

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН
ДАНГАРИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УДК:539.1.074.55:546.76(540)

ББК:31.233:24.125(2И)

Б-27

На правах рукописи

Баротов Намозкул Иноятович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ЛЕГИРОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА
ОСНОВЕ АНТИМОНИДА ИНДИЯ**

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук
по специальности: 02.00.04 – Физическая химия**

Душанбе - 2024

Работа выполнена на кафедре общей и теоретической физики Кулябского государственного университета имени Абуабдуллох Рудаки

Научный руководитель: **Гафоров Сатор** - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей и теоретической физики Кулябского государственного университета имени Абуабдуллох Рудаки

Официальные оппоненты: **Раджабов Умарали** - доктор химических наук, профессор кафедры фармацевтической и токсикологической химии Таджикского государственного медицинского университета им. Абуали ибн Сино
Бердиев Асадкул Эгамович - доктор химических наук, профессор кафедры химии и биологии Российско-Таджикский (Славянский) университет

Ведущая организация: **Физико – технический институт им. С.У. Умарова Национальная академия наук Таджикистана»**

Защита состоится 23. 05. 2024 в 10⁰⁰ часов на заседании Диссертационного совета 6D. КОА - 010 при Таджикском национальном университете по адресу 734025, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17, Таджикский национальный университет, главный корпус, зал диссертационного совета, 2 этаж. E-mail: kfk1964@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться на сайте www.tnu.tj и в центральной библиотеке Таджикского национального университета по адресу: 734025, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17.

Автореферат разослан «_____» _____ 2024г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета:
д.х.н., и.о. профессор**



Раджабов С.И.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и необходимость проведения исследования по диссертации. До настоящего времени недостаточно изучены вопросы строения и свойств жидких металлов и полупроводников, которые имеют большое теоретическое и практическое значение. В области физики и химии полупроводников имеются вопросы, которые создают трудности в различных аспектах, в частности, процессы плавления и кристаллизации, поиска новых материалов и изучение их комплекса физико-химических свойств в твердом и жидком состоянии. При этом проектирование и создание более современных полупроводниковых приборов для дальнейшей их эксплуатации необходимо знать важнейшие параметры полупроводников, такие как концентрация, подвижность, определение знака носителей зарядов и др. Вместе с тем необходимость совершенствования технологии производства полупроводниковых материалов и улучшение их качества требует дальнейшего всестороннего комплексного исследования физико-химических свойств полупроводниковых материалов в твёрдом и жидком состоянии. Решение вопросов легирования полупроводников неотделимо от изучения примесных уровней, возникающих в полупроводниках при легировании.

Таким образом, поиск новых материалов, имеющих оптимальные параметры путем легирования, играет важную роль в науке и технике, и работа большинства электронных полупроводниковых приборов и аппаратуры связана с использованием примесного механизма проводимости. Поэтому возникает проблема легирования полупроводника или добавках в контролируемых количествах, исследование физико-химических, электрофизических, теплофизических и других свойств легированных полупроводников. Такие исследования также позволяют судить о взаимодействии между лигатурами и соединениями.

Вышесказанное позволяет сделать вывод об актуальности проведения экспериментов по исследованию электрофизических и теплофизических свойств расплавов металлов и полупроводников.

В связи с вышеизложенным в настоящей работе рассматриваются диаграммы состояния соединений A_3B_5 ; комплексный подход к исследованию электрофизических и технологических, термоэлектрических свойств и методические приёмы полупроводников различных структурных групп в широком диапазоне температур, включая и жидкую фазу; управление свойствами полупроводников путем легирования различных примесей, экспериментальное исследование электропроводности, термо-эдс и эффекта Холла расплавленных веществ, обладающих к тому же значительной химической активностью.

Степень изученности научной проблемы, теоретическая и методологическая основы исследования. В настоящей работе рассматривается комплексный подход к исследованию электрофизических, технологических, термоэлектрических свойств. Известно, что химические вещества при высоких температурах обладают значительной химической

активностью, и исследование любого физического параметра при таких условиях весьма сложно. Несмотря на сложность процессов, исследования в области различных структурных групп периодической системы Д. И. Менделеева представляют большой интерес, с одной стороны, в связи с практическими применениями в качестве активных элементов электронных приборов, а также целью их минимизации, во – вторых, это требование науки для построения общей теории в области предплавления, после плавления и жидкой фазы.

Изложенный выше анализ проблемы исследования, практического использования, вышеназванных соединенный и их твёрдых растворов позволяет сформулировать основные положения диссертационной работы.

Перечисленные выше проблемы нашли своё решение в диссертационной работе при исследовании методов синтеза вышеназванных соединений, квазибинарных разрезов и твёрдых растворов на их основе, их легирования и изучения комплекса их свойств в твёрдом и жидком состоянии.

Отрасль исследования. Проведённый количественный анализ применимости теоретических моделей М. Катлера, Н. Ф. Мотта, Андерсона, описывающих физические свойства исследованных расплавов полупроводников, а также веществ с подобной физико-химической природой. Полученные в работе количественные данные по изученным физическим свойствам полупроводников представляют интерес для разработчиков аппаратуры электронной техники и технологов при создании и эксплуатации технологического оборудования для получения полупроводниковых материалов и приборов на базе исследованных твёрдых растворов.

Основная информационно-экспериментальная база: Работа выполнена на кафедре общей и теоретической физики Кулябского государственного университета имени Абуабдулло Рудаки на основе кафедральной темы «Исследование структуры и физико-химические свойства полупроводников в широком диапазоне температуры».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель исследования является выявление закономерностей изменения коэффициентов электропроводности, термо-эдс и Холла в полупроводниках с различными типами межчастичного взаимодействия в твёрдом и жидком состоянии, вблизи точки плавления.

