GaSb-GaAs в тройной системе Ga-As-Sb / С.К. Каримов, А. Шарипов // Вестник КГУ им. А. Рудаки. – 2010. – № 2(4). – С. 77-81.

[10-А]. Каримов, С.К. Установка для комплексного исследования электрофизических и термоэлектрических свойств металлов и полупроводников в широком диапазоне температур / С.К. Каримов, С.Г. Гаффоров, Н.И. Баротов, А. Шарипов // Кулябский Филиал технологического университета.– 2010. – С. 68-70.

[11-А]. Каримов, С.К. Технологические процессы синтеза и выращивания монокристаллов двойных соединений GaAs и GaSb / С.К. Каримов, А. Шарипов // Вестник КГУ им. А. Рудаки. – 2010. – № 3(3). – С. 114-116.

[12-А]. Каримов, С.К. Теплопроводность и термодинамические свойства соединения типа $A^{III}B^V$ / С.К. Каримов, А. Шарипов // Вестник КГУ им. А. Рудаки. – 2012. – № 1-2 (6-7). – С. 156-161.

[13-А]. Каримов, С.К. Наука и техника. Наука в производстве (изобретение) / С.К. Каримов, С. Гафоров, Н.И. Баротов, А. Шарипов // Вестник КГУ им. А. Рудаки. – 2014. – № 1(10). – С. 38-44.

Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:

[14-А]. Каримов, С.К. Теплопроводность и термодинамические свойства соединения типа $A^{III}B^V$ / С.К. Каримов, А. Шарипов // Мат. науч.-практ. респ. конф. к 20-летию Дня независимости Республики Таджикистан «Истиқолият таҳқимбахши давлати ҳукуқбунёд». Курган-тюбинский госуниверситет. – 2011. – С. 132-137.

[15-А]. Каримов, С.К. Электрофизические свойства антимонида галлия ($GaSb$), легированного хромом (Cr) / С.К. Каримов, С.Г. Гафоров, Н.И. Баротов, А.П. Шарипов // Мат. межд. науч.-теор. конф. «Философия, естественные и математические науки и образование: проблемы и перспективы», посв. 15-летию Дня национального согласия и 50-летию со дня рождения д.физ.-мат. наук, академика АПСН РФ, профессора А. Комили. – Курган-тюбинский госуниверситет. – 2012. – С. 154-161.

[16-А]. Каримов, С.К. Некоторые физико-химические свойства соединения типа $A^{III}B^V$, легированного хромом (Cr) / С.К. Каримов, А. Шарипов // Мат. науч.-практ. респ. конф. «Вклад науки в инновационном развитии регионов Республики Таджикистан». Кулябский филиал технологического университета Таджикистана. – 2012. – С. 123-129.

[17-А]. Кольцов, В.Б. Некоторые физические свойства чистых и легированных $GaSb$, $GaSb+Cr$, $GaSb+GaAs$ / В.Б. Кольцов, С.Г. Гафоров, Н.И. Баротов, А. Шарипов // Мат. VI межд. науч.-теор. конф. «Физико-химические основы получения и исследования комплекса свойств полупроводниковых композиционных и диэлектрических материалов». Кулябский государственный университет им. А. Рудаки. – 2013. – С. 6-7.

[18-А]. Каримов, С.К. Некоторые электрофизические свойства соединения GaB^V (B^V -As, Sb) / С.К. Каримов, А. Шарипов // Мат. VI межд. науч.-теор. конф. «Физико-химические основы получения и исследования комплекса свойств полупроводниковых композиционных и диэлектрических материалов» // Кулябский государственный университет им. А. Рудаки. – 2013. – С. 52-54.

[19-А]. Шарипов, А. Датчик температуры (Температурный датчик) для измерения температуры почвы перед посевом семян сельхозкультуры / А. Шарипов // Маҷмуаи маводи форуми ҷумҳуриявии ихтироъкорон ва навоварони ҷавон оид ба технологияи инноватсионӣ таҳти унвони «Ҷавонон – нерӯи навовар ва ихтироъкор», бахшида ба 70-солагии Донишгоҳи давлатии Қӯлоб ба номи А. Рӯдакӣ. – 2015. – С. 114-115.

[20-А]. Шарипов, А. Двухзонная (Двухтемпературная) печь для синтеза и получения монокристаллических полупроводниковых соединений методом «Химических газотранспортных реакций» / А. Шарипов // Маҷмуаи маводи форуми ҷумҳуриявии ихтироъкорон ва навоварони ҷавон оид ба технологияи инноватсионӣ таҳти унвони «Ҷавонон – нерӯи навовар ва ихтироъкор», бахшида ба 70-солагии Донишгоҳи давлатии Қӯлоб ба номи А. Рӯдакӣ. – 2015. – С. 115-116.

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ КУЛОБ ба номи А. РӯДАҚӢ**

Бо ҳуқуқи дастнавис
УДК 669.17:546.86.87



ШАРИПОВ Аламшо Партоевич

**СИНТЕЗ ВА ХОСИЯТҲОИ АНТИМОНИД
ВА АРСЕНИДИ ГАЛЛИЙ
ДАР ФАЗАҲОИ САХТ ВА МОЕЪ**

АВТОРЕФЕРАТИ
диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии
номзади илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси
05.02.01 – Маводшиносӣ (дар электротехника)

Душанбе – 2021

Диссертатсия дар кафедраҳои “Физикаи умумӣ ва ғайриорганикӣ” ва “Методикаи таълими физика ва технологияи маводҳо”-и Донишгоҳи давлатии Кулоб ба номи А. Рӯдакӣ иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ:

доктори илмҳои химия, профессор,
арбоби шоистаи илм ва техникаи Ҷумҳурии
Тоҷикистон, академики Академияи муҳандисии
Ҷумҳурии Тоҷикистон
Каримов Самаритдин Каримович

Муқарризони расмӣ:

доктори илмҳои техникӣ, дотсент, директори
филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотӣ-
технологии “ИП ва ХМ” дар шаҳри Душанбе
Саидзода Раҳимҷон Ҳамро

номзади илмҳои техникӣ, дотсенти
кафедраи “Соҳтмони гидротехникӣ ва
фанҳои умумитехникӣ”
Назарзода Ҳайрулло Ҳолназар

Муассисаи пешбар:

Муассисаи давлатии илмии “Маркази таҳқиқоти
технологияҳои инноватсионӣ”-и назди
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Ҳимояи диссертатсия 24 майи соли 2021, соати 11⁰⁰ дар ҷаласаи Шӯрои диссертационии 6D.КОА-007 назди Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон баргузор мегардад.

Суроға: 734063, ш. Душанбе, хиёбони Айнӣ, 299/2.

E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

Бо матни пурраи диссертатсия метавонед дар қитобхонаи илмӣ ва сомонаи Институти кимиёи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ба номи В.И. Никитин шинос шавед: www.chemistry.tj

Автореферат санаи «_____» _____ соли 2021 тавзеъ шудааст.

**Котиби илмии
Шӯрои диссертационӣ,
номзади илмҳои химия**



Махкамов X.Қ.

МУҚАДДИМА

Мубрамӣ ва зарурати баргузории таҳқиқот. Рушди техникии электронии муосир ҷустуҷӯи мақсадноки доимии маводи нимноқилии навро талаб менамояд, ки онҳо дорои хосиятҳои гуногуни электрофизикӣ, физикавӣ-химиявӣ, термоэлектрикӣ, термодинамикӣ ва гайраҳо дар ҳудуди васеъи ҳароратҳо дар ҳамҷоягӣ бо ҳолати моеъгии модда мебошанд.

Пайвастагихои нимноқилии дурнамо ҳалкогенидҳои галлийи дучанда ва сечандаи гурухҳои $A^{III}B^V$ буда, бештар маҳлулҳои саҳт дар асоси онҳо мебошад. Дар асоси тафсирҳо ё худ ҳулосаҳои адабӣ доир ба пайвастагихои $A^{III}B^V$ муайян карда шудааст, ки чунин нимноқилҳо дорои хосиятҳои беҳтарин ва фоидабахши электрофизикӣ ва термоэлектрикӣ мебошанд, ки онҳоро метавон дар намунаҳои поли ва монокристаллӣ тадқиқ намуд. Омодакунонии бисёршушагиҳо барои баъзе ҳалкогенидҳои галлий, тавассути реаксияи газинтиқолдиҳӣ дастгоҳҳо ё худ асбобҳои маҳсус ва усули гузаронидани равандҳои технологияро талаб менамояд. Дар мисоли ҳалкогенидҳои галлий имконотҳо ва дурнамои ҳосилкунии пайвастагихои монокристалии нимноқилӣ тавассути усули «бӯтаҳои дутогикардашуда ва «реаксияҳои химиявии газинтиқолдиҳанд» ба миён меоянд.

Рисолаи диссертационӣ мувофиқи барномаҳои давлатии зерин ичро карда шудааст: «Стратегияи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соҳаи илм ва технология барои солҳои 2007-2015»; «Ҷориқунонии натиҷаҳои дастовардҳои илмӣ-техникӣ дар истеҳсолоти саноатӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2010-2015» ва «Барномаи рушди инноватсионии Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2011-2020».

Дараҷаи омӯҳташудаи масъалаи илмӣ. Технологияи ҳосил кардани маводи нимноқилии нав ва соҳтани дастгоҳҳо ё худ асбобу анҷомҳо дар асоси онҳо дар натиҷаи тадқиқоти ҳамҷоявии доираи васеъи хосиятҳои онҳо ва равандҳои ҷавҳардоркунонӣ ва омӯзиши хосиятҳои электрофизикии пайвастагихои ҷавҳаркунонидашуда ва таъсиррасониҳои дучонибаи асосҳо – ғашҳо ва иловагиҳои ҷавҳарикунонидашуда ичро карда мешаванд.

Таҳқиқоти усули синтез ва ҳосилкунии бисёршушагиҳои ҳалкогенидҳои галлий, ҷавҳарикунонии онҳо ба воситаи омехтаҳои гуногун ва таҳқиқоти ҳамҷоявии хосиятҳои онҳо дар асоси диссертасияи зерин ҷойгиркунонӣ шудаанд.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот бо таҳқиқоти санчишӣ ва озмоиши хосиятҳои электрофизикӣ ва физикавӣ-химиявии антимонидҳо ва арсенидҳои галлий, ҳамчунин намунаҳои ҷавҳарикунонидашуда дар фосилаи васеъи ҳароратҳо мебошад. Муқаммалгардонии равандҳои технологияи синтез ва ҳосилкунии поли ва монокристалҳои ин пайвастагиҳо низ ичро карда шудааст.

Объекти таҳқиқот ин антимонидҳои тоза ва ҷавҳаронидашуда ва арсенидҳои галлий дар ҳолатҳои моеъӣ ва саҳт мебошад.

Мавзӯи таҳқиқот: синтез ва омӯзиши хосиятҳои электрофизикӣ ва физикавӣ-химиявии антимонид ва арсениди галлий дар фазаҳои саҳт ва моеъ.

Масъалаҳои таҳқиқот:

1. Сохтани дастгоҳҳои маҳсуси бӯтаҳои дутогӣ барои ҳосилкунии монокристалҳо тавассути усули реаксияҳои газинтиқолдиҳанда.
2. Таҳқиқоти мувозинати фазавӣ бо мақсади ҷустуҷӯи пайвастагиҳои нимноқилии нави гурӯҳҳои $A^{III}-B^V$ – пайвастагиҳо.
3. Коркарди шароитҳои оптималии синтез ва ҳосилкунии монокристалҳои антимонидҳои дучанда ва арсенидҳои галлий ва маҳлулҳои саҳт дар асоси онҳо.
4. Таҳқиқоти ҳосиятҳои электрофизикий, физикавӣ-химиявӣ, термодинамикии антимонидҳои дучанда ва арсенидҳои галлий дар фосилаи васеъи ҳароратҳо ва ҳолатҳои обакии моддаҳо.
5. Таҳқиқоти пайвастагиҳои ҷавҳарикунонидашудаи $A^{III}B^V$ ва омӯзиши ҳосиятҳои электрофизикий ва термоэлектрикий.
6. Шарҳдихии соҳаҳои истифодабарии амалии антимонидҳои дучанда ва нави сечанда ва арсенидҳои галлий дар техникаи электронӣ.
7. Таҳқиқоти бузургииҳои кинетикий вобаста аз таркиби маҳлулҳои саҳт дар системаи GaAs – GaSb бо мақсади ҳосилкунии мавод бо самаранокии баланди термоэлектрикий.

Усулҳои таҳқиқот. Ҳангоми гузаронидани таҳқиқоти системаи GaAs – GaSb методҳои ташхискунонии термикий, сохторӣ ва рентгенофазавӣ истифода карда шудаанд. Микросоҳтҳо ва микросаҳтии қазибинарҳо таҳқиқот шудаанд, ки дорои як қатор маҳлулҳои саҳт мебошанд.

Соҳаи таҳқиқот ин маводшиносӣ, ки дорои синтези маводи нав ва омӯзиши ҳосиятҳои антимонид ва арсениди галлий дар фазаҳои саҳт ва моеъаст, мебошад.

Марҳилаҳои таҳқиқот омӯзиши сарчашмаҳои адабиётҳоро аз рӯйи мавзӯи диссертатсия, синтези маводи нав ва омӯзиши ҳосиятҳои электрофизикий ва физикавӣ-химиявии антимонид ва арсениди галлийро дар фазаҳои саҳт ва моеъ дар бар мегирад.

Пойгоҳи асосии иттилоотӣ ва озмоишии таҳқиқот ҷустуҷӯи корҳои таҳқиқотӣ ба воситаи маҷаллаҳои илмии истифодаи системаҳои байналхалқӣ ва иттилоотӣ дар бар мегирад. Дикқати маҳсус ба маводи илмии электронӣ, истифодаи шабакаҳои компьютерӣ дода шудааст. Базаи таҷрибавии донишгоҳи мазкур имкон медиҳад, ки таҳқиқот оиди синтез ва омӯзиши ҳосиятҳои электрофизикий ва физикавӣ-химиявии антимонид ва арсениди галлий дар фазаҳои саҳт ва моеъ гузаронида шаванд. Таҳқиқоти таҷрибавӣ бо истифодаи асбобҳои модернизатсияшуда ва усулҳои назарии банақшагирии таҷрибаҳо иҷро карда шудааст.

Эътиимоднокии натиҷаҳои диссертатсионӣ. Асосноккунӣ ва эътиимоднокии ҳолатҳои илмӣ, хуласаҳо ва пешниҳодҳое, ки дар диссертатсия оварда шудаанд бо дуруст истифодабарии усулҳои муосир ва истифодаи таҳлили системавӣ ва функционалӣ тасдиқ мешаванд. Эътиимоднокии натиҷаҳои ҳосилнамуда, ҳамчунин таҳқиқоти натиҷаҳои таҷрибавӣ ва муқоисакунии якчанд натиҷаҳо бо маълумоти дигар таҳқиқотчиён, баррасии натиҷаҳои асосӣ, нашрияҳо дар маҷаллаҳои тавсиянамудаи КОА-и назди Ҷумҳурии Тоҷикистон

тасдик карда мешаванд.