Задачи исследования:

1. На базе комплексного исследования физических свойств полупроводников A_3B_5 при переходе из твёрдого состояния в жидкое и в расплаве в зависимости от температуры с привлечением как традиционных методов электропроводности и термо-эдс, так и метода эффекта Холла;
2. Поиск новых высокоэффективных материалов путем легирования для применения в области термоэлектричества как активных материалов термоэлементов, термогенераторов, диодов и других полупроводниковых приборов;

3. Описание электрофизических свойств расплавов полупроводников различными моделями электронных расплавов;
4. Разработка надёжной методики и аппаратуры для высокотемпературных прецизионных исследований электропроводности, термо-эдс и эффекта Холла в расплавах полупроводников;
5. Экспериментальное исследование электропроводности, термо-эдс и эффекта Холла в твёрдом и жидком состоянии полупроводниковых соединений различных структурных групп, а также квазибинарных сплавов на их основе;
6. Анализ современных моделей неупорядоченных систем с позиции выяснения их возможностей при абсолютных значениях и температурной зависимости физико-химических свойств на основе комплексных исследований, гальваномагнитных, электрофизических и термоэлектрических характеристик;
7. Выяснение области практического применения новых бинарных антимонидов и квазибинарных разрезов антимонидов в электронной технике;
8. Исследование кинетических параметров и их связи со свойствами и составом InSb и легированными образцами InSb+Ag с целью получения материалов с высокой термоэлектрической эффективностью;
9. Синтез и получение образцов антимонида индия, легированных серебром, получение новых экспериментальных данных по электропроводности, термо-эдс и эффекта Холла в исходном и легированных образцах.

Объект исследования. Объектом исследования нами были выбраны представители группы соединения A_3B_5 - антимонида индия и образцы антимонида индия легированного серебром и изучения комплекса их свойств в твёрдом и жидком состоянии.

Предметом исследования является экспериментальное исследование коэффициентов электропроводности, термо-эдс и Холла в антимониде индия (InSb) и образцы легированного серебра (InSb+Ag) с привлечением традиционных методов электропроводности, термо-эдс и эффекта Холла.

Научная новизна исследования заключается:

1. Впервые синтезированы образцы антимонида индия с содержанием серебра (InSb+Ag) и получена температурная зависимость важных электрофизических параметров, а именно: электропроводность, коэффициенты термо-эдс и Холла.
2. На основе экспериментальных данных рассчитаны подвижность и концентрация носителей заряда. Впервые проведено комплексное исследование электрофизических свойств - эффекта Холла, термо-эдс и электропроводности в расплавах InSb, а также образцах легированных серебром InSb+Ag.
3. Впервые сделан количественный анализ исследованных свойств веществ на основе различных моделей, предложенных М. Катлером и классической теорией свободных электронов.
4. Основываясь на экспериментальных и расчетных данных, можно классифицировать соединения A_3B_5 , в частности, антимонида индия (InSb) и

их легирования серебром (InSb+Ag) в твердом состоянии как полуметалл, а при переходе из твердого в жидкое состояние как полуметалл-металл

5. Можно отметить, что образцы InSb с содержанием 0,1 масс. % Ag имеют более высокое значение коэффициента термо-эдс, которые могут играть важную роль в изготовлении термодатчиков.

Теоретическая и практическая ценность исследования. Проведённый количественный анализ применимости теоретических моделей М. Катлера, Н. Ф. Мотта, Андерсона, описывающих физические свойства исследованных расплавов полупроводников, а также веществ с подобной физико-химической природой. Полученные количественные данные по изученным физическим свойствам полупроводников представляют интерес для разработчиков аппаратуры электронной техники и технологов при создании и эксплуатации технологического оборудования для получения полупроводниковых материалов и приборов на базе исследованных твёрдых растворов.

Получен большой объём экспериментальных данных высокой точности, надежности по электропроводности, термо-эдс и эффекта Холла чистого антимонида индия (InSb), легированного серебром (InSb+Ag), результаты которых внедрены в полученных образцах в народном хозяйстве.

Предложена методика одновременного измерения электропроводности, термо-эдс и коэффициента Холла в широком диапазоне температур, которая позволяет экономить материал ячейки, исследуемое вещество и время для подготовки ячейки к измерениям. Вместо разовых измерительных ячеек предлагается использование многоразовых после полного изучения исследуемого вещества, проводить специальные приёмы и ячейка будет готова к новому измерению.

Положения, выносимые на защиту: На основании проведенных исследований и разработок на защиту выносятся следующее:

1. Методика комплексного исследования электропроводности, термо-эдс и эффекта Холла полупроводников в твёрдом и жидком состоянии.
2. Экспериментальные результаты исследования перечисленных характеристик соединения A_3B_5 , а также квазибинарные системы соединений A_3B_5 , в частности, антимонида индия (InSb) с содержанием 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 масс.% Ag.
3. Анализ коэффициентов электропроводности, теплопроводности, термо-эдс и эффекта Холла исследованных веществ с целью выяснения высокоэффективных материалов для рекомендации их к применению в различных областях полупроводниковой техники.
4. Данные по анализу явления «послеплавления» и роль ближнего порядка в жидком состоянии исследуемых веществ, а также явления кластерообразования после плавления.

Достоверность диссертационных результатов. Полученные экспериментальные данные подтверждаются использованием электрофизических и термоэлектрических методик исследования; современными электронными приборами; воспроизводимостью

экспериментальных результатов в широком диапазоне температур; поиском и находкой новых высокоэффективных активных элементов для создания электронных приборов.

Совпадение диссертации с паспортом специальности.