Навғонихои илмии таҳқиқот дар гузаронидани таҳқиқоти комплексӣ доир ба коркарди технологияи ҳосилкунии поли- ва монокристалҳои пайвастагиҳои нимноқилий дар системаи сечандаи Ga – As – Sb, чун тоза ва равандҳои ҷавҳаронӣ, инчунин таҳқиқотҳои ҳосиятҳои физикӣ-химиявӣ, термоэлектрикӣ ва термодинамикӣ дар фосилаи васеъи ҳароратӣ анҷом меёбад, ки дар он:

- мувозинати фазавӣ дар системаҳои Ga-As ва Ga-Sb таҳқиқ карда шуда, мавҷудияти ягонагии пайвастагиҳои намуди $A^{III}B^V$ исбот карда шудааст. Дар системаи Ga-As-Sb як қатор маҳлулҳои саҳт аниқ карда шуда, соҳтори кристалӣ ва ғурӯҳҳои фазогии ин пайвастагиҳо муайян карда шудаанд;
- гуногуннамудии нави усули реаксияҳои химиявии интиқолкунонӣ коркард шудааст, ки ҳосилкунии монокристалҳои пайвастагиҳои намуди $A^{III}B^V$ имкон медиҳад;
- тибқи вобастагиҳои ҳароратии ҳосиятҳои физикӣ-химиявӣ ва электрофизикии пайвастагиҳои $A^{III}B^V$ ҳуло сабарорӣ шудааст, ки тағиироти куллӣ дар ҳусусиятҳои банди химиявӣ ва соҳтори тартиби наздик ҳангоми гудозонидан ва гармкунонии минбаъдаи гудохтаҳои пайвастагиҳои мазкур мушоҳида карда нашудаанд;
- саҳми гармигuzаронии (электронӣ, биполярӣ ва молярӣ) дар гармигuzаронии умумии бинарӣ ва мураккаби ҳалкогенидҳои галлий вобаста аз ҳарорат шарҳ дода шудааст;
- вобастагии ҳароратии зариби самаранокии термоэлектрикии пайвастагиҳои мазкур, ки тибқи онҳо оид ба истифодабарии амалии онҳо тавсияҳо шудааст, ҳисобкуниҳо шудаанд;
- нишон дода шудааст, ки ҳангоми ҷавҳаронидани ҳалкогенидҳои галлий метавон ҳосиятҳои электрофизикии онҳоро бо роҳи ҷубронкунонии интиқолкунандай заряд, инчунин қонунҳои нигорандай вобастагии ҳароратии тағиирпазирии барандай заряд ва механизми паҳнкунии онҳоро назорат намуд.

Аҳамияти назарии таҳқиқот. Аҳамияти назарии маълумоти интерпретатсия ва таҳқиқоти комплекси ҳосиятҳои гармофизикавии дучанда ва сечандаи ҳалкогенидҳои галлийро метавон ҳангоми лоиҳақашии таҷхизот барои ҳосилкунии монокристалҳои монокристалҳои мутобиқ истифода намуд.

Аҳамияти амалии таҳқиқот бо нуктаҳои зерин муайян карда мешавад:

- дастгоҳҳо ва асбобҳо барои ҳосилкунии монокристалҳо тавассути усули бӯтагиҳои дучанда ва реаксияҳои газбараандоҳо соҳта шуда, дастгоҳҳо барои ҳосилкунии кристалҳои ҳалкогенидҳои галлии дучанда ва сечанда тавассути усули реаксияҳои химиявии газбараандоҳо мукаммал карда шудаанд.
- конструксияҳои аслии ячейкаҳо барои ҷенкунии ноқилияти электргузаронандагӣ, зариби термо-ЭДС ва зариби Холл барои нимноқилҳои саҳт ва моеъӣ ҳангоми ҳароратҳои баланд коркард шудаанд;
- пайвастагиҳои $A^{III}B^V$ ва маҳлулҳои саҳт дар асоси онҳо муайян карда шудаанд, ки онҳо чун маводи нимноқилии дурнамо барои истифодабарӣ ба сифати термоэлектрогенераторҳо ва термодатчикҳо ба шумор мераванд;

- вобастагии ҳароратии гармиғунчиш, қисмҳои алоҳидаи он муайян карда шуда, ҳудудҳои қонуни экспоненсиалии вобастагии ҳароратии гармиғунчиш дар пайвастагиҳои $A^{III}B^V$ аниқ карда шудаанд. Мувофиқи қимати гармиғунчиш вобастагии ҳароратии функсияҳои термодинамикии ин пайвастагиҳо ҳисоб карда шудааст.

Натиҷаҳои ҳосилшудаи диссертатсияи номзадӣ дар намуди коркарди «Термодатчик» дар хочагиҳои кооперативии «Раҳмат» ва «С.А. Ҳамадонӣ»-и ноҳияи Кулоб, хочагии кооперативии «Мизроб» ва колхози «Хочамумин»-и ноҳияи Восеъ, ғайр аз ин дар филиали Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш. Шоҳтемури ноҳияи Дангара дар соли 2012 истифода шуд. Маводи коркардшуда аз ҷиҳати гармо мустаҳкам буда ва барои ҷавҳаронидан қобилиятнок аст ва таваҷҷӯҳи амалӣ оиди дар асоси онҳо соҳтани асбобҳои гуногунро пешкаш менамояд.

Нуктаҳои ҳимояшаванди диссертатсия:

1. Натиҷаҳои таҳқиқоти термикӣ, соҳторӣ ва таҳлили рентгенофазавии системаи GaAs–GaSb.
2. Натиҷаи таҳқиқоти ҳосиятҳои электрофизикии намуди $A^{III}B^V$, ки бо иловаҳои хром ҷавҳаронида шудаанд.
3. Натиҷаҳои таҳқиқоти ҳосиятҳои гармофизикӣ ва термодинамикии пайвастагии намуди $A^{III}B^V$ дар ҳудуди васеъи ҳарорат.
4. Натиҷаи таҳқиқоти ҳосиятҳои электрофизикӣ, физикавӣ-химиявӣ ва гармофизикавии маҳлулҳои саҳти системаи GaAs–GaSb дар фазаҳои саҳт ва моеъ.
5. Натиҷаҳои таҳқиқоти вобастагии қабулкунии магнитии антимониди GaSb ва арсенади GaAs дар ҳолатҳои саҳт ва моеъӣ аз ҳарорат.

Саҳми шаҳсии довталаӣ дар коркард ва амалисозии нақшай таҳқиқот, масъалагузорӣ ва ҳалли вазифаҳои таҳқиқот, ки дар ҳаммуаллифӣ ичро шудааст, ҳосилкунӣ, коркард ва таҳлили натиҷаҳо, инчуни дар ҷамъандии ҳолатҳои асосӣ ва хуносаҳои диссертатсия анҷом мейбад.

Таъииди диссертатсия ва иттилоот оид ба истифодаи натиҷаҳои он. Натиҷаҳои асосӣ ва ҳолатҳои диссертатсия дар конфронсҳои байнамилай ва ҷумҳуриявӣ маърӯза шудааст: респ. науч.-практ. конф. «Инновационные технологии в науке и технике» (Душанбе, 2010); респ. науч.-практ. конф. к 20-летию со Дня независимости Республики Таджикистан: «Истиқлолият таҳқимбахши давлати ҳуқуқбунёд» (Курган-тюбе, 2011); межд. науч.-теор. конф. «Философия, естественные и математические науки и образование: проблемы и перспективы», посв. 15-летию Дня национального согласия и 50-летию дня рождения д.физ.-мат. наук, академика АПН РФ, профессора Абдулхая Комили (Курган-тюбе, 2012); респ. науч.-практ. конф. «Вклад науки в инновационном развитии регионов Таджикистан» (Куляб-Душанбе, 2012); VI межд. науч.-теор. конф. «Физико-химические основы получения и исследования комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов» (Куляб, 2014).

Интишори натиҷаҳои диссертатсия. Доир ба мавзӯи диссертатсия 17 мақолаҳои илмӣ чоп шудааст, аз онҳо 2 мақола дар мачаллаҳои тавсиянамудаи КОАғи назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, 8 мақола дар дигар мачаллаҳо ва 7 мақола дар маводи конференсияҳои илмӣ-амалии байналмилалӣ ва ҷумҳурияйӣ нашр шудааст. З Нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон (№ Т҃ 623, 668, 918) дарёфт шудааст.

Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Рисолаи диссертатсионӣ аз муқаддима, ҷор боб, ҳулосаҳо ва замима иборат аст. Ҳаҷми умумии рисолаи диссертатсионӣ 159 саҳифаи ҳуруфи компютериро ташкил намуда, дорои 36 расм ва 16 ҷадвалҳо аст. Рӯйхати адабиётҳои иқтибосовар аз 94 номгӯй иборат аст.

МУҲТАВОИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Дар муқаддима муҳимијати таҳқиқоти иҷроғардида, мақсад ва вазифаҳои таҳқиқот, навғониҳои илмӣ, аҳамијати амалӣ ва мазмуну мундариҷаи ба ҳимоя пешниҳодшудаи диссертатсия асоснок карда шудааст.

БОБИ 1. ПАЙВАСТАГИҲОИ НИМНОҚИЛИИ АРСЕНИД ВА АНТИМОНИДИ ГАЛЛИЙ –МАВОДИ ДУРНАМОИ ТЕХНИКАИ ЭЛЕКТРОНИЙ (Навиди адабиётҳо)

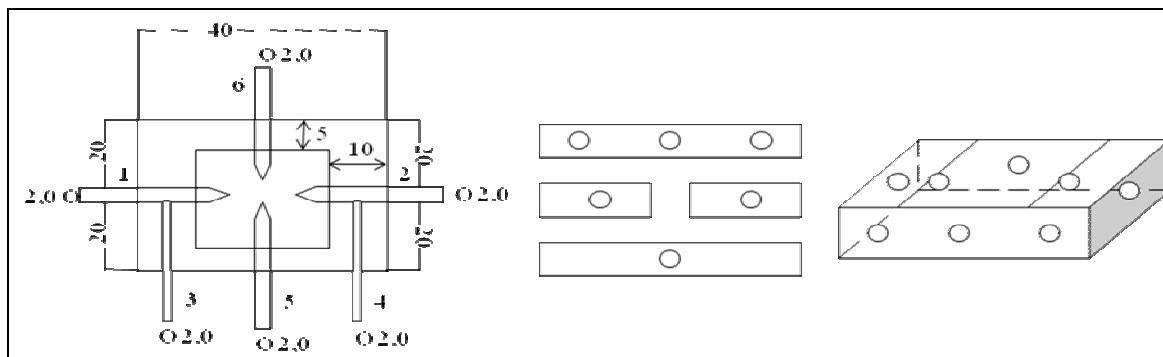
Дар ин боб дида баромада шудаанд: мавқеи арсенидҳо ва антимонидҳои галлий дар системаи пайвастагии намуди GaB^V ; дурнамои истифодабарӣ; қоидаҳои умумии ташкилёбии антимонидҳо ва арсенидҳои галлийи оддӣ; қоидаҳои ташкилёбии антимонид ва арсениди галлийи намуди GaB^V ва маҳлулҳои саҳт дар асоси онҳо; ҷанбаъҳои муосири назарияи хосиятҳои электронии гудозишҳо; модели наздикшавӣ (наздикшавии квазикристалий; наздикшавии модели «қарӣб электронҳои озод»; модели дутабака; методи алоқаи пуркуват); муайянкунии самти асосии таҳқиқот.

БОБИ 2. МЕТОДҲОИ ТАҲҚИҚОТИ ХОСИЯТҲОИ КОМПЛЕКСИИ МЕТАЛЛҲО ВА НИМНОҚИЛҲО ДАР ҲОЛАТҲОИ САҲТ ВА МОЕҶ

Таҳқиқоти санчишию озмоишии хосиятҳои электрофизикӣ ва термоэлектрикии металлҳо дар ҳудуди васеъи ҳароратҳо ва ҳолати моеҷии мондаҳо аз нуқтаи назари истифодабарии амалӣ ва назарияйӣ муҳим мебошад. Бинобар ҳамин аз ҷониби мо асбобу дастгоҳҳои соҳта шуданд, ки онҳо имкон медиҳанд, ки хосиятҳои комплексии металлҳо ва нимноқилҳо дар ҳолати саҳт ва моеҷа таҳқиқ карда шаванд.

Дастгоҳи зерин имкон медиҳад, ки ҷараёни интиқолкунонии маводи саҳт ва моеҷа бо истифодабарии методҳои ҷараёни электрикии доимӣ ва муаккатии майдонҳои магнитӣ бо истифодабарии дастгоҳҳои универсалии комилан дақиқи сифрӣ ва ба ҳусус бо дастгоҳи волтамперметр чен карда шавад.

Таҳлили методҳои мавҷуда нишон дод, ки дар қатори муваффақиятҳо камбудиҳо низ вучуд доранд, махсусан, вакте, ки алоқаҳои омӣ тавассути лаҳимҳо пайваст карда мешаванд, ё ин, ки васлқунонӣ ба воситаи меҳвари металӣ бо нӯгҳои тех ба роҳ монда мешавад. Нақшай техникии дорак дар расми 1 пешниҳод гардидааст.



Расми 1 - Нақшай техникии дорак: а) нақшай умумӣ ва андозаҳо, б) дар буришҳо, в) шакли умумӣ

Дораки зерин имкон медиҳад, ки дар худи ҳамон як намуна ҳамзамон ҷараёнинтиқолкунӣ, зарibi термо-эдс ва Холл чен карда шаванд. Васлкунӣ ё худ маҳкамкунини термопараҳо, яъне ду ноқили нӯгҳояшон пайваст, ё ин, ки пармаҳои ҷараёни электрикӣ ба воситаи муруватҳо ба роҳ монда мешавад. Чунончи дар термопараҳо, яъне ду ноқили нӯгҳояшон пайваст ва пармаҳо тарошай майдай сафолӣ пушонида мешавад ва ин муруватҳо батарошаҳои сафолӣ расиш мекунанд, бинобар ҳамин нигоҳдории ду ноқилҳои нӯгашон пайваст ва пармаҳо пурра кафолат дода мешавад. Ва баҳамрасиши онҳо, ҳатто дар ҳолатҳои таҳқиқ намудани вобастагиҳои ҳароратии бузургихои электрофизикӣ дар ҳарорати баланди то 1500К шубҳа намеорад.

БОБИ 3. ТАҲҚИҶОТИ ТАҶРИБАВИИ ХОСИЯТҲОИ АНТИМОНИДҲО ВА АРСЕНИДҲОИ ГАЛЛИЙ ДАР ФАЗАҲОИ САХТ ВА МОЕЪ

Хосиятҳои термодинамикӣ. Мавқei хело ҳам муҳимро дар омӯзиши антимонидҳо ва арсенидҳои галлий нимноқилҳо ва пайвастагиҳои дучандай намуди $A^{III}B^V$ таҳқиҷоти зарibi васеъшавии ҳароратӣ ва гармиғунҷоишиӣ ва мувофиқаткунини онҳо дар байни хосиятҳои электрикӣ ва термодинамикӣ ишғол менамояд. Бинобар ҳамин, дар навбати аввал, дар асоси ҷенкунини гармиғунҷоишиӣ ва зарibi васеъшавии мунтазам дар фосилаи ҳароратҳои гирифтани шарҳу эзоҳи термодинамикӣ пурраи ин пайвастагиҳо зарур мебошад.

Ҷенкуниро дар ҳолати фишорнокии ҷӯшиши агенти яхdonӣ дар фазои холи баланди $(1,3 \cdot 10^{-3} + 1,3 \cdot 10^{-4}$ Па) мегузарониданд. Таъминоти ҳимояи адиабатикий бо ёрии муназзимкунандаи автоматики нимноқилӣ ба роҳ монда мешавад. Дақиқияти нигоҳдории фарқияти ҳароратҳои ҳароратсанҷ ва экран баробар аст ба $3 \cdot 10^{-4}$ °C. Ҳароратро тавассути термопараи платинавии муқовиматкунанда бо зарibi ҳароратии муқовиматкунандаи $W \geq 1,3910$ чен мекунанд, муназзимии нишондиҳии ҳарорат дар 0° C ба $\pm 2 \cdot 10^{-3}\%$ баробар аст. Ҷенкунигармиғунҷорӣ дар фосилаи 298-760 °K бо як тоби 45-50 °C дар микроҳароратсанҷи дучандай Келве иҷро карда мешавад. Дар ҳолати ҷенкунӣ ҳатокориҳо на зиёда аз 2% -ро ташкил менамояд.

Гармигузаронӣ. Гармигузаронии антимонидҳо ва арсенидҳои галлийи сода дар дастгоҳи сохташуда дар раванди таҳқиқот чен карда мешуд. Ҳоначаҳои ченкунонӣ аз силиндри коаксиалии ичрогардида аз майдони электрикии тозаи минерал ё худ графит, ки дорои гармигузаронии баланд мебошад, иборат аст. Дастгоҳ ҳангоми ченкунонии гармигузаронӣ пешакӣ ва баъди гармшавӣ ба ҷунбиш дароварда мешавад.

Кувваи ҳарҷгардида дар мавқеи корӣ ва нишондодҳои гармиҳориҷкунонӣ баъди барқароркунонии речай статсионарӣ бо ёрии асбобҳои қуввасанҷ ва асбоби ченаки шиддати қувва (амперметр ва волтметр) ба қайд гирифта мешаванд. Барои қабати силиндрӣ, чи тавре, ки вай дар таҷрибаи мо ҷой дошт, зарibi гармигузаронии λ тавассути формулаи зерин ба шумор гирифта мешавад:

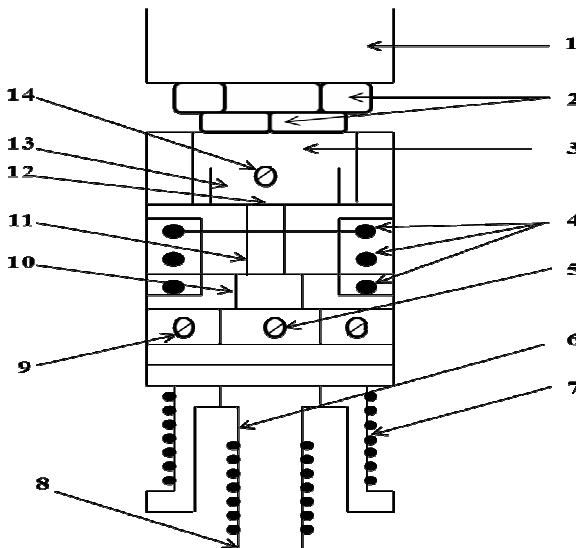
$$\lambda = \frac{\theta \ell h (d_2 / d_1)}{2\pi e (t_1 - t_2)} \quad (1)$$

ки дар ин ҷо θ - шумораи гармӣ, ки гармикунакро дар ягонагии вакт нишон медиҳад; ℓ - дарозии силиндри ташкилкунанда; d_1 ва d_2 қутри (диаметри) дохилӣ ва беруни қабати силиндрӣ нимноқили моеъӣ; t_1 ва t_2 – ҳарорати қабатҳои дохила ва берунаи моддаи тадқиқшуда.

Хатогиҳои баҳисобгирӣ дар раванди муайянкунонии гармигузаронӣ дар таҷрибаи мо ҳамагӣ 8-10% -ро ташкил менамояд.

Методҳои электрофизикӣ. Ҷараёнгузаронӣ ва термо – эдс. Барои таҳқиқ намудани гармигузаронӣ ва термо – эдс дар моддаҳои ҳолаташон саҳт сабикаҳо ва монокисталҳои ҳосилгардида дар дастгоҳ бо ёрии ҷанбари алмосӣ реза карда шуданд. Намунаҳо дорои шакли шашрӯя буданд. Ченкунониҳо тавассути методи ҷубронкориҳо дар ҷараёни электрикии доимӣ бо истифодабарии асбоби ченкунонии қувва ва шиддатнокӣ (потенсиометр) икро карда шуд, ки он имкон дод, то ин, ки шиддатнокии то $1 \cdot 10^{-6} V$ ва қувва ҷараёни $1 \cdot 10^{-5} A$ чен карда шавад.

Дар ҳолатҳои ченкунонии пастҳароратӣ қапаки намунааш дар расми 2 овардашуда истифода карда шуд. Асоси қапаки (3) омодагардида аз миси сурҳ ба колбаи асбоби гармисанҷии (термометр) – и газӣ маҳкам карда мешавад (1). Намунаи (11) рӯйкашкардашуда ба таври зич ба яҳдон часпонида шуд (13) инчунин меҳвари миссии нукрагин (6), ҳамзамон ичроқунандаи нақши асбоби гармикунандаро. Меҳвар метавонад бо дарозии тири худ дар ҳаракат бошад ва бо муруватчаҳо маҳкам карда мешавад (5). Вай дар дохили танӯрча нигоҳ дошта мешавад (3) барои ташкил намудан дар намуна градиенти ҳароратӣ. Танӯр (7) ҳароратро ба танзим медарорад ё худ муназзим менамояд. Ҳангоми маҳкам намудани намуна ба қапак мисборҳо дар шакли ҳалқа ё худ гирех ҷапгардон мешаванд, ки аз ҳисоби қувваи ҷандир (таранг) алоқаи хуби электрикиро бо намуна медиҳад, гармибуғкунакҳо (12) ва гармӣ (10)-и охиринҳо ба яҳдон ва гармидиҳак пайваст мегарданд. Шохаҳои мутаносиби ноқилҳои нӯгҳояшон пайваста вазифаи ҷараёнгузарониро икро менамоянд ва бо ёрии онҳо зарibi термо-эдс намуна чен карда мешавад.



Расми 2 - Қапаки намуна барои чен кардани чараёнгузаронӣ, зариби Холл ва термо-ЭДС дар ҳолати ҳарорати пасти антимонидҳо ва арсенидҳои галлий

Барои ченкунонии чараёнгузаронии хос, ба сифати электродҳо ва толорҳо симҳои платинавӣ бо андоза ё худ диаметри 0,2 мм истифода карда шудаанд. Ченкуниҳо дар ампулаи шишагини ($1,3 - 10^{-3}$ Па) бо лавҳачаи маъданӣ ё сангӣ дар атмосфераи гази тоза гузаронида шуданд.

Намуна дар ҳолати муайян то он, вакте нигоҳ дошта шуд, ки нишондиҳии толорҳо ба таври доимӣ боқӣ монад. Сипас ченкунии чараёнгузаронӣ иҷро карда мешавад. Ҳангоми чен кардани термо-ЭДС ҳарорати хунукиҳо ва гармиҳои охирин тавассути толор, ченкунонии термо-ЭДС дифференсиалий мутаносибан бо мис чен карда мешавад.

Барои ченкунии вобастагии ҳароратии термо-ЭДС қапаке истифода карда шуд, ки вай барои чен кардани вобастагии ҳароратии чараёнгузаронӣ истифода карда шуд, танҳо бо фарқияте оне, ки ҳангоми чен кардани термо-ЭДС дар блоки бологии қапак гармкунаки хурд баста шуда буд, ки пастшавии ҳароратро дар қади намуна ба миён меорад. Фарқияти ҳароратҳои байни танӯрҳои болӣ ва поёни ΔT ҳангоми ченкунонӣ ба $5 + 10^{\circ}\text{C}$ баробар гардид.

Ҳамин тариқ, чараёнгузаронии хос дар моддаҳои ҳолаташон саҳт бо чунин формула муайян карда шудааст:

$$\sigma = \frac{I\ell}{\Delta V S}, \text{ см} / \text{см} \quad (2)$$

ки дар ин ҷо ℓ -фосилаи байни толорҳои ченкунанда дар Sm; S-майдони металлҳои майдакардашуда дар намунаи см^2 , ΔV -фарқияти иқтидорҳои байни толорҳо дар шиддатнокии қувваи электрикӣ (В), аммо зариби дифференсиалии термо-ЭДС тариқи формулаи зерин дарҷ гардидааст

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (3)$$

ки дар ин ҷо ΔT - градиенти ҳарорати байни нӯгҳои хунук ва гарми намуна дар градиент мебошад (К)

Термо-эдс дар ҳолатҳои сахт ва моеъ дар қаиқи горизонталӣ чен карда мешавад, ки ба дарозии вай градиенти ҳарораташ аз 35-45 °С ба вучуд меояд. Методи алоқамандии тадқиқоти ҷараёнгузаронӣ ва термо-эдс имкон медиҳад, ки ченкунонии баландҳарорат зери фишори гази инертсиядори 4-5 атм ҳосил карда шавад.

Речай гармӣ муназзим гардида буд. Аҳамиятнокии термо-эдсро тавассути чунин методика ба ҳисоб гирифтанд. Бо дарозии намуна фарқияти ҳароратҳо ба қайд гирифта шуд. $\Delta T = T_1 - T_2$, дар ин ҷо T_1 ва T_2 -ҳарорати, ченкардашуда $A_1 - X_1$ ва $A_2 - X_2$ мувофиқаткунонӣ мебошад. Шиддатҳои $E_{M/A}$ мувофиқан бо шоҳаҳои занчири иборат аз ҳӯлаи никел ва алюмен бо ёрии асбоби қувваченкунонии потенсиометр чен карда шудааст, аз таносубҳои зерин муайян карда мешаванд:

$$E_{M/x} = a_{x/M} \Delta T, \quad (4); \quad E_{M/A} = a_{A/M} \Delta T \quad (5)$$

дар ин ҷо $a_{x/M}$ ва $a_{A/M}$ - зариби термо-эдс мувофиқ ба ҳӯлаи никел ва алюминий мебошад, ки маводи тадқиқшуда нисбат дорад, пас ҳамин тавр бошад,

$$E_{M/A} - E_{M/x} [(E_{A/M})T_1 + (E_{M/A})T_2] - [(E_{x/M})T_2] \quad (6)$$

Ҳамин тарик:

$$E_{M/A} - E_{M/x} = (E_{A/x})T_1 - (E_{A/x})T_2 = \alpha_{A/x} \Delta T, \quad (7)$$

дар ин ҷо $\alpha_{A/x}$ -зариби термо-эдс ҷуфти алюмин – ҳӯлаи никел. Аз ифодаҳои (5) ва (7) ҳосил мегарданд:

$$a_{X/M} = \frac{E_{M/x}}{E_{M/A} - E_{M/x}} \cdot a_{A/x} \quad (8); \quad \alpha_{A/M} = \frac{E_{M/X}}{E_{M/X} - E_{M/A}} \cdot \alpha_{A/X} \quad (9)$$

Маъно ва аҳамиятнокии мансуббуда ба термо-эдс бо формулаи зерин муайян карда шудааст (8) ва (9), дар ин ҷо $a_{X/M}$ ва $a_{A/M}$ - намунаи термо-эдси дифференсиалий маводи тадқиқгардидаи ҳӯлаи никел ва алюминий мувофиқан; $E_{M/x}$ ва $E_{M/A}$ - бузургии эдс намунаи нисбатдошта ба ҳӯлаи никел ва алюминий мутаносибан; $\alpha_{A/X}$ - зариби термо-эдс- и ҳӯлаи никел – алюминий.

Маънои термо-эдс- и доимӣ аз ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$\alpha_M^0 = \alpha_{M/3}^0 + \alpha_M^0 \quad (10)$$

дар ин ҷо $a_{M/3}$ -маънои термо-эдси моддаи тадқиқшудаи мансуббуда ба электроди муқоисакунанда; α_M^0 – термо – эдс ҳатмии электроди муқоисавӣ.

Эффекти Холл. Накшай принсиалии омӣ барои ченкунонии зариби Холл дар ҳолати ҳароратҳои паст, чунин мебошад ба монанди чен кардани ҷараёнгузаронӣ ва термо-эдс. Зариби Холл тибқи формулаи зерин ба ҳисоб гирифта шудааст:

$$R_h = \frac{V_h d}{I H} \cdot 10^8, \text{ см}^3 / \text{Кл} \quad (11)$$

дар ин ҷо d -ғафсии намуна дар см; H -шиддатнокии майдони магнитӣ дар гс; I -ҷараёни ё худ қувва тавассути намуна дар амперҳо, яъне воҳиди қувваи

электрикӣ (А); V_n – фарқияти толории иқтидорҳо дар шиддати қувваи электрикӣ (В).

Методикаи тадқиқоти ҷараёнгузаронӣ, термо-эдс ва эффиҳоти Холл дар гудозишҳои нимноқилҳо. Таҳқиқоти санчишию озмоишии бузургихои электрофизикии металлҳо моеъ ва нимноқилҳои дорои фаъолнокии химиявии баланд дар ҳароратҳои гудозишкунонӣ ва дар минбаъда гармкунонии гудозишкунонӣ бо бартарафкунонии мушкилотҳои калон вобаста мебошад. Ба ақидаи мо мушкилотҳои асосӣ, ҳангоми сохтани асбобҳо бо сабабҳои нокифоягии ҳиссиятнокии дастгоҳ пайдо мешаванд, ки онҳо бояд имкон диҳанд огоҳиҳо ками тартиби $10^{-7}+10^{-8}$ В ба қайд гирифта шаванд, ҳамчунин бо сабабҳои нокифоягии гулдуроси сӯроҳиҳо низ, ки ба ҳатогиҳои калон дар мавриди санчишу озмоишкориҳо дар моддаҳое оварда мерасонанд, ки онҳо дар таркибашон дорои компонентҳои сабуқҳаракаткунанда мебошанд. Ин ҳолатҳо, маҳсусан ҳангоми тадқиқ намудани нимноқилҳои гудозишҳо муҳим мебошанд. Дар ҳамҷояйӣ бо ин бештар воситаҳои паҳнгардидаи гирифтани иттилоотҳо дар бораи соҳти электронии моддаҳо ва тағиирёбии соҳт ченкунонии хосиятҳои электрофизикий мебошанд, ба монанди ҷараёнгузаронӣ, термо-эдс ва фоиданокии толор. Дар ин ҷода сохтани асбобу дастгоҳҳо барои чен кардани эдс Холл дар гудозишҳои металлӣ ва нимноқилӣ мушкилотҳои зиёдро нисбат ба ҷараёнгузаронӣ ва термо-эдс ба миён меорад.