Рассматривается узкозонное бинарное полупроводниковое соединение типа A^3B^5 , в частности антимонида индия (InSb) и антимонида индия, легированного серебром (InSb+Ag). Проведены комплексные исследования электрофизических, термоэлектрических свойств и методические приёмы полупроводников в широком диапазоне температур, включая и жидкую фазу (соответствует пунктам 1, 2 и 5 по специальности 02.00.04 – Физическая химия (пункт 1 – Экспериментальное определение и расчет параметров строения молекул и пространственной структуры веществ; пункт 2 – Экспериментальное определение термодинамических свойств веществ, расчет термодинамических функций простых и сложных систем, в том числе на основе методов статистической термодинамики, изучение термодинамики фазовых превращений и фазовых переходов; пункт 5 – Изучение физико-химических свойств систем при воздействии внешних полей, а также в экстремальных условиях высоких температур и давлений)).

Выявление закономерностей изменения коэффициентов электропроводности, термо-эдс и Холла в полупроводниках с различными типами межчастичного взаимодействия в твёрдом и жидком состоянии, вблизи точки плавления, классификация соединения A_3B_5 , в частности, антимонида индия (InSb) и их легирования серебром (InSb+Ag), что в твердом состоянии как полуметалл, а при переходе из твердого в жидкое состояние как полуметалл-металл (соответствует пунктам 4, 9 и 11 по специальности 02.00.04 – Физическая химия (пункт 4 – Теория растворов, межмолекулярные и межчастичные взаимодействия; пункт 9 – Элементарные реакции с участием активных частиц; пункт 11 – Физико-химические основы процессов химической технологии)).

Личный вклад соискателя в работу, выполненную в соавторстве, состоял в систематизации литературных данных по теме диссертации, постановке задач исследования, получении экспериментальных данных, анализе и обобщении результатов, формулировке основных выводов диссертации, внедрении результатов исследования в народное хозяйство, получении авторского свидетельства.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов. Результаты, полученные в диссертации, докладывались и обсуждались на следующих международных и республиканских конференциях: Научно-теоретическая конференция Кулябского государственного университета имени Абуабдуллох Рудаки (Куляб.17 апреля 2012 г.); VI-ая международная научно-теоретическая конференция: «Физико-химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов» (Куляб, 25-27 декабря 2013); Научно-теоретическая конференция Кулябского государственного

университета им. А.Рудаки (Куляб. 17 апреля 2012 г.); научно-теоретическая конференция, посвященная 70-летию Кулябского государственного университета им. А. Рудаки» (Куляб. 2015); Республиканская конференция «Современные проблемы физики» (Куляб. 2019).

Опубликованные результаты диссертации. По результатам исследования опубликовано 23 работ, в том числе 7 из них в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте РТ и ВАК РФ, 15 тезисов докладов на международных и республиканских конференциях и одно изобретение.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, IV глав, выводов, списка использованной литературы – 178 источников. Диссертация изложена на 141 страницах, содержит 22 рисунка, 15 таблиц и приложение; патент – 1 шт, акт о внедрение - 1 шт.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** проведён литературный обзор и обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, выбраны объекты исследования, научная и практическая значимость экспериментальных результатов, проведено описание моделей электронных расплавов.

Первая глава представляет собой вводную часть, анализ и выводы об электрофизических и термоэлектрических свойствах полупроводниковых соединений типа $A^{III}B^V$, современные модели описания структуры твердых и жидких металлов и полупроводников.

Во **второй** главе приведено описание и даны принципиальные блок-схемы установки; экспериментальные методики для исследования электропроводности, коэффициентов термо-эдс и эффекта Холла в полупроводниковых материалах в широком диапазоне температур, включая и жидкую фазу.

Получение полупроводникового соединения складывается из следующих основных операций: синтеза, очистки, выращивания монокристаллов, легирования, термообработки полученных образцов. Для осуществления этих операций важное место занимают используемые электрические печи высоких температур.

Для измерения электропроводности, термо-эдс и коэффициента Холла твёрдых образцов, вплоть до температуры плавления, нами были изготовлены держатели образца разного вида, которые показаны на рисунке 1 и 2. Для исследования электрофизических параметров данный держатель можно изготовить из стали (при измерениях до температуры 1700 К), до 1100К в качестве материалов держателя можно использовать асбестовые, кварцевые материалы. Данный держатель позволяет наряду с измерением электропроводности определять термо-эдс и коэффициента Холла до температуры 1100К.

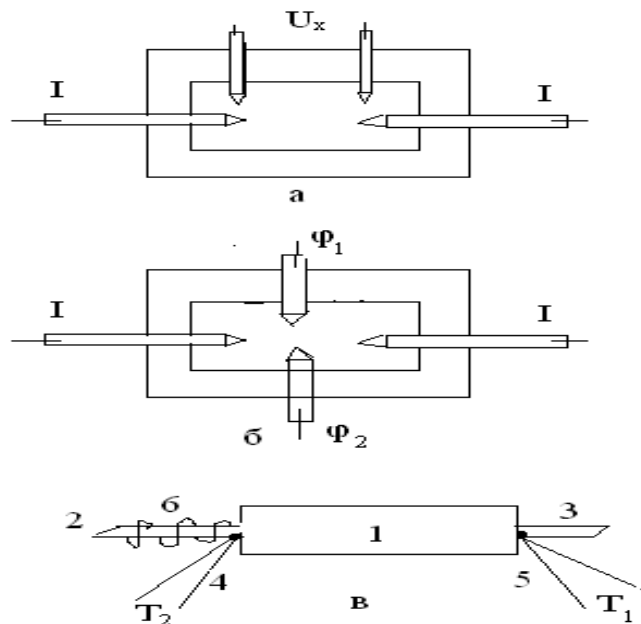


Рисунок 1. Держатели для измерения электропроводности, константа Холла и термо-эдс в твёрдом состоянии