Мо дар ҳамкориҳо бо кафедраи асосҳои назариявии теплотехники МЭН комплекси ченкунонӣ ҷамъоварӣ намудем, ки он имкон медиҳад, то ин ки мушкилотҳои дар боло номбаргардида ҳангоми чен кардани эффиҳоти Холл, термо-эдс ва ҷараёнгузаронӣ дар фосилаи ҳарорати васеъ бартараф карда шаванд.

БОБИ 4. СИНТЕЗИ КРИСТАЛҲО ВА ТАҲҚИҚОТИ ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКӢ –ХИМИЯВИИ АНТИМОНИДҲОИ ТОЗА ВА ҶАВҲАРОНИДАШУДА ВА АРСЕНИДҲОИ ГАЛЛИЙ ДАР ФАЗАҲОИ САХТ ВА МОЕЪ

Қоидаҳои умумии ташкилёбии арсенидҳо ва антимонидҳои галлийи намуди $A^{III}B^V$. Барои таҳқиқоти таъсиркунонии байниҳамдигарӣ ва ташкилёбии пайвастагиҳои нимноқилҳои асбобҳои заррамушоҳидакунонӣ дар асоси элементҳои гурӯҳи A^{III} ва B^V омӯзиши диаграммаи мувозинатии моддаҳои саҳт ва моеъ дар системаҳои $A^{III} - B^V$ ($A_s - G_a$ ва $Ga-Sb$) мақоми муҳимро ишғол менамояд. Дар асоси таҳлил намудани натиҷаҳои бадастовардаи мо ва таҳқиқ намудани як қатор дигар корҳо диаграммаи моддаҳои саҳт ва моеъи системаи $A_s - G_a$ сохта шудааст. Диаграммаи ҳолати системаи $A_s - G_a$ тибқи маълумотҳои ҳароратӣ ва ташхискунониҳои гудозишҳои синтезикунонидашуда ва омодакардашуда аз таркиби табиии элементҳои химиявии A_s сохта шудааст.

Натиҷаҳои маълумоти адабиётҳо ва маълумоти мо таҳқиқотҳои пешинаро тасдиқ менамоянд, ки дар натиҷаи онҳо муайян шуда буд, ки иловагии то 2%-и вазн (1,85ат% A_s) ба нуқтаи гудозиши G_a таъсир намерасонад. Арсениди галлий (GaAs) (51,79 вазн.% A_s) дорои шабоҳати минерали (ZnS) намуди В3,

ва бо доимии панчараи кристалии элементарии $\bar{a} = 5,6532\text{\AA}^\circ$ пайдо мешаванд.

Мо ҳамчун муайян намудем, ки иловагӣ ё худ изофаи сурма (металли зудшикани рангаш сафедтоб) (Sb) нуқта гудозиши галлийи (Ga)-ро паст намекунад. Ҳамчунин пайвастагии G_a Sb (63,58 вазн %Sb), омодакунонии бевоситай гудозишкунониҳои элементҳои таркибашон табиӣ нишон дода шудааст. Ҳамчунин диаграммаи моддаҳои сахту моеъи (Ga-Sb) тавассути натиҷаҳои бадастовардаи таҳлилкориҳои ҳароратсанҷӣ, микроскопӣ ва ташхискориҳо сохта шуда буд. Муайян карда шудааст, ки иловагӣ ё худ изофаи Ga давраҳои панчараи кристалии Sb-ро тағиیر намедиҳад.

Равандҳои технологияи синтез ва ҳосилкунонии монокристалҳои пайвастагиҳои дутогаи GaAs ва GaSb. Монокристали G_aB^V -ро дар танӯри дуқабатаи сохташуда омода намудем, ҳарорати ин танӯрҳо дақиқан то ба $\pm 2^\circ\text{C}$ мунаzzим карда шуд. Мо танӯри дуқабатаро барои синтезикунӣ ва ҳосил намудани кристалҳои G_aB^V соҳтем.

Барои химояи таъсиррасониҳои байниҳамдигарии квартс бо моддаҳо дар минтақаи баландҳарорати танӯр қаиқи минералӣ истифода шуда буд, ки дар доҳили вай моддаҳо вуҷуд доштанд. Муайян карда шудааст, ки тавассути тадқиқоти бурдашуда мо дар пайвастагиҳо бо ҳарорати градиенти $305\text{-}310^\circ\text{K}$ ҳосил кардани монокристалҳо бо суфтагии бештар ҳам ҳосил кардан мумкин аст. Нишон дода шудааст, ки аз минтақаи баландҳарорати танӯр, ки дар он ҷо моддаҳо ҷойгир мебошанд, моддаҳои газмонанд дар минтақаи пастҳарорат ҷойгир мешаванд ва ба кристалҳо табдил мейбанд.

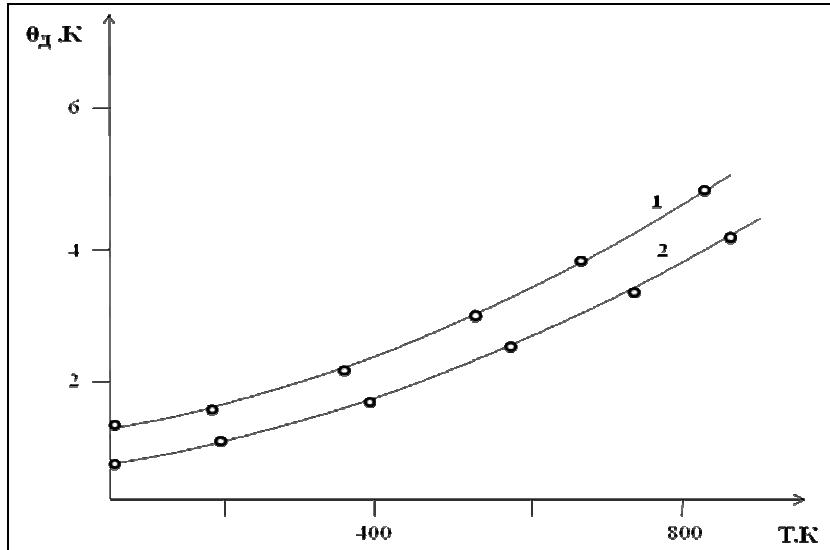
Дар оvezonии умумии 5-6с моддаҳо, вақти доштани ампулаҳо дар градиенти ҳароратии $25\text{-}30^\circ\text{C}$ 75-80с -ро ташкил менамояд. Дар чунин ҳолати оvezагӣ қарор ва давомнокии таҷриба суръати вазни кӯчиш ба 68mg/c баробар аст.

Дар муддати 115-145с раванди беист кристалҳои GaB^V бо дарозии 4-6 мм бо ғӯнҷоиш ё худ андозаи қираҳояшон 1,5-2,5мм ҳосил карда шуданд. Дар асоси серияи дебаеграммаи хокаҳои GaB^V ва рентгенограммҳои чунбишдиҳии монокристалҳои пайвастагиҳои GaB^V бузургихои панчараҳои элементарӣ шуморида шуда буданд.

Гармигузаронӣ ва ҳосиятҳои термодинамики пайвастагиҳои намуди A^{III} - B^V ва маҳлулҳои сахти G_aA_s - G_aSb дар системаи сегонаи G_a - A_s - Sb . Мақсади кори зерин таҳқиқот ва шарҳу эзоҳи термодинамикии пайвастагиҳои намуди A^{III} - B^V дар асоси ченкунии гармиғунҷоишӣ ва зариби васеъшавии хаттии ҳароратӣ дар фосилаи васеъи ҳароратҳо, ҳамчун натиҷаҳои муайянкунии қоидаҳои ҳудудноки гармиғунҷоишӣ ва баъзе маънидодкунониҳои майдонҳои электрикӣ бачунбишомада мебошад.

Намунаҳои монокристалҳои пайвастагии намуди A^{III} - B^V тавассути методи реаксияҳои химиявии газкашонӣ ва методи «минтақаи азnavкристашавӣ» («минтақаи гудозишкунонӣ») ҳосил карда шуданд. Таҳлилҳои химиявӣ, ташхисӣ ва электронографикӣ нишон доданд, ки намунаҳои монокристалии ҳосилгардида якфаза мебошанд ва ба пайвастагии таркиби стихиометрии A^{III} - B^V мувофиқат менамоянд. Дақиқиятнокии

нигохдории фарқияти ҳарорати асбоби қувасанҷ ва рӯйпӯш ба $2,5 \cdot 10^{-4}$ баробар аст. Ҳарорат бо ёрии асбоби гармисанҷии иборат аз платина чен карда шудааст. Муназзимии нишондодҳо дар ҳарорати 269 К ба $\pm 1,5 \cdot 10^3\%$ баробар аст. Натиҷаҳои санчишӣ – озмоишии тағиیرёбии ҳарорати дебаевӣ дар расми З оварда шудааст.



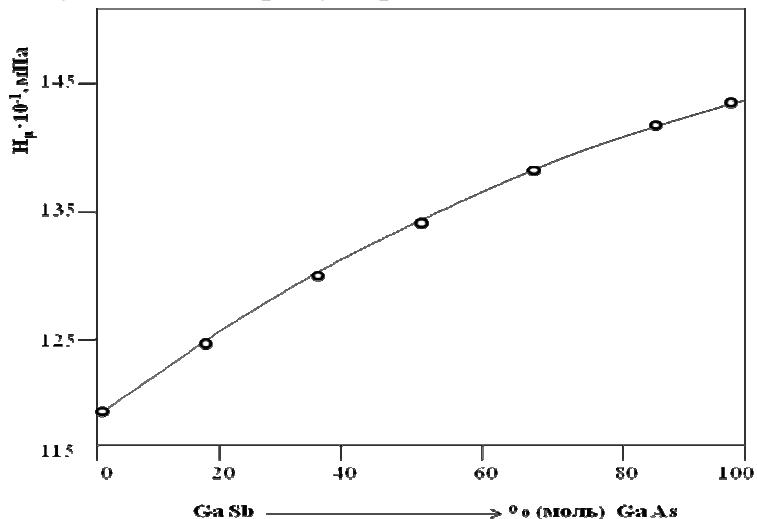
Расми 3 - Вобастагии ҳароратии хоси Дебай пайвастагиҳои GaSb(1) ва дар системаи сечандай Ga-As-Sb

Тавассути формулаи Линдемана-Бореллнуса ва Грюнайзена мустаҳкамии банди химиявӣ дар пайвастагиҳои намуди $A^{III}B^V$ дар ҳолати ҳароратҳои баланд баҳо дода шуданд. Маъонии $\theta_d = f(T)$ муайянгардида, тавассути ин ду тарз байни ҳамдигар хело ҳам хуб мувофиқат менамоянд ($\theta_d 293,15 = 254 \pm 5$)К дар ҳолати якум (барои GaSb) ва ($\theta_d 298,15 = 263 \pm 5$)К дар ҳолати дуюм (барои Ga As).

Маҳлулҳои саҳти GaSb-GaAs дар системаи сечандай Ga-As-Sb. Майлу рағбат ва таваҷҷӯҳро ба он равона кардем, ки ба таври санчишӣ – озмоиши ташкилёбии як қатор маҳлулҳои саҳт дар байни пайвастагиҳои заррадори GaAs ва GaSb дар системаи сегонаи Ga-Sb-As тадқиқ карда шаванд. Дар намуна барои тадқиқот бо синтезиқунонии бевоситай шумораи компонентҳои пештараи табииро пайдо намудем. Давомнокии синтезиқунонӣ 18-20 соатро дар ҳароратҳои 45-60 °C баландқунандай ликвидусро дар бар мегирад. Баъди синтезиқунонӣ гудозишҳо бо суръатнокии 25-28 °C/C то ба ҳарорати хонагӣ хунук гаштанд. Гудозишҳои ҳосилгардида дар ҳароратҳои наздикбуда ба гудозишқунониҳои пайвастагиҳои зерин (таркибҳо) дар муддати 260-280 соат бозпуҳт карда шуданд. Намунаҳои моно- ва нимкристиалии гудозишҳои буриши зеринро ҳам тавассути методи реаксияҳои химиявии газкашонӣ ҳосил намудем.

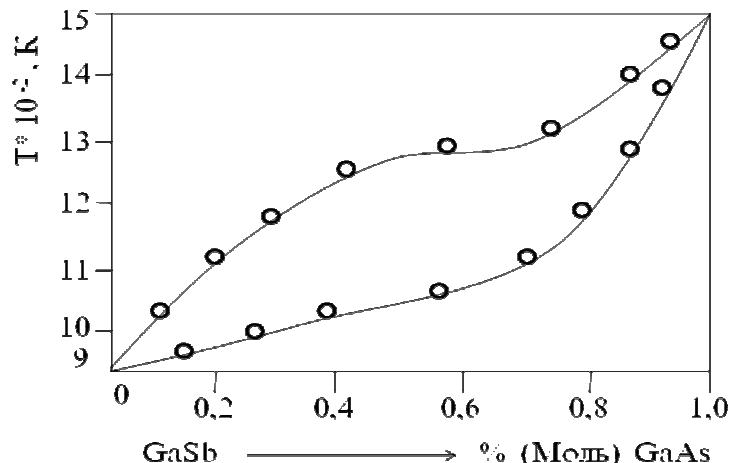
Дар расми 4 вобастагии микросаҳтӣ аз таркиби гудозишҳо дар системаи GaSb - GaAs пешниҳод гардидааст. Дар дебаеграммҳо ва рентгенограммҳо ҳатҳо ва соҳти намуди GaSb бо тағиیرёбихои хусусияти батартибдарорӣ дар наздикии пайвастагии таркиби GaAs мушоҳида карда мешаванд, аммо барои гудозишҳои дорои аз 90,1 то 98% (вобаста ва вазн)-и GaSb ҳатҳои ҳарду шакли бетартибдароришавӣ ба мушоҳида мерасанд.

Панчараи кристалии элементарй ҳамчунин ба таври яхела бо таркиби аз $6,106\text{ \AA}^{\circ}$ ($0,61\text{ H}_m$) (барои GaSb) то $5,646\text{ \AA}^{\circ}$ ($0,56\text{ H}_m$) (барои GaAs) тафийр меёбад. Ҳамчунин таҳлили дифференсиалии ҳароратсанҷӣ бо ёрии асбоби ҳароратсанҷии Курнаков дар фосилаи ҳароратҳо аз 120 то $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ гузаронида шуд. Суръатнокии миёнаи тафийрёбии ҳарорат тақрибан $10\text{-}12\text{ }^{\circ}\text{C/дақиқаро}$ ташкил намуд. Барои тадқиқот танҳо намунаҳои монанди дорои як фаза истифода шуданд. Гудозишҳо дар шумораи $1,5\text{-}2,02$.



Расми 4 - Вобастагии микросахтии (H) аз таркиби гудозишҳо дар системаи таркиби гудозишҳо дар системаи GaSb - GaAs

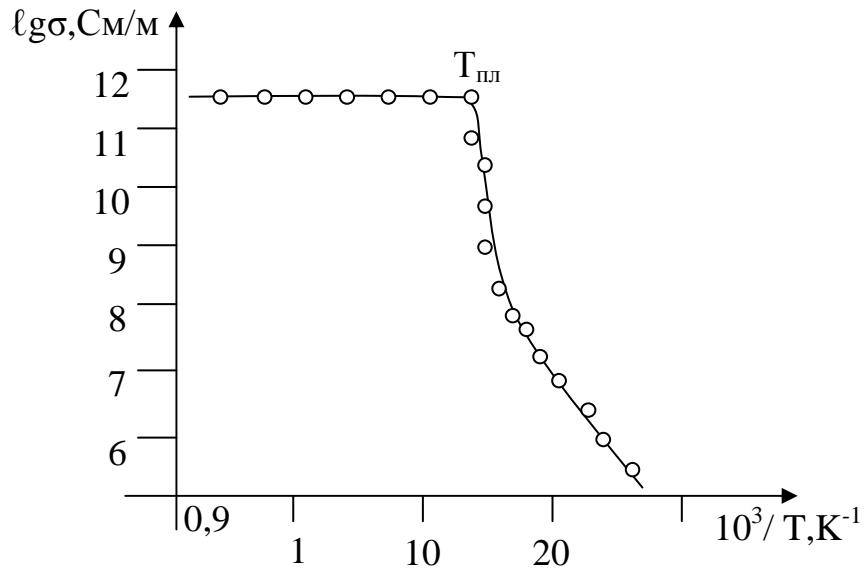
Дар гармиҳои бавучудомадаи ҳамаи таркибҳои бӯриши зерини гудозишҳо танҳо ду фоиданокии гармӣ ба мушоҳида расид, ки яке аз онҳо бо оғози саҳтшавии гудозишҳои таркиби зерин алоқаманд мебошад, аммо дуюмин фоиданокиаш бошад ба баҳиррасии вай алоқаманд мебошад. Дар гармиҳои дорои бештар аз $65\text{-}70\%$ (вобаста ба вазн) G_aA_s дар фосилаи ҳароратҳо $125\text{ - }1030\text{ }^{\circ}\text{C}$ танҳо як фоиданокӣ ба мушоҳида расид (L-Ж), аммо фоиданокии дуюм тамоман ноаён буд, ки дар ин ҷо характеристи шӯшапайдошавӣ дар диапазони зерин мутамарказшавӣ дар фосилаи ҳароратҳои шӯшапайдошавӣ ба назар гирифта мешавад. Натиҷаҳои бадастовардашудаи тадқиқоти таҳлили ҳароратсанҷӣ дар расми 5 оварда шудаанд.



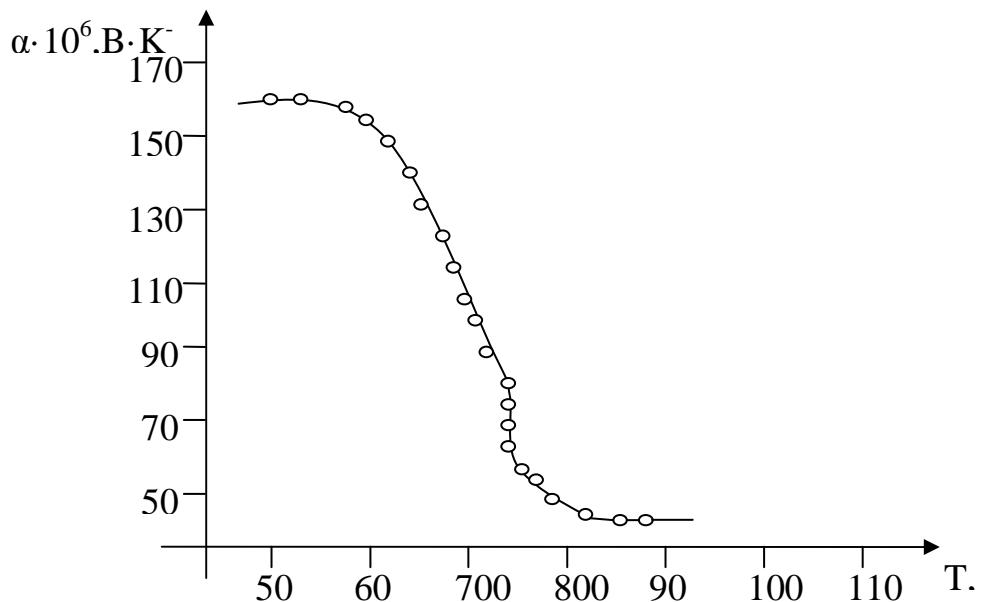
Расми 5 - Диаграммаи ҳолати бӯриши системаи GaSb – GaAs

Аён аст, ки дар системаи дидабаромадашудаи GaSb – GaAs қатори пайвастаи маҳлулҳои саҳт аз гудозишҳои ҳосилгардидаи маҳлулҳои саҳт дар системаи GaSb – GaAs ташкил меёбад. Вобастагии ҳароратии гармигузарониро дар фосилаи васеъи ҳароратҳо дар ҳамчоягӣ бо моддаҳои моеъӣ ва саҳт тадқиқ намудем, ки вобастагии ҳароратии чараёнгузаронӣ васегии минтақаи манъгардидаи (ΔE_o) ба таври якхела зиёд мегардад.

Баъзе ҳосиятҳои электрофизики маҳлулҳои саҳти системаи GaSb – GaAs. Маҳлулҳои саҳти компонентҳои таркиби табииро дар ампулаҳои кварцсии пешакӣ минераликардашуда ва фазогихоликардашуда то $1,3 \cdot 10^3$ Па дар дастгоҳи коркардашуда синтез намудем. Натиҷаҳои таҳқиқоти зариби чараёнгузаронӣ ва термо-эдс маҳлулҳои саҳти GaAs – GaSb дар расмҳои 6 ва 7 пешниҳод гардидаанд.



Расми 6 - Вобастагии ҳароратии чараёнгузаронии маҳлулҳои саҳти GaSb-GaAs



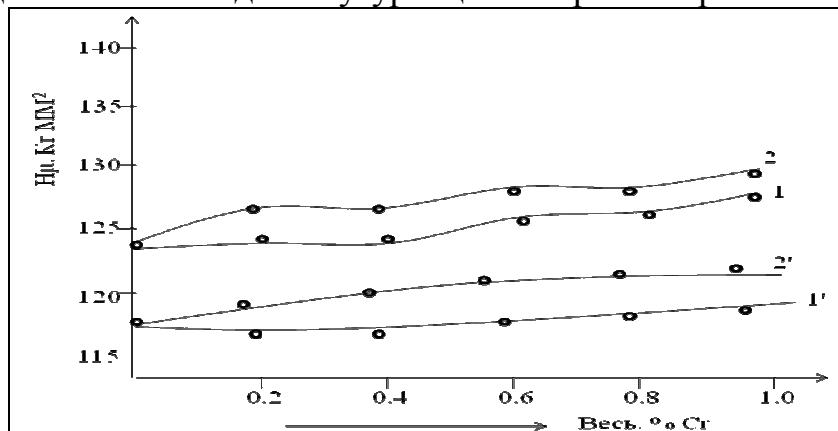
Расми 7 - Вобастагии ҳароратии зариби термо-эдс-и маҳлули саҳти GaSb-GaAs

Аён аст, ки дар ҳолати саҳт бо баландшавии ҳарорати ҷараёнгузаронӣ зиёд мегардад, аммо коэффициенти термо-эдс кам мешавад. Дар нуқтаи гудозиш ҷараёнгузаронӣ зиёд мегардад, аммо зариби термо-эдс тавассути ҷунбишҳо кам мегардад, дар нуқтаи гудозишкунонӣ аҳамияти ҷараёнгузаронӣ ба $\sigma = 10^6 \text{ см} / \text{м}$. баробар аст.

Омӯзиши маҳлулишавии омехтаҳои хром дар GaSb ва GaAs тавассути методи микросаҳтӣ. Барои тадқиқ намудани микросаҳтии пайвастагии намуди (GaAs ва GaSb)-и ҷавҳарикунонидашуда бо Cr серияи гудозишҳоро омода намуданд (монокристалҳоро), зеро ки ҷамъшавии омехтаи Cr-ро аз 0,1 то 1,2 вазн% иваз намуданд.

Барои таҳқиқи микросаҳтии пайвастагии GaA^V -и ҷавҳарикунонидашуда бо Cr, монокристалҳои ҳосилкардашударо тавассути методи «минтақаи азnavкристалшавӣ» (минтақаи гудозишкунонӣ) ва «реаксияи химиявии газкашонӣ» бурида шуданд. Ҳангоми буридан дар болои намуна парчини рӯяқӣ пайдо гардид, ки баъди суфтакунонӣ ё худ пардозкунонӣ ва сайқалдихӣ онро тавассути додани тезоби химиявӣ дар химреактив нопадид гардонида шуданд. Сипас суфтакунонӣ ва сайқалдихии меҳаникиро бо истифодабарии микропорошка гузаронида, баъдан болои суфтагиро бо оби ҷӯшонидашудаи соғ бодиқкат шуста, хушк карда шуданд. Намунаҳоро дар ҳарорати 760°C дар фазои вакуумӣ $1-10^{-3}$ Па дар муддати $75-80^\circ\text{C}$ бозпухт намудем.

Дар расми 8 таъсирирасонии парчини болоӣ ва коркарди химиявӣ ба ҳусусияти хати нишондиҳандай бузургиҳои физики микросаҳтиҳо дар 300°K барои намунаҳои пайвастагиҳои намуди A^{III}B^V -и ҷавҳарикунонидашуда бо Cr нишон дода шудааст. Аён аст, ки гузаронидани коркарди химиявии дақиқи болои қабат ҳамзамон пошидани бузургиҳои микросаҳтиро кам мекунад.

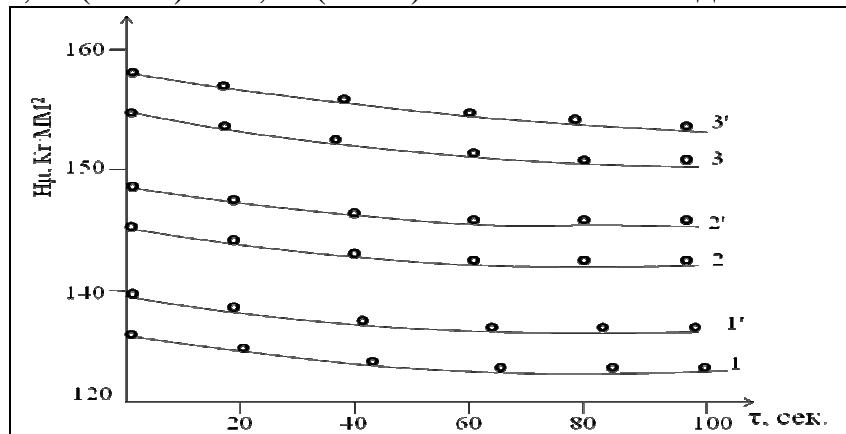


Расми 8 - Вобастагии микросаҳтиҳои пайвастагии намуди A^{III}B^V -и ҷавҳарикунонидашуда бо Cr. $\text{GaSb} + \text{Cr}(1,1)$ ва $\text{GaAs} + \text{Cr} (2,2)$ аз ҷамъшавии омехтаҳо: (1,2) – намунаҳо бо парчин; (1,2) – намунаҳо баъди коркарди химиявии тезобдиҳӣ

Дар расми 9 вобастагиҳои қаҷи микросаҳтиҳо аз вақти тезобдиҳии гудозишҳои $\text{A}^{III}\text{B}^V + 1,2$ вазн% ва пайвастагии тозаи A^{III}B^V пешниҳод гардидаанд. Чунин вобастагии микросаҳтиҳо аз вақти тезобдиҳӣ ҳангоми ҷавҳарикунонии GaSb ва GaAs 0,1 ва 0,5 вазн% Cr ба мушохида мерасад.

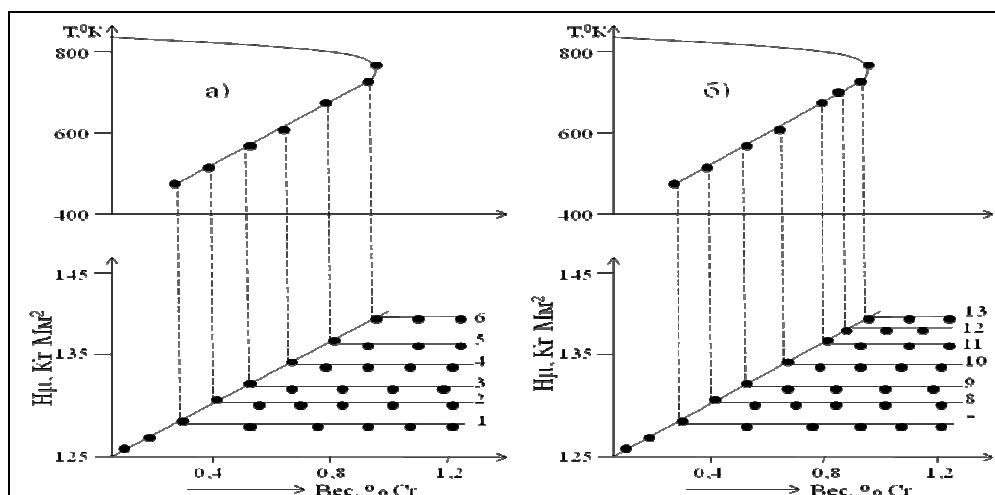
Тақсимоти омехтаи Cr бо қад ё худдарозии сабикаи пайвастагиҳои намуди A^{III}B^V-ро ба таври баробар тавассути ченкунонии мухолифатнокии электрикӣ кристалҳо дар ягонагиҳои шартнокбуда тариқи методи ҷубронкунонӣ мушоҳидӣ намудем.

Дар расми 10 (а,б) вобастагии микросахтиҳои намунаҳои тадқиқгардида аз ҷамъшавии омехтаҳои Cr дар ҳароратҳои гуногун бозпухткунонӣ нишон дода шудаанд. Натиҷаҳои таҷрибаҳои гузаронидашуда нишон медиҳанд, ки маҳлулнокии Cr дар A^{III}B^V нисбат ба намунаи, дорои 0,85 вазн% Cr зиёдтар мебошад. Ҳамин тариқ, аҳамияти қалони маҳлулнокии Cr дар A^{III}B^V мутаносибан 0,81 (GaSb) ва 0,79 (GaAs) ташкил менамояд.



Расми 9 - Вобастагии микросахтиҳои пайвастагиҳои GaSb (1), GaAs (1'); ҷавҳарикунонидашуда бо Cr (2,2') ва (3,3') аз вакти тезобидии омехтаи Cr-4.