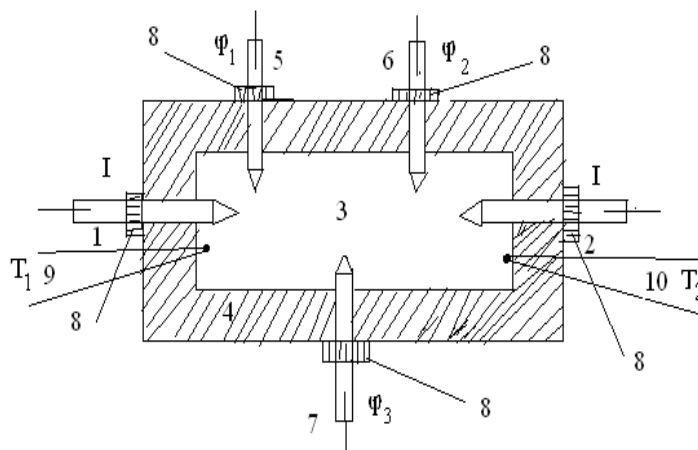


Рисунок 2. Технологическая схема держателя для измерения коэффициента электропроводности, термо-эдс и Холла в твёрдом состоянии.

Для этой цели достаточно заменить, термопары 1 и 2, также винты 5 и 6 на зонды. В случае образцов, имеющих строго прямоугольные формы, зонды 1 и 2 токовые, а 5 и 6-потенциальные.

Вместе с тем для измерения при высоких температурах, вплоть до 1300 – 1500К нами использована керамическая ячейка, изготовленная на основе Al_2O_3 материалом ячейки является керамика марки ГМ (рис.3).

Для измерения электропроводности и термо-эдс применялись ячейки У-1, а для эффекта Холла применялись ячейки У-2. При исследовании электрофизических параметров в жидкой фазе и при высоких температурах мы использовали ячейки марки У-2, потому что измерения электропроводности, константы Холла, либо термо-эдс и электропроводности проводили одновременно в течение одного эксперимента.

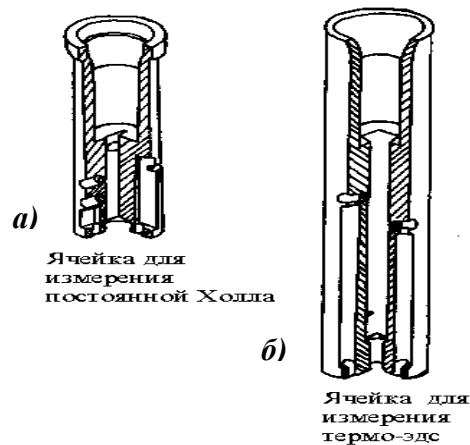


Рисунок 3. Схема измерительной ячейки для измерения электрофизических параметров: а –ячейка У-1,- для измерение электропроводности и коэффициента Холла в твёрдом и жидком состоянии; б-ячейка У-2 - для измерения термо-эдс в твёрдом и жидком состоянии.

Ячейка для загрузки представляет собой цилиндрическую емкость. Для улучшения герметичности ячейки все графитовые уплотнения промазывались специальной замазкой на основе окиси алюминия, которая может служить при высоких температурах. После термической обработки данная ячейка позволит измерять электрофизические параметры при высоких температурах, вплоть до $1,5 \cdot 10^3 \text{K}$. Некоторые исследуемые образцы в твёрдом состоянии имели следующие размеры:

$$a = 0,6 \text{ мм}, \quad b = 0,62 \text{ мм}, \quad \ell = 3,5 \text{ мм}.$$

Ячейка имеет конструкцию, которая позволяет изготавливать её серийно, применяя керамическую технологию без какой-либо последующей механической доработки. В данной работе использована специально разработанная ячейка, в которой хромель - алюмелевой термопары были защищены графитовыми колпачками, расплав которых практически не реагирует с веществом. Графит имеет термо-эдс $6 \div 7 \cdot 10^{-3} \text{В/К}$, то перепад температур в нём составляет доли градуса, что вносит в измеряемую величину термо-эдс образца погрешность порядка $0,5 - 1 \cdot 10^{-6} \text{В/К}$, а эта величина находится в пределах точности измерений существующими потенциометрическими методами. Учитывая работоспособность нашего комплекса, сначала произвели измерения по репейным материалам и в дальнейшем измерение производили на чистом антимониде индия и антимониде индия, легированном серебром [1-А - 7-А, 9-А-12А].

Третья глава посвящена технологическим процессам синтеза и подготовки образцов к измерениям. В технологическом отношении такие операции, как синтез и выращивание кристалла, а также легирование полупроводникового соединения проводится последовательно в ходе одного технологического цикла. Для других соединений это процедура выполняется комплексно, т.е. циклически и последовательно вместе взятых. Первый вариант является наиболее эффективным, так как позволяет снизить до минимума загрязнения, вносимые в соединение при переходе от одной технологической

операции к другой. Каждая операция получения полупроводникового соединения может быть осуществлена с привлечением разнообразных физико-химических процессов. Эти процессы могут быть разбиты на две большие группы. Первая из них охватывает процессы, связанные с синтезом, а вторая – с выделением синтезированного соединения из окружающей его среды. Как правило, вторая группа процессов используется на операциях очистки и выращивания монокристаллов. В принципе каждая из этих двух групп может быть подразделена в соответствии с существующими классификациями химических реакций и процессов разделения. Для получения соединения антимонида индия использовали прямой однотемпературный синтез. Соединение получается сплавлением в стехиометрическом соотношении In высокой чистоты и Sb марки СУ-00, очищенной зонной плавкой. Растворимость в твердом InSb избыточного количества компонентов против стехиометрии чрезвычайно низка, что доказывается возможностью получения кристаллов с концентрацией электрически активной примеси в области $n=10^{14}-10^{16}$ атом/см³. Одним из предполагаемых результатов избытка компонента являются дефекты решетки, которые могут образовывать электрически активные центры.