Ҷамъшавии омехтаи ҷавҳарикунонидашудаи Cr-1,0 вазн%

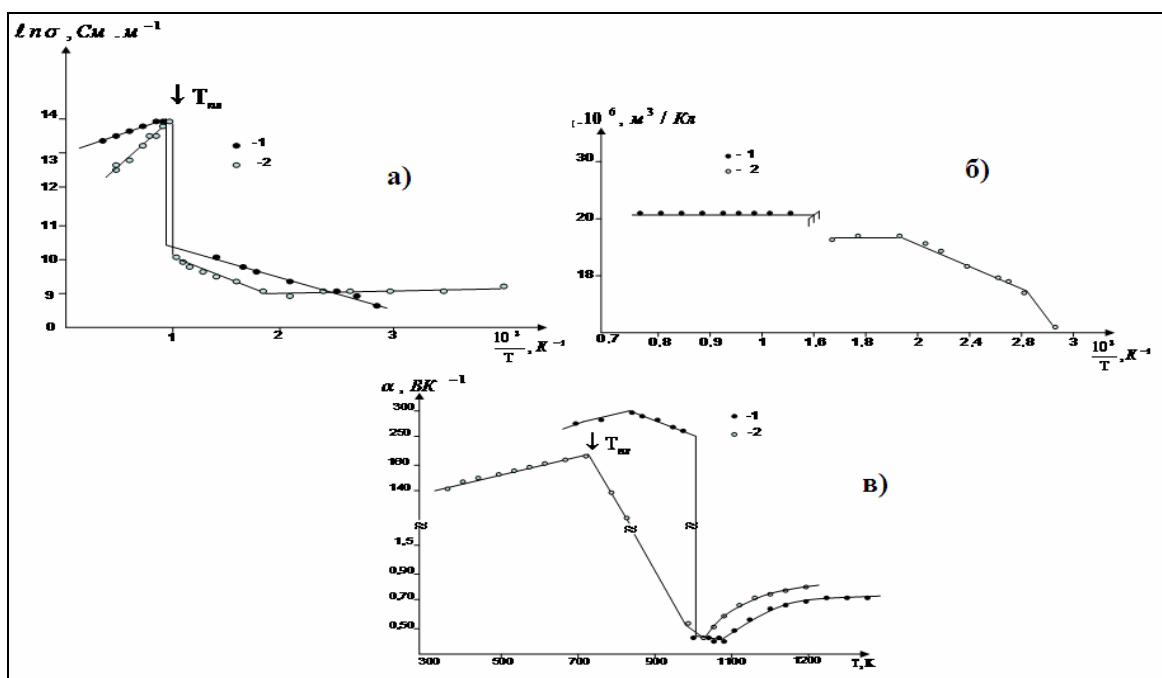


Расми 10 - Микродиаграммаҳои ҳолат ва вобастагии микросахтиҳо аз таркиби гудозишҳои системахои GaSb (а), GaAs (б). Гудозишҳоро байди бозпухт дар ҳароратҳои гуногун обутоб додем: 1-420; 2-480; 3-520; 4-580; 5-640; 6-690; 7-730; 8-780; 9-820; 10-880; 11-910; 12-910; 13-960К

Тадқиқоти хосиятҳои электрофизики пайвастагиҳои нимноқилии антимонидҳои галлийи (GaSb) ва ҷавҳарикунонидашуда бо омехтаи хром дар фосилаи ҳароратӣ. Дар расми 4.19 (а,б ва в) вобастагии ҳароратии

чараёнгузаронй (а), зариби Холл (б) ва термо-эдс (в)-и антимониди тозаи галлий- (1) ва چавҳариқунонидашуда бо хром –(2) дар ҳолатҳои саҳтий ва моеъгӣ нишон дода шудаанд.

Нишон дода шудааст, ки раванди вобастагиҳои ҳароратии коэффициентҳои чараёнгузаронй термо-эдс ва Холл GaSb-и тоза ва ҳам намунаҳои چавҳариқунонидашуда бо хромҳо ба таври пурра дар байн ҳуд мувофиқат менамоянд (расми 11а,б,в). Маъни шуморавии чараёнгузаронй ва термо-эдс-и намунаҳои GaSb бо нигоҳдории хром нисбат ба антимониди галлийи тоза кам мебошад. Дар моддаҳои ҳолаташон саҳт ҳамаи моддаҳо ё ҳуд намунаҳо алоқаҳои аҳандории ҳудро нигоҳ медоранд ва дорои хосиятҳои нимноқилии симҳо мебошанд, яъне бо дарназардошти зиёдшавии ҳарорат чараёнгузаронй низ зиёд мегардад, аммо коэффициентҳои термо-эдс ва Холл кам мешавад. Дар моддаҳои ҳолаташон обакӣ аҳамияти чараёнгузаронй барои намунаҳои GaSb бо нигоҳдории хром нисбат ба антимонидҳои галлийи тоза кам мебошад.



Расми 11 - Вобастагии ҳароратии чараёнгузаронй –(а) зариби Холл (б) ва термо-эдс – (в) GaSb тоза –(1) ва Cr – چавҳариқунонидашуда (2)

Дар асоси маълумотҳои санчишию озмоиший доир ба вобастагии ҳароратии коэффициентҳои Холл тибқи формулаҳои:

$$R_H = \frac{A}{en}, \text{ м}^3/\text{Кл}, \quad (12); \quad n = \frac{A}{eR_H} \text{ см}^{-3}, \quad (13)$$

Чамъшавии қувва ба ҳисоб гирифта шудааст, тибқи натиҷаҳои вобастагиҳои ҳароратии чараёнгузаронй ва коэффициенти Холл тавассути формулаи:

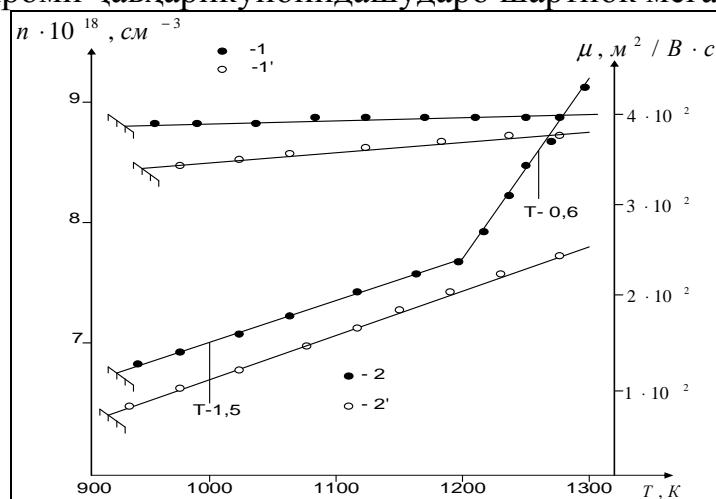
$$\sigma |R_H| = \mu, \text{ м}^2/(\text{В. с}), \quad (14)$$

Ҳаракатнокии қувваҳо муайян карда шуд (расми 2).

Аён аст, ки бо баландшавии ҳарорат чамъшавии қувваи \$n_p\$ ба таври

нигоранда зиёд гардида, аммо ҳаракатнокии μ_p дар оғоз тибқи қонуни $\mu_p - BT^{0,6}$, сипас тибқи қонуни $\mu_p - BT^{1,5}$ кам мешавад. Ин маънои онро ифода менамояд, ки механизми асосии парокандашавии қувваҳо дар ҳарорати паст ин парокандашавӣ дар марказҳои омехтаҳое ҳастанд, ки онҳо дорои қувва ё худ ҷараёни электрикӣ буда, аммо дар минтақаи ҳароратҳои баланд асосан боиси ҷунбишҳои садогии панҷараҳо мегарданд.

Ҳамин тариқ, μ_p тақрибан ба 25-30% зиёд мебошад, аммо шумораи зиёди панҷараҳои фоиданок қариб ду баробар кам мебошанд, нисбат ба электронҳо, ки онҳо маҳсусан ҳарактери хоси панҷараҳои ноқилишавии антимониди галлий тоза ва хроми ҷавҳарикунонидашударо шартнок мегардонад.



Расми 12 - Вобастагии ҳароратии ҷамъшавии қувваи ҷараён ва ҳаракатнокии қувваи GaSb-и тоза – (1,2) ва ҷавҳарикунонидашуда бо хром (1,2)

Тадқиқоти баъзе ҳосиятҳои электрофизики арсенидҳои галлий (*GaAs*) – хроми тоза ва ҷавҳарикунонидашуда. Барои чен кардани ҷараёнгузаронӣ ва қабулкунонии оҳанрабои ҳосилкардашуда аз сабикаҳо намунаҳои силиндрӣ бурида ва омода карда шуданд, ки диаметри (кутри) онҳо ба баландии (8-10мм мувофиқан) баробар буд. Намунаҳои пайвастагиҳои арсениди галлийро дар зарфҳои сарбости фазояшон холӣ то $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па ва ампулаҳои пайвасткардашудаи мувофиқаткунанда ба андоза чен менамоем. Арсениди галлий бо квартс таъсири байнҳамдигариро ба вучӯд меоранд, бинобар ҳамин намунаҳо дар истаконҳои сангии андозаҳояшон мувофиқаткунанда ҷойгир кунонида мешаванд ва ба қишири худи квартс бояд дар ҳолати расиш бошанд.

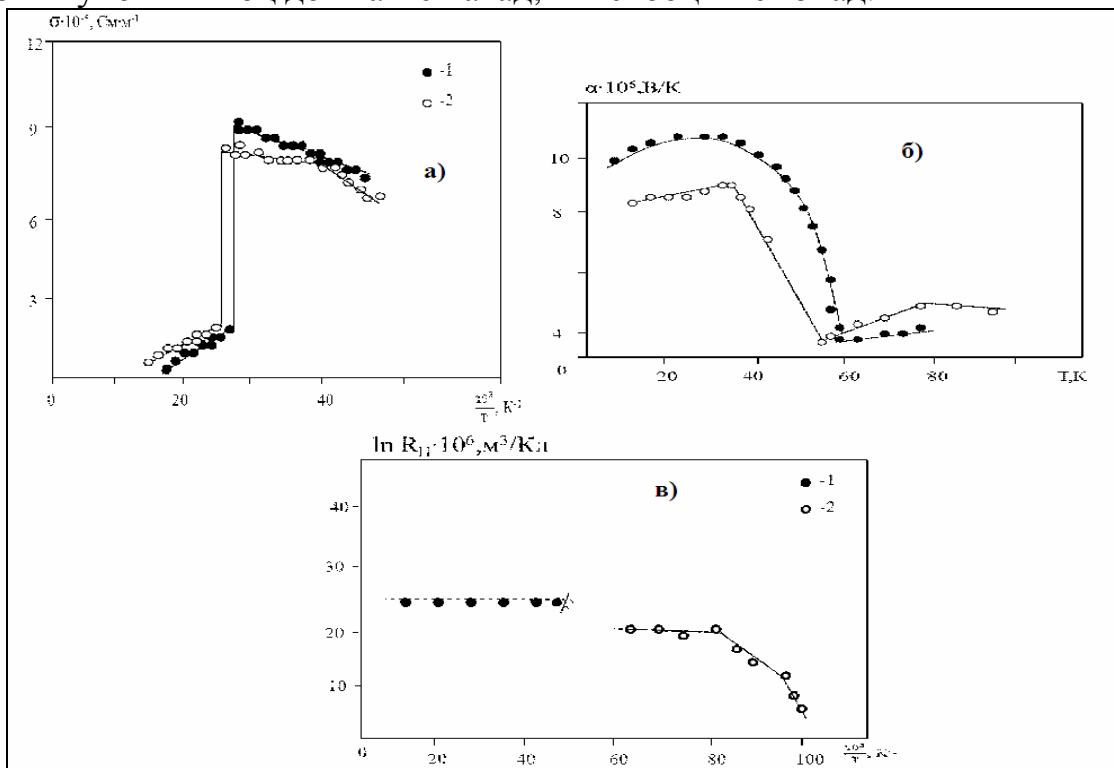
Ҳангоми ченкунонии ҳосиятҳои гуногун намуна дар ҳарорати 20-25°C ҳарорати баланди гудозишкунонӣ аз сари нав гарм карда шуд ва дар ҳамин ҳарорат пеш аз оғози ченкунониҳо дар муддати 5-6с нигоҳ дошта шуд, ки ба гудозишкунонии вай мусоидат намуд. Сабаби асосии дурру дароз нигоҳ доштан дар он мебошад, ки ҳамаи объектҳои ченкардашуда дорои гармии баланди гудозишкунонӣ мебошанд. Дар дигар ҳароратҳо нигоҳдорӣ пеш аз оғози гудозишкунонӣ 20-25 дақиқаро ташкил менамояд.

Натиҷаҳои ченкунонии ҷараёнгузаронӣ, зарibi Холл ва термо-ЭДС дар расми 13 (а,б,в) доир ба арсенидҳои галлий оварда шудаанд, ки бо онҳо

натицаҳои кори мо хело ҳам хуб мувофиқат менамоянд.

Аз ҷадвалҳо аён гардид, ки ҷараёнгузаронии арсениди галлий тоза ва хроми ҷавҳарикунонидашудаи (Cr) дар ҳолати саҳт ҳангоми баландшавии ҳарорат зиёд мегардад. Ҳангоми гудозишкунонии пайвастагиҳо ҷараёнгузаронӣ ба таври номураттаб бо тартиби $10^6 \text{ см}^{-1}\text{м}^{-1}$ зиёд мегардад.

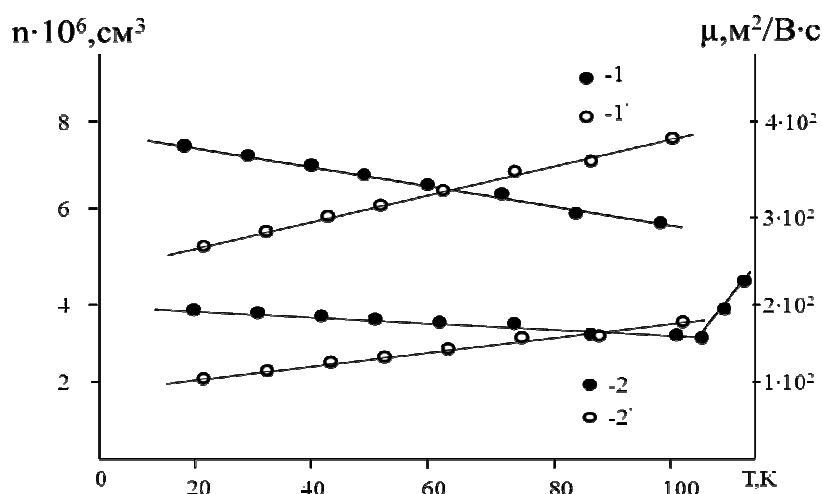
Каме пештар аз гудозишкунонии (20-30 дараҷа) термо-эдс аз сари нав зиёд мегардад, аммо дар нуқтаи гудозишкунонӣ ба таври номураттаб то аҳамиятнокии пасти тартиби $(30-60) \cdot 10^6 \text{ В/К}$ кам мегардад ва ҳангоми дар минбаъда гарм кардан зиёдшавиашро давом медиҳад. Аломати термо-эдс дар ҳарорати паст мусбӣ мебошад. Ҳангоми гармкунонӣ тафийир мейбад ва баъди гудозишкунонӣ нигоҳ дошта мешавад, яъне боқӣ мемонад.



Расми 13 - Вобастагии ҳароратии ҷараёнгузаронӣ (а), зариби Холл (б) ва термо-эдс (в) GaAs –и тоза (1) ва хроми ҷавҳарикунонидашудаи Cr (2)

Дар бораи зиёдшавии мутамарказшавии моддаҳои ҷараёндор ҳамчунин камшавии номураттаби таъсирпазирии оҳанрабоғӣ шаҳодат медиҳад (расми 14), ба ақидаи мо асосан бо зиёдшавии парамагнетизми пуштии электронҳои озод аз ҳисоби зиёдшавии ҷамъшавии онҳо алоқаманд мебошад, ҳамчунин асосан бо зиёдшавии мутамарказшавии моддаҳои ҷараёндор якуяқбора камшавии термо-эдс-ро ҳангоми гудозишкунонии пайвастагиҳои арсениди галлий алоқаманд кардан мумкин аст.

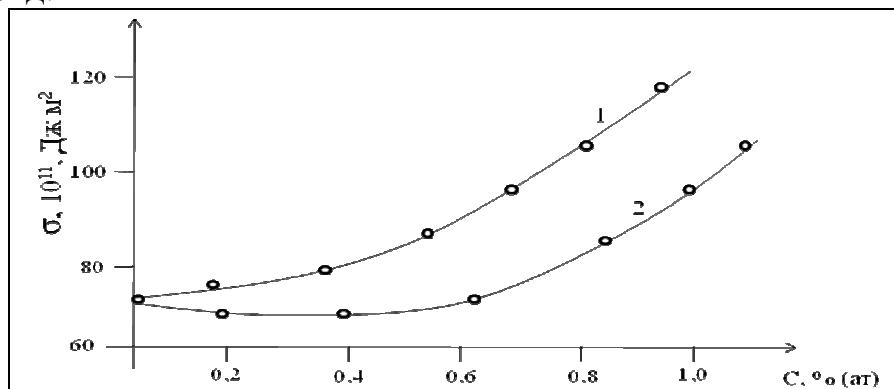
Ҳамин тариқ, маҷмӯи хосиятҳои электрофизикии антимонидҳо ва арсенидҳои галлий аз он шаҳодат медиҳад, ки гудозишкунонии ин пайвастагиҳои нимноқилий бо сабаби яқбора зиёдшавии мутамарказшавии моддаҳои ҷараёндор, ки дар натиҷа ҷараёнгузаронӣ бузургиеро ба миён меорад, ки вай хоси металлҳои гудозишкардашуда мебошад, мушоҳида мегардад.



Расми 14 - Вобастагии ҳароратии мутамарказшавӣ (чамъшавии) моддаҳои ҷараёндор ва ҳаракатнокии қувваҳои GaAs-и тоза (1,2) ва хроми ҷавҳариқунонидашудаи Cr –(1¹,2¹)

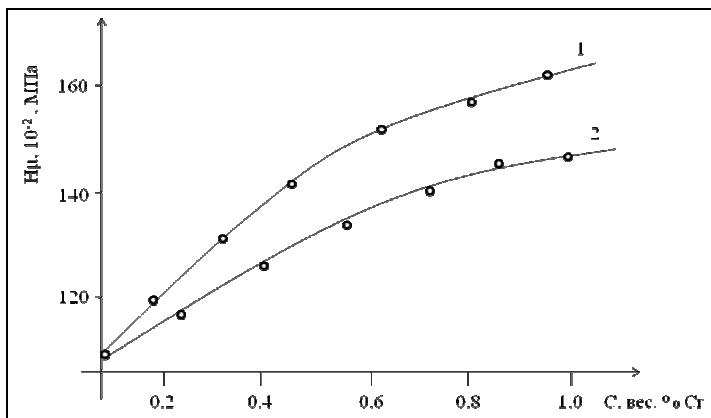
Омӯзиши таъсири омехтаи хром ба тарангии болои гудозиҳо ва микросахтиҳои моношӯшагиҳо дар таркиби GaSb ва GaAs. Мақсади кори зерин омӯзиши таъсири омехтаи хроми (Cr) ба тарангии болои гудозиҳои таркиби A^{III}B^V (GaSb ва GaAs) ва ба микросахтиҳои монокристалии пайвастагии зерин мебошад. Пайвастагии A^{III}B^V бо хром (Cr) гудозиҳои таркиби стехиометрии компонентҳоро то $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па дар ампулаҳои кварстӣ синтез намудем.

Дар расми 15 натиҷаҳои муайянкунии тарангии болои гудозиши таркиби A^{III}B^V бо хроми ҷавҳаронида: 1- GaSb+ Cr; 2- GaAs+ Cr дар ҳарорати 920°C пешниҳод шудааст. Воридсозии 1,2 вазн% хром дар гудозиҳои таркиби A^{III}B^V-тафйир дода, афзоиши иловаҳои хром ҷандирии сатҳи гудозиши таркиби A^{III}B^V-ро зиёд менамояд.



Расми 15 - Вобастагии тарангии болои гудозиҳои болои таркиби A^{III}B^V аз мутамарказшавии омехтаи Cr: 1- GaSb + Cr; 2- GaAs+ Cr дар 920°C

Дар расми 16 натиҷаҳои ченкунонии микросахтии намунаҳои моношӯшагии пайвастагиҳои A^{III}B^V вобаста ба атомҳои омехтаи хроми (Cr): 1- GaSb ва 2- GaAs дар 298,18 оварда шудаанд, ки дар ин ҷо ҳангоми зиёдшавии мутамарказшавии атомҳои хроми (Cr) микросахтии пайвастагиҳои A^{III}B^V зиёд мешавад.



Расми 16 - Вобастагии микросахтии моношүшагиҳо пайвастагии намуди $A^{III}B^V$ аз мутамарказшавии атомҳои омехтаи хроми (Cr):1- GaSb + Cr; 2- GaAs+ Cr

ХУЛОСАҲО

Натиҷаҳои асосии илмии диссертатсия:

1. Бо усулҳои таҳлилии дифференсиалий, ҳароратсанчӣ, ташхисӣ – соҳти, микросахтӣ ва бо ченкунии микросахтӣ мувозинати фазавӣ дар системаҳои $A^{III}B^V$ (GaAs, GaSb) омӯхта шудаанд; пайвастагиҳои гудозишкардашудаи $A^{III}B^V$ -и ба таври конгруэнтӣ дар кристалҳои соҳтори тетрагоналӣ дида шуданд. Нишон дода шудааст, ки дар системаҳои $A^{III}B^V$ як қатор маҳлулҳои саҳт ба вучуд меоянд [6–9-М].

2. Таҷҳизоти «Қураи дуҳароратӣ»-и коркарднамудаи мо барои синтез ва ҳосилкунии монокристалҳои пайвастагиҳои намуди $A^{III}B^V$ ва як қатор маҳлулҳои саҳт дар асоси онҳо бо усли «Реаксияи химиявии газкашонӣ» омода карда шуд. Бо ёрии асбоби коркарднамудаи мо «Танӯри дуқабата», тавассути методи «реаксияи химиявии газкашонӣ» намунаҳои монокристалҳои маҳлулҳои саҳти GaAs– GaSb синтез ва ҳосил карда шуданд [3, 4, 20-М].

3. Дар фосилаи ҳароратҳои 10–325К гармиғунҷоиши зери фишори доимӣ қароргирифтаи пайвастагиҳои $A^{III}B^V$ (GaAs, GaSb) тадқиқ карда шуданд. Аҳамияти меъёрии энталпия ва энтропияи пайвастагиҳои нишондодашуда муайян карда шуданд. Ҳарорати ҳоси Дебай вобаста ба ҳарорат ва гармиғунҷоиши ташкилдиҳандай панҷара ҳисоб карда шуд [11, 16-М].

4. Дар фосилаи васеъи ҳароратҳо, ки фазаҳои саҳт ва моеъро дорад, ҳосиятҳои электрофизикии пайвастагиҳои $A^{III}B^V$ таҳқиқ карда шуд. Вобастагии ҳароратии зарибҳои ҷараёнгузаронӣ, Холл ва термо-эдс дар ҳолатҳои саҳт ва моеъ омӯхта шуданд. Қимати васегии минтақаи манъбуда, вобастагии ҳароратии мутамарказшавӣ ва ҳаракатнокии барандаҳои заряд ва фоиданокии вазни онҳо муайян карда шуданд. Механизмҳои асосии пошхурӣ барандаҳои заряд дар $A^{III}B^V$ муайян крда шуданд [1, 5, 10, 18-М].

5. Таҳқиқоти ҳосиятҳои электрофизикӣ ва гармиғузаронии гудохтаҳо ва ҳӯлаҳои пайвастагии $A^{III}B^V$ нишон дод, ки гудохтаҳои ин пайвастагиҳо дорои зариби баланд ва фоиданокии термоэлектрикӣ мебошанд ва ҳамчун мавод барои термоэлементҳо зери таваҷҷӯҳи ҳоса қарор гирифтанд [10, 13-М].

6. Бо умули микросахтӣ мувозинати фазавии пайвастагии $A^{III}B^V$ бо

омехтаи چавҳаонии хром (Cr) омӯхта шуданд. Ҳудудҳои ҳалшавандагии хром (Cr) дар пайвастагии $A^{III}B^V$ муайян карда шудааст. Тибқи натиҷаҳои гирифташуда микродиаграммаи ҳолати намуди пайвастагиҳо - иловаҳои چавҳаронии хром (Cr) тартиб дода шуд. Нишон дода шудааст, ки ҳалшавандагии хром (Cr) дорои ҳусусияти тетрагоналӣ мебошад [8, 16-М].

7. Ҳосиятҳои электрофизикии $A^{III}B^V$ -и ҷавҳариқунонидашуда бо омехтаи хроми (Cr) таҳқиқ карда шуданд. Нишон дода шудааст, ки мутамарказшавии омехтаи хроми (Cr)-ро дар ҳароратҳои гуногун тағиیر дода, ҳӯлаҳо ё гудохтаҳои $A^{III}B^V$ -ро бо ҳусусиятҳои металлӣ ва нимноқилии ҷараёнгузарон дар ҳолати саҳт ва моеъгӣ ҳосил намудан мумкин аст [15-М].

8. Ҳосиятҳои гармофизикӣ ва сифатнокии термодинамикии пайвастагии $A^{III}B^V$ омӯхта шуда, қисмҳои таркибии гармигузаронии $A^{III}B^V$ дар фосилаи вазеъи ҳароратҳо муайян карда шуданд. Муайян карда шудааст, ки ҳосиятҳои физикии пайвастагии $A^{III}B^V$ моҳиятандаро дар фосилаи вазеъи ҳароратҳо бо дарназардошти моддаҳои ҳолатҳояшон саҳту моеъгӣ, ки онҳоро ҳамчун маводҳои дурнамо баҳри истифодаи амалий дар соҳаҳои гуногуни техникии электронӣ мегардонанд, тағиир меёбанд [12–14-М].

9. Вобастагии таъсирпазирӣ оҳанрабогии антимониди GaSb ва арсениди GaAs дар ҳолатҳои саҳт ва моеъгӣ аз ҳарорат таҳқиқ карда шуд. Нишон дода шудааст, ки дар пайвастагиҳои $A^{III}B^V$ (GaAs – GaSb) ҳангоми гузариш намудан аз ҳолати саҳт ба ҳолати моеъгӣ ягон хел тағииротҳои куллӣ дар ҳосияти соҳтори химиявӣ ва тартиби наздик рӯх намедиҳанд [1, 17-М].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо:

1. Пайвастагии намуди $A^{III}B^V$ (GaAs, GaSb) ва маҳлулҳои саҳт дар асоси онҳо GaAs-GaSb дар ҳолатҳои саҳт ва гудохта самаранокии баланди термоэлектрикӣ доранд, ки метавон онҳоро ба сифати шоҳаҳои маводи термоэлектрикӣ тавсия намуд. Ҳамчунин пайвастагии $A^{III}B^V$ дорои азnavsозии баланд дар фосилаи ҳароратҳои 250–750°К мебошад, ки барои соҳтани терморезисторҳо ва «датчикҳои ҳароратӣ» (термодатчикҳо) тавсия мешаванд.

2. Якчанд пешниҳоду тавсияҳои мо, инчунин «термодатчикҳо» (датчикҳои ҳароратӣ)ни коркарднамуда дар соҳаҳои гуногуни саноатӣ амалан истифода шуданд. Ин маводҳо ба гармо устуворанд ва қобилияти бо он ҷавҳаронидан, ки таваҷҷӯҳи амалиро барои соҳтани асбобҳои гуногунро дар асоси онҳо нишон медиҳанд.

3. Баҳамсозиши ҳосиятҳои магнитӣ ва нимноқилий дар пайвастагии намуди $A^{III}B^V$ имконоти соҳтани асбобҳои гуногунро дар асоси онҳо фароҳам меорад: қабулкунакҳои паҳнқунандаҳои кутоҳшиддат; манбаи некогерентний рушной; нимноқилҳои генераторҳои қвантӣ; генераторҳои гваннӣ; магниторезисторҳои гуногун ва др.

4. Таҷҳизоти «Қураи дӯҳароратӣ»-и коркарднамудаи моро барои синтез ва ҳосилкунии монокристалҳои намунаҳои яқчинсаи содда ва пайвастагиҳои мураккаб бо усли «Реаксияи химиявии газкашонӣ» истифода намудан мумкин аст.

5. Таҷҳизоти универсалии претсизионии коркардшуда ва ячейкаҳо барои

таҳқиқоти комплексии хосиятҳои металлӣ ва маводи нимноқилии содда ва мураккаб, инчунин маҳлулҳои саҳт, ки дар асоси онҳо ҳосил шудаанд, тавсия мешаванд.

ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ ДАРЁФТИ ДАРАҶАИ ИЛМӢ АЗ РӮЙИ МАВЗӮИ ДИССЕРТАЦИЯ

Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмӣ тавсиянамудаи КОА-и назди

Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашишуда:

[1-М]. Каримов, С.К. Некоторые электрофизические свойства твердых растворов системы GaSb-GaAs / С.К. Каримов, **А. Шарипов** // Вестник Таджикского национального университета. – 2013. – № 1/1 (102). – С. 119-124.

[2-М]. Каримов, С.К. Некоторые физико-химические свойства соединения типа $A^{III}B^V$, легированного хромом (Cr) / С.К. Каримов, **А. Шарипов** // Вестник Таджикского национального университета. – 2014. – № 1/2 (130). – С. 74-77.

Ихтироот:

[3-М]. Малый патент Республики Таджикистан № ТJ 623. Датчик температуры (Температурный датчик) для измерения температуры почвы перед посевом семян сельхозкультуры / С.К. Каримов, С.Г. Гафоров, Н.И. Баротов, **А.П. Шарипов** // Приоритет изобретения от 24.07.2014 г.

[4-М]. Малый патент Республики Таджикистан № ТJ 668. Двухзонная (двухтемпературная) печь для синтеза и получения монокристаллических полупроводниковых соединений методом «химических газотранспортных реакций» / С.К. Каримов, С.Г. Гафоров, **А.П. Шарипов** // Приоритет изобретения от 06.01.2015 г.

[5-М]. Малый патент Республики Таджикистан № ТJ 918. Держатель образца для исследования электрофизических параметров полупроводниковых соединений при низких температурах / С.К. Каримов, С.Г. Гафоров, **А.П. Шарипов** // Приоритет изобретения от 23.07. 2018 г.

Мақолаҳои дар дигар маҷаллаҳо нашишуда:

[6-М]. Гаффоров, С.Г. Современные проблемы исследования жидких металлов и полупроводников / С.Г. Гаффоров, С.К. Каримов, Н.И. Баротов, **А. Шарипов** // Вестник КГУ им. А. Рудаки. – 2009. – № 1(1). – С. 86-88.