Кристалл может быть вытянут из расплава на стандартном оборудовании, как давление паров In и Sb имеет низкое значение при температуре плавления InSb, равной 796К. Для того чтобы брать навески в отношении 1:1, нами была использована известная формула:

$$M_{AB} = \frac{P_1 \cdot m_A \cdot m_H}{P_1 \cdot m_A + P_2 \cdot m_B},$$

где P_1 и P_2 процентное соотношение компонентов, m_H – навески в граммах, m_A , m_B – атомная (молярная) масса соответственно компонентов А и В. Навески брали по $5 \cdot 10^{-3}$ кг InSb с точностью взвешивания $1 \cdot 10^{-6}$ кг.

Легированные образцы также выбраны по $5 \cdot 10^{-3}$ кг антимонида индия с добавкой 0,1%; 0,2%; 0,3%; 0,4%; 0,5 масс.% Ag в массовом отношении.

Синтез образца антимонида индия проводили в печи СШОЛ – 1 – 1,6/12, где без градиентная зона печи намного превышала размеры кварцевых ампул. Режим синтеза был ступенчатый, т. е. температуру печи сначала повысили до (973К) температуры плавления антимонида индия, затем её при этой температуре выдерживали в течение часа. Вещество охлаждалось вместе с выключенной печью примерно со скоростью 50 град./час. Затем вторично поставили ампулу в синтез. Режим был прежний, но на этот раз температуру расплава повысили на 100 – 150 градусов. Расплав выдерживался в течение 2 часов с аperiодическим механическим вибрациям. После второго синтеза были получены однородные образцы в виде слитка [1-А -6-А, 12-А]. Из этих слитков вырезали образцы строго прямоугольной геометрической формы с размерами:

- 1) 3,75 x 6,9 x 10мм.
- 2) 5 x 7 x 10мм.
- 3) 3,75 x 6,9 x 10мм.

Для синтеза антимонида индия легированного серебром (InSb+Ag) нами была разработана «Универсальная установка для очистки цветных металлов, синтеза и получения кристаллов полупроводниковых соединений» [8-А], и были синтезированы сплавы с содержанием 0,1 масс.%, 0,2 масс.%, 0,3 масс.%,

0,4 масс.%, 0,5 масс.%, Ag. Навески взвешивались в мере $5 \cdot 10^{-3}$ кг, (точностью $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ кг), с использованием цифровых электронных весов.

Однако при использовании измерительной ячейки при высоких температурах нами были размельчены образцы в порошок и этот порошок поместили в конусообразную форму ячейки. Температуру повысили до $T_{пл}$ и после некоторого вибрации заполнялось щель ячейки, о чем свидетельствует проявляющийся электрический ток в контактах. Ячейку замазывали пастой Al_2O_3 (гнездо ячейки). В качестве контакта использовали графитовые колпачки.

В четвертой главе приведены анализ экспериментальных результатов по электропроводности, термо-эдс и эффекта Холла. Полученные экспериментальные результаты (табл.1), т.е. температурные зависимости электропроводности, термо-эдс и коэффициента Холла антимонида индия приведены на рисунка 4.

Таблица 1.

Экспериментальные данные электропроводности, термо-эдс и коэффициенты Холла антимонида индия ($T_{пл}=798 \div 809K$)

Температура Т. К	Электропроводнос ть, $\sigma \cdot 10^{-5}$, См·м ⁻¹	Температур а Т. К	Термо- эдс, $\alpha \cdot 10^6$, В·К ⁻¹	Температу ра Т. К	Коэффициента Холла, $R_H \cdot 10^6$
365	0,35	706	-108,90	703	5,29
419	0,36	727	-114,90	737	4,83
450	0,40	788	-121,00	774	3,81
696	0,76	789	-116,80	801	3,45
683	0,78			807	2,99
733	0,96				
810	11,97	815	-2,80	813	$7,30 \cdot 10^{-5}$
818	11,99	827	-2,40	828	$6,99 \cdot 10^{-5}$
833	12,0	843	-2,30	839	$6,59 \cdot 10^{-5}$
853	11,90	866	-2,50	950	$6,68 \cdot 10^{-5}$
865	11,96	886	-2,20	966	$6,64 \cdot 10^{-5}$
887	11,91	899	-2,30	1010	$6,72 \cdot 10^{-5}$
899	11,80	928	-2,20	1050	$6,72 \cdot 10^{-5}$
930	11,70	943	-1,83	1125	$6,80 \cdot 10^{-5}$
951	11,50	975	-1,80	1175	$7,10 \cdot 10^{-5}$
973	11,64	1010	-1,60	1237	$7,04 \cdot 10^{-5}$
996	11,60	1023	-1,54		
1023	11,20	1033	-1,50		
1033	11,40	1040	-1,40		
1068	11,24	1060	-1,10		
1110	11,1	1098	-0,70		
1145	10,85	1125	-0,80		
1155	10,82	1155	-0,43		
1183	11,05	1173	-0,40		
1175	11,01	1203	-0,30		
1203	10,72				
1253	10,70				
1257	10,42				
1265	10,42				
1288	10,35				

Как видно из рисунка 4, электропроводность вблизи плавления твердой фазы имеет значение $\sim 39,70 \cdot 10^3$ См/м, а при фазовом переходе наблюдается резкое увеличение электропроводности до $\sim 12 \cdot 10^5$ См/м.