[7-М]. Каримов, С.К. Общие закономерности образования арсенида и антимонида галлия типа $A^{III}B^V$ / С.К. Каримов, **А. Шарипов** // Вестник КГУ им. А.Рудаки. – 2009. – № 2(2). – С. 113-116.

[8-М]. Каримов, С.К. Определение растворимости Cr в GaSb и GaAs методом микротвердости / С.К. Каримов, **А. Шарипов** // Вестник КГУ им. А. Рудаки. – 2011. – № 1(5). – С. 168-173.

[9-М]. Каримов, С.К. Твердые растворы GaSb-GaAs в тройной системе Ga-As-Sb / С.К. Каримов, **А. Шарипов** // Вестник КГУ им. А. Рудаки. – 2010. – № 2(4). – С. 77-81.

[10-М]. Каримов, С.К. Установка для комплексного исследования электрофизических и термоэлектрических свойств металлов и полупроводников в широком диапазоне температур / С.К. Каримов, С.Г. Гаффоров, Н.И. Баротов, **А. Шарипов** // Кулябский Филиал технологического университета.– 2010. – С. 68-70.

[11-М]. Каримов, С.К. Технологические процессы синтеза и выращивания монокристаллов двойных соединений GaAs и GaSb / С.К. Каримов, **А. Шарипов** // Вестник КГУ им. А. Рудаки. – 2010. – № 3(3). – С. 114-116.

[12-М]. Каримов, С.К. Теплопроводность и термодинамические свойства соединения типа $A^{III}B^V$ / С.К. Каримов, А. Шарипов // Вестник КГУ им. А. Рудаки. – 2012. – № 1-2 (6-7). – С. 156-161.

[13-М]. Каримов, С.К. Наука и техника. Наука в производстве (изобретение) / С.К. Каримов, С. Гафоров, Н.И. Баротов, А. Шарипов // Вестник КГУ им. А. Рудаки. – 2014. – № 1(10). – С. 38-44.

*Мақолаҳои дар маводи конференсияҳои байналмилий ва
ҷумҳурияӣ нашриуда:*

[14-М]. Каримов, С.К. Термодинамические свойства соединения типа $A^{III}B^V$ / С.К. Каримов, А. Шарипов // Мат. науч.-практ. респ. конф. к 20-летию Дня независимости Республики Таджикистан «Истиқолият таҳқимбахши давлати ҳуқуқбунёд». Курган-тюбинский госуниверситет. – 2011. – С. 132-137.

[15-М]. Каримов, С.К. Электрофизические свойства антимонида галлия ($GaSb$), легированного хромом (Cr) / С.К. Каримов, С.Г. Гаффоров, Н.И. Баротов, А.П. Шарипов // Мат. межд. науч.-теор. конф. «Философия, естественные и математические науки и образование: проблемы и перспективы», посв. 15-летию Дня национального согласия и 50-летию со дня рождения д.физ.-мат. наук, академика АПСН РФ, профессора А. Комили. – Курган-тюбинский госуниверситет. – 2012. – С. 154-161.

[16-М]. Каримов, С.К. Некоторые физико-химические свойства соединения типа $A^{III}B^V$, легированного хромом (Cr) / С.К. Каримов, А. Шарипов // Мат. науч.-практ. респ. конф. «Вклад науки в инновационном развитии регионов Республики Таджикистан». Кулябский филиал технологического университета Таджикистана. – 2012. – С. 123-129.

[17-М]. Кольцов, В.Б. Некоторые физические свойства чистых и легированных $GaSb$, $GaSb+Cr$, $GaSb+GaAs$ / В.Б. Кольцов, С.Г. Гафоров, Н.И. Баротов, А. Шарипов // Мат. VI межд. науч.-теор. конф. «Физико-химические основы получения и исследования комплекса свойств полупроводниковых композиционных и диэлектрических материалов». Кулябский государственный университет им. А. Рудаки. – 2013. – С. 6-7.

[18-М]. Каримов, С.К. Некоторые электрофизические свойства соединения GaB^V (B^V -As, Sb) / С.К. Каримов, А. Шарипов // Мат. VI межд. науч.-теор. конф. «Физико-химические основы получения и исследования комплекса свойств полупроводниковых композиционных и диэлектрических материалов» // Кулябский государственный университет им. А. Рудаки. – 2013. – С. 52-54.

[19-М]. Шарипов, А. Датчик температуры (Температурный датчик) для измерения температуры почвы перед посевом семян сельхозкультуры / А. Шарипов // Маҷмуаи маводи форуми ҷумҳурияти ихтироъкорон ва навоварони ҷавон оид ба технологияи инноватсионӣ таҳти унвони «Ҷавонон – нерӯи навовар ва ихтироъкор», баҳшида ба 70-солагии Донишгоҳи давлатии Қӯлоб ба номи А. Рӯдакӣ. – 2015. – С. 114-115.

[20-М]. Шарипов, А. Двухзонная (Двухтемпературная) печь для синтеза и получения монокристаллических полупроводниковых соединений методом «Химических газотранспортных реакций» / А. Шарипов // Маҷмуаи маводи форуми ҷумҳурияти ихтироъкорон ва навоварони ҷавон оид ба технологияи инноватсионӣ таҳти унвони «Ҷавонон – нерӯи навовар ва ихтироъкор», баҳшида ба 70-солагии Донишгоҳи давлатии Қӯлоб ба номи А. Рӯдакӣ. – 2015. – С. 115-116.

АННОТАЦИЯ

**диссертсияи Шарипов Аламшо Партоевич дар мавзӯи «Синтез ва ҳосиятҳои антимонид ва арсениди галлий дар фазаҳои саҳт ва моеъ» барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси
05.02.01 – Маводшиносӣ (дар электротехника)**

Калимаҳои калидӣ: антимонид ва арсениди галлий; оптимизатсия, моделсозӣ, фазаҳои саҳт ва моеъ, ҳусусиятҳои термодинамикӣ, гармофизикӣ ва электрофизикӣ.

Объект ва усуљҳои таҳқиқот. Объекти таҳқиқот ин антимонид ва арсениди галлии тоза ва ҷавҳаронидашуда дар фазаҳои саҳт ва моеъ мебошад. Ҳангоми гузаронидани таҳқиқоти системаи GaAs-GaSb методҳои термики, таркибӣ ва таҳлили рентгенофазавӣ истифода бурда шуд, микротаркиб ва микросахти тадқиқ карда шуд, ки қвазибинарӣ мебошад ва дар худ як қатор пайдарпайи маҳлулҳои саҳтро дар бар мегирад.

Мақсади таҳқиқот ин омӯзиши таҷрибавии ҳусусиятҳои электрофизикӣ ва физикавӣ-химиявии антимонид ва арсениди галлий, ғайр аз ин ҷавҳаронидани намунаҳо дар ҳудудҳои васеъи ҳарорат аст. Мукаммал намудани раванди технологи синтез ва ҳосил намудани поли ва монокристалҳои ин пайвастагиҳо мебошад.

Натиҷаҳои ҳосилшуда ва навғониҳои онҳо. Мувозинати фазавии системаи Ga-As ва Ga-Sb таҳқиқ карда шуд ва индивидуалӣ будани пайвастагиҳои намуди $A^{III}B^V$ исбот карда шуд. Дар системаи Ga-As-Sb як қатор маҳлулҳои саҳт мукаррар карда шуд, соҳтори кристалӣ ва ғурӯҳи фазагии ин пайвастагиҳо муайян карда шуд, усуљҳои нави реаксияи нақли химиявӣ коркард карда шуд, имконияти ба даст овардани пайвастагиҳои монокристалии намуди $A^{III}B^V$; аз рӯи вобастагиҳои ҳарорати ҳусусиятҳои физикӣ-химиявӣ ва электрофизикии пайвастагиҳои $A^{III}B^V$ ҳуло сабарори карда шуд, ки дар тавсифи алоқамандиҳои химиявӣ ва тартиби наздик ҳангоми гудозиш ва дар оянда ҳангоми гарм намудани ин пайвастагиҳо тағиротҳои радикалӣ мушоҳида нашуд; саҳми таркибнамоии гармигузаронӣ (электронӣ, биполярӣ ва моллярӣ) дар гармигузаронии умумии ҳалкенголиди бинарӣ ва мураккаби галлий дар вобастагӣ аз ҳарорат муайян карда шуд; вобастагии ҳароратии зарibi самаранокии термоэлектрикии ин пайвастагиҳо ҳисоб карда шуд, ки истифодаи амалии ин пайвастагиҳоро пешниҳод намудем; нишон дода шуд, ки ҳангоми ҷавҳаронидани ҳалкогенидҳои галлии омӯхташуда метавон ҳусусиятҳои электрофизикии онро бо усули ҷубронкунии барандагони заряд, ғайр аз ин барқарор намудани қонуниятҳои экспоненсиалии вобастагии ҳароратии барандагони заряд ва механизми паҳншавии онҳоро танзим намуд.

Тавсияҳо оид ба татбиқи амалии натиҷаҳои илмӣ. Натиҷаҳои ҳосилшудаи диссертсияи номзадӣ дар намуди коркарди «Термодатчик» дар ҳоҷагиҳои кооперативии «Раҳмат» ва «С.А. Ҳамадонӣ»-и ноҳияи Кулоб, ҳоҷагии кооперативии «Мизроб» ва колхози «Ҳоҷамумин»-и ноҳияи Восеъ, ғайр аз ин дар филиали Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш. Шоҳтемури ноҳияи Данғара дар соли 2012 истифода шуд.

Маводи коркардшуда аз ҷиҳати гармо мустаҳкам буда ва барои ҷавҳаронидан қобилиятынок аст ва таваҷҷӯҳи амалӣ оиди дар асоси онҳо соҳтани асбобҳои гуногунро пешкаш менамояд.

Соҳаи истифодабарӣ: саноати электротехника.

АННОТАЦИЯ

диссертации Шарипова Аламшо Партоевича на тему «Синтез и свойства антимонида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 – Материаловедение (в электротехнике)

Ключевые слова: антимонид и арсенида галлий, оптимизация, моделирование, твёрдые и жидкые фазы, термодинамические, теплофизические и электрофизические свойства

Объекты и методы исследования. Объекты исследования являются чистые и легированные антимониды и арсениды галлия в твердой и жидкой фазе. При проведении исследований системы GaAs-GaSb применены методы термического, структурного и рентгенофазового анализа, исследованы микроструктуры и микротвердости, являющиеся квазибинарными и представляющие собой непрерывного ряда твердых растворов.

Цель исследования заключается в экспериментальном исследование электрофизических и физико-химических свойств антимонида и арсенида галлия, а также легированных образцов в широком интервале температур. Усовершенствование технологических процессов синтеза и получения поликристаллов этих соединений.

Полученные результаты и их научная новизна. Исследованы фазовые равновесия в системах Ga-As и Ga-Sb и доказано существование индивидуальность соединений типа $A^{III}B^V$. В системе Ga-As-Sb установлен непрерывный ряд твердых растворов, определены кристаллическая структура и пространственная группа этих соединений; разработана новая разновидность метода химических транспортных реакций, позволившая получить монокристаллы соединений типа $A^{III}B^V$; по температурным зависимостям физико-химических, теплофизических свойств соединений $A^{III}B^V$ сделано заключение о том, что не наблюдаются радикальные изменения в характере химической связи и структуре ближнего порядка при плавлении и дальнейшем нагреве расплавов данных соединений; выявлен вклад составляющей теплопроводности (электронной, биполярной и молярной) в общей теплопроводности бинарных и сложных халькогенидов галлия в зависимости от температуры; рассчитаны температурные зависимости коэффициента термоэлектрической эффективности (добротности) данных соединений, по которым сделаны предложения об их практическом применении; показано, что при легировании изученных халькогенидов галлия можно регулировать их электрофизические свойства путем компенсации носителей заряда, а также установлены экспоненциальные законы температурной зависимости подвижности носителей заряда и механизм их рассеяния.

Рекомендации по практическому использованию результатов. Основные результаты диссертационной работы в виде разработанных «Термодатчиков» нашли широкое применение в производственных кооперативах «Рахмат» и «С.А. Хамадони» Кулябского района, «Мизроб» и «Ходжа-мумин» Воссейского района, а также и Филиале Таджикского аграрного университета имени Ш. Шотемура в Дангаринском районе в 2012 году. Разработанные материалы являются высокотермостойким и способными к легированию и представляют практический интерес к созданию на их основе различных приборов.

Область применения: электротехническая промышленность.

ANNOTATION

**the dissertation of Sharipov Alamsho Partoevich entitled “Synthesis and properties of antimonide and arsenide gallium in solid and liquid phase”,
submitted for the degree of candidate of technical sciences, specialty
05.02.01 – Material science (in electrical engineering)**

Key words: antimonide and arsenid gallium, optimization, modeling, solid and liquid phases, thermodynamical, thermophysical and electrophysical properties.

Object of investigation, methods of research. Object of investigation is pure and doped antimonide and arsenide gallium in solid and liquid phases. During the investigation of the GaAs-GaSb system, methods of thermal, structural, and X-ray phase analysis were applied, microstructures and microhardnesses were studied, which are quasibinary and represent a continuous series of solid solutions.

The aims of the study: consists in an experimental study of the electrophysical and physico-chemical properties of antimonide and arsenide gallium, as well as doped samples in a wide temperature range. Improvement of technological processes for the synthesis and obtaining of poly– and single crystals of these compounds.

The obtained results and their scientific novelty. phase equilibria in the Ga-As and Ga-Sb systems were investigated and the existence of individuality of $A^{III}B^V$ -type compounds was proved. A continuous series of solid solutions was established in the Ga-As-Sb system; the crystal structure and space group of these compounds were determined; a new variety of the method of chemical transport reactions was developed, which made it possible to obtain single crystals of compounds of type $A^{III}B^V$; from the temperature dependences of the physicochemical and electrophysical properties of $A^{III}B^V$ compounds, it was concluded that there are no radical changes in the nature of the chemical connection and the short-range structure during melting and further heating of the melts of these compounds; the contribution of the component of thermal conductivity (electronic, bipolar and molar) to the total thermal conductivity of binary and complex gallium chalcogenides depending on temperature was revealed; the temperature dependences of the coefficient of thermoelectric power (quality factor) of these compounds were calculated, according to which proposals were made on their practical application; It is shown that when alloying the studied gallium chalcogenides, their electrophysical properties can be controlled by compensation of charge carriers, and the exponential laws of the temperature dependence of the charge carrier mobility and the mechanism of their scattering are established.

Degree of use: The main results of the dissertation in the form of the developed “Thermal sensor” were widely used in the production cooperatives “Rakhmat” and “S.A. Hamadoni” of the Kulyab region, “Misrob” and “Khojamumin”of the Vose district, as well as the branch of the Tajik Agrarian University named after Sh. Shotemur in the Dangara district in 2012. The developed materials are highly heat-resistant and capable of alloying, therefore, they represent undoubtedly practical interest in creating various devices on their basis.

Application: electrical industry.

Разрешено в печать 17.02.2021 г., подписано в печать 19.02.2021 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Гарнитура литературная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 3,4. Тираж 100 экз.