Абсолютное значение указывает на существенную металлизацию расплава, что приводит к применению М- модели.

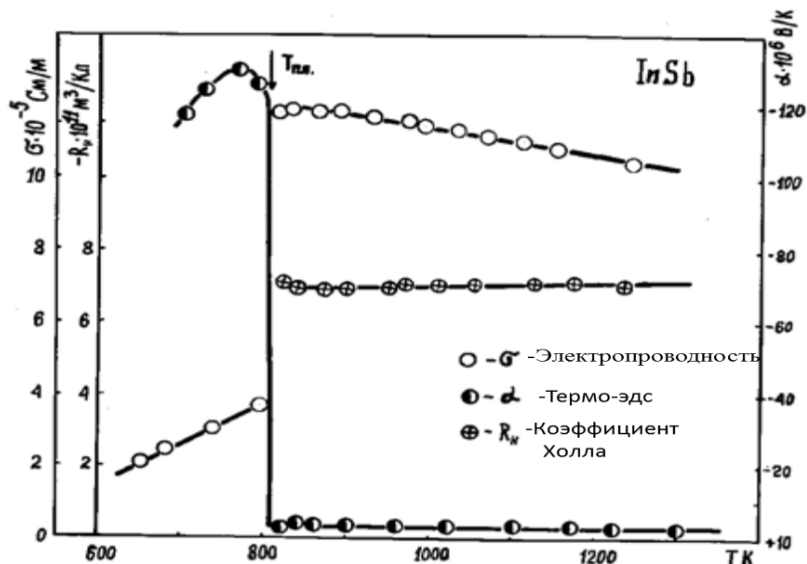


Рисунок 4. Температурная зависимость электропроводности, термо-эдс и коэффициента Холла InSb при высоких температурах.

Термо-эдс InSb в твердой фазе вблизи плавления имеет значение, приблизительно $120 \cdot 10^{-6}$ В/К, что хорошо согласуется с литературными данными [1-А -4-А, 9-А-17-А], а при плавлении наблюдается инверсия знака с отрицательного на положительный (рис. 4).

Если рассмотреть изменение указанных параметров в жидкой фазе при дальнейшем нагреве, то следует сделать вывод, что в расплаве не происходит никаких радикальных изменений, кроме тех, которые сопровождают нагрев любой жидкости: ослабление сил межмолекулярного взаимодействия, увеличение межмолекулярных расстояний, увеличение числа вакансий и т. д.

В рассмотренном интервале температур в жидкой фазе химическое соединение InSb относительно устойчиво. При дальнейшем нагреве степень диссоциации следует считать постоянной, так как в ходе температурной зависимости коэффициента Холла и проводимости не происходит существенных изменений, и концентрация носителей приблизительно остаётся постоянной $P = 9 \cdot 10^{28}$ м⁻³. Уменьшение электропроводности в расплаве можно объяснить уменьшением подвижности носителей. Незначительное уменьшение подвижности с повышением температуры приводит к монотонному уменьшению электропроводности. В отличие от предыдущих работ, мы наблюдали низкие значения коэффициента термо-эдс с положительным знаком до температуры ~ 1250 К. Численные значения термо-эдс сразу после плавления составляют $\sim 3,1 \cdot 10^{-6}$ В/К, что соответствует металлическому уровню. Судя по ходу температурных зависимостей и полученных численных данных $\sigma(T)$ вблизи плавления в твердой фазы $E^\sigma = 0,18 \pm 0,01$ эВ хорошо согласуется с литературными данными. То, что касается процесса плавления и после

плавления, позволяет утвердить предположение о том, что в InSb сразу, после плавления, завершается генерация свободных носителей, о чем свидетельствуют высокие значения $\sigma(T)$ и ее монотонное уменьшение [9-А -15-А].

Данные по температурной зависимости коэффициента Холла показывают незначительное увеличение этого коэффициента и отрицательный знак в расплаве InSb.

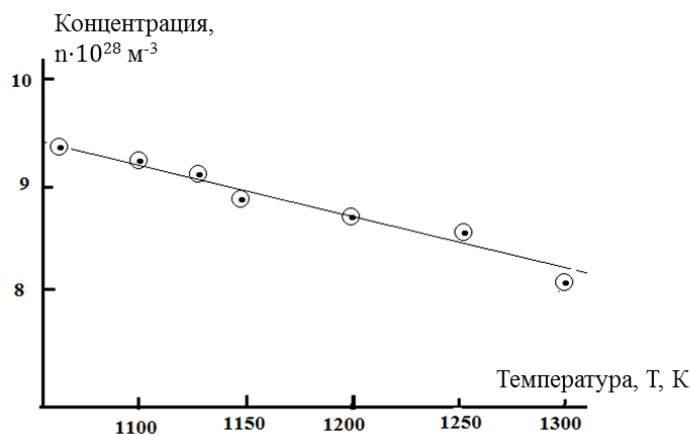


Рисунок 5. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в InSb в жидком состоянии

Если учитывать, что ошибка погрешности в измерении коэффициента Холла составляет 6%, то в пределах $+0,2 \text{ см}^3/\text{Кл}$ указанный параметр можно считать постоянным. Используя экспериментальные данные на основе приближения свободных электронов, вычисляли концентрацию носителей заряда по формуле:

$$n = \frac{1}{R_H \cdot e} \quad (1)$$

График температурной зависимости концентрации жидкого InSb представлен на рисунке 5. Как видно на рисунке 5 концентрация носителей заряда сразу после плавления приобретает значение порядка 10^{28} м^{-3} , а при дальнейшем нагреве расплава наблюдается незначительное уменьшение этого параметра.

Наши эксперименты показали, что значение коэффициента термо-эдс соответствует чисто металлическому характеру и имеет отрицательный знак. Судя по характеру температурной зависимости коэффициента термо-эдс при дальнейшем нагреве (1250К), происходит инверсия знака носителей, и знак термо-эдс совпадает со знаком коэффициента Холла. Поскольку в нашем случае наблюдается несоответствие знака термо-эдс и коэффициента Холла, то, исходя из теории Фридмана, мы можем сказать, что не исключена возможность данной ситуации.

Учитывая предложение Н. Мотта [1-А - 7-А, 9-А-17-А] о том, что, если проводимость осуществляется электронами вблизи E_c , то холловская подвижность не должна зависеть от температуры и имеет величину около $0,1 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Поэтому вычисляли подвижность по эмпирической формуле:

$$\mu_H = \sigma |R_H| \quad (2)$$

График температурной зависимости холловская подвижность жидкого InSb представлена на рисунке 6.

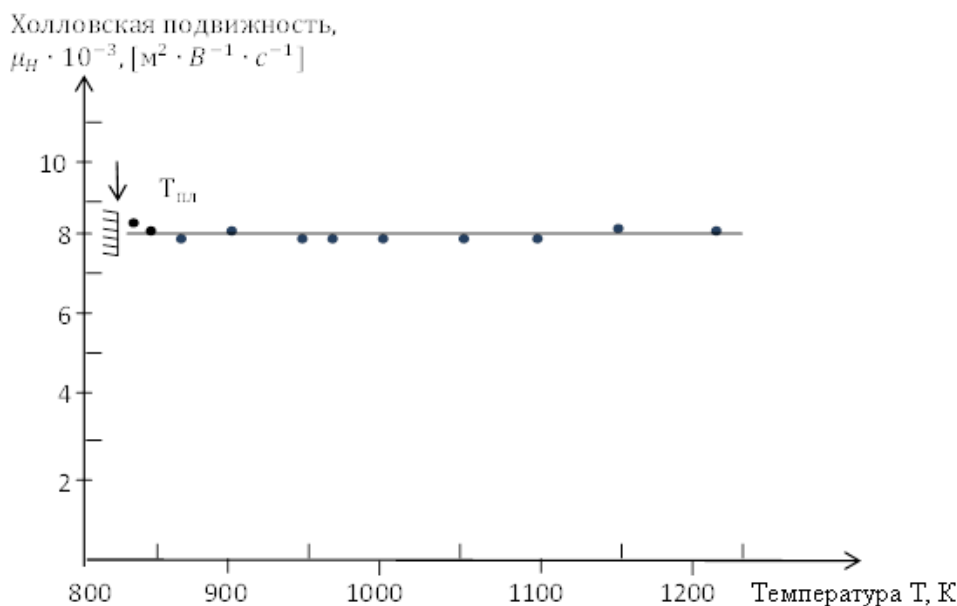


Рисунок 6. Температурная зависимость холловская подвижности в InSb в жидком состоянии

В нашем случае μ_H в среднем равно $0,75 \pm 0,1 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Отсюда следует, что носителями тока не являются электроны, об этом свидетельствует и знак термо-эдс. Если принять во внимание, что проводимость осуществляется с помощью электронов [12-А-23-А], возбужденных на краю подвижности, то используя модель Андерсона в предположении, что фазы атомных функций случайны и что трехузловая модель применима к данному случаю и холловская подвижность определяется так:

$$\mu_H = \frac{2\pi\eta\bar{z}la^2}{z^2 \cdot \hbar} a^3 B \cdot N(E_c) \quad (3)$$

Здесь B – ширина зоны без учёта беспорядка, z – координационное число, \bar{z} – среднее число замкнутых трехузловых путей вблизи произвольно выбранного узла. Фридман предполагал, что $\bar{z}=z$, а мы примем $\bar{z}=6$ для трехмерного случая и $\bar{z}=4$ для двухмерного. Это дает в трехмерном $\mu_H = \frac{la^2}{z\hbar} = 0.23 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ случае: если $a = 3 \text{ \AA}$.

Эти данные указывают на то, что в жидком InSb имеет место случай двухмерный при $a = 3 \text{ \AA}$ и $z = 4$. Наши данные μ_H (табл. 2) имеют значение $0.8 \div 0.76 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} = 1 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$, что соответствует теоретическим расчётам Фридмана для двухмерного случая.

Таблица 2.

Некоторые параметры антимонида индия в жидкой фазе

Температура T, К	Теплопроводность, $\frac{\text{Вт}}{\text{Холл, м град}}$	Температура T, К	Холловская подвижность $\mu_H \times 10^4$, $\text{м}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	Температура T, К	Концентрация, $n_{\text{эксп}} \times 10^{-28}$, м^{-3}	Температура T, К	радиус сферы Ферми, $k_F \times 10^{10}$, м^{-1}	Длина свободного пробега L , Å	Эффективная масса, $m^* \times 10^{-28}$, кг	Отношение массы m^*/m_0
810	23,2	815	0,87	813	8,6	815	1,37	7,85	1,85	203,6
830	24,5	830	0,83	828	8,9	828	1,38	7,62	1,9	209,2
865	25,3	845	0,78	839	9,5	839	1,41	7,33	1,95	214,5
951	26,9	950	0,77	950	9,4	950	1,41	7,10	1,66	182,4
1033	28,9	970	0,77	966	9,4	966	1,41	7,16	1,66	182,4
1110	29,6	1010	0,76	1010	9,3	1010	1,40	7,05	1,60	175,4
1175	30,7	1050	0,75	1050	9,3	1050	1,40	6,94	1,5	166,2
1203	32,0	1125	0,75	1125	9,2	1125	1,39	6,81	1,4	149,4
1226	32,7	1175	0,78	1175	8,8	1175	1,38	7,09	1,3	143,5
1275	32,5	1237	0,76	1237	8,8	1237	1,38	6,95	1,25	137,8

Исходя из вышеуказанного, результаты отношения электропроводности InSb в твёрдой и жидкой фазах, равны 3,5. Наши исследования показали, что антимонид индия вблизи плавления в твёрдой фазе имеет проводимость, а после плавления, т. е в жидкой фазе, $\sigma_{\text{ж}} = 11,97 \cdot 10^5 \frac{\text{См}}{\text{м}}$, а отношение $\frac{\sigma_{\text{ж}}}{\sigma_{\text{т}}} = 30,1$.

Расчеты и статистическая обработка полученных экспериментальных данных осуществлены с использованием компьютерных программ «Excel» и «Corel draw»

Полученному уравнения аппроксимирующей прямой соответствует электропроводность расплава $\sigma = 9,55 - 2,7 \cdot 10 \cdot 10^{-3}T$, и термо-эдс $\alpha = 8,2 - 6,64 \cdot 10^{-3}T$, и коэффициента Холла $\sigma = 9,55 - 2,7 \cdot 10 \cdot 10^{-3}T, R_H = 30,3 - 1,35 \cdot 10^{-2}T$.

Исходя из металлического характера проводимости и большой концентрации носителей [1-А-7-М, 12-М-23-М соответствующего вырожденного состояния для определения уровня Ферми приводится:

$$E_F = \frac{h^2}{2m^*} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{3n}{8\pi}\right)^2} \quad (4)$$

При высоких температурах, когда энергия электронов велика и разность $E - \mu > 2kT$, формула распределения Ферми – Дирака переходит в формулу классического распределения Максвелла. Практически E_F – определяется с учётом эффективной массы электронов. Мы попытались определить эффективную массу электронов и отношение эффективной массы к массе покоя электрона. Для этой цели, сначала определили k_F – радиус сферы Ферми (табл. 2).

$$k_F = (3\pi^2 \cdot n)^{1/3} \quad (5)$$

Из соотношения Зеймана, которое даётся для металлического приближения, определяем длину свободного пробега:

$$\lambda = \frac{ne^2 L}{\hbar \cdot k_F}$$

откуда:

$$L = \frac{\hbar \cdot k_F \lambda}{ne^2} \quad (6)$$

Полученные нами результаты средней длины свободного пробега (табл. 2.) можно считать постоянными и равным $\lambda = 7,2 \pm 0,6 \text{ \AA}$. Отношение эффективной массы к массе покоя электрона в зависимости от температуры графически представлено на рисунке 7.

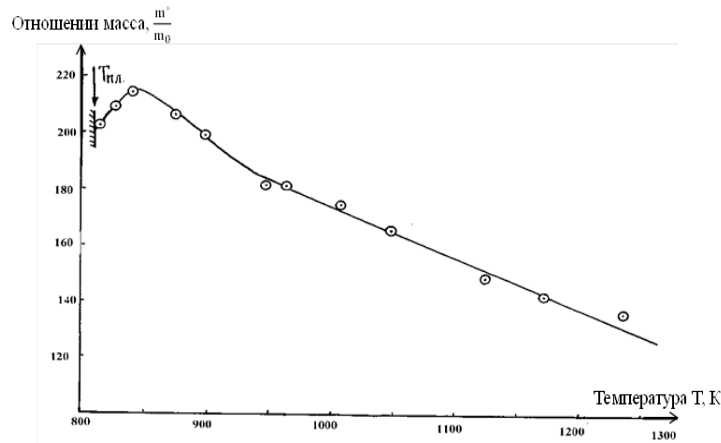


Рисунок 7. Температурная зависимость отношения масс в жидкой InSb.

Как видно, это отношение после плавления немного увеличивается, а при дальнейшем нагреве наблюдается уменьшение отношения масс. Далее, предполагая, что рассеяние носителей заряда происходит на акустических фонах, принимаем $r = \frac{3\pi}{8}$. Тогда дрейфовая подвижность:

$$\mu_\alpha = \frac{1}{2} |R| \cdot \sigma = \frac{8|R_H|\sigma}{3\pi} \quad (7)$$

Расчеты показывают, что в среднем $\mu_\alpha = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, а это согласуется с μ_H . Учитывая, что для вырожденных полупроводников и металлов, имеет место $\mu_\alpha = \mu_H$.

В нашем случае в пределе $\pm 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ дрейфовая и холловская подвижности совпадают. Холлова подвижность, определяющая угол Холла, пропорциональна дрейфовой подвижности $\mu_H = r\mu_\alpha$. В случае, когда время релаксации $\tau = \text{const}$, т. е. не зависит от энергии: $r=1$, поэтому в нашем случае имеет место: $r = \frac{\mu_H}{\mu_\alpha} = 1$.

В формуле (6) мы принимали следующие значения:

$$m^* = m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}, \quad \hbar = 6,635 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}, \quad n = 9,1 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$$

и рассчитывали E_F . Среднее значение E_F соответствует следующему значению: $E_F = 6 \cdot 10^{22} \text{ эВ}$. Если учесть, что максимальная энергия при $6 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ равна 9 эВ, то можно отметить, что наши данные (7,3 эВ) еще раз утверждают

металлизацию антимонида индия в жидкой фазе. Исходя из М- модели Катлера, в случае параболической зоной структуры для жидкого InSb мы вычислили энергию Ферми:

$$\alpha = \frac{\pi^2 \cdot k^2 T}{3eE_F} \quad (8)$$

Откуда:
$$E_F = \frac{\pi^2 \cdot k^2 T}{3e\alpha} \quad (9)$$

Вычисленные результаты представлены в таблице 3. Как видно, значение энергии Ферми рассчитано на основе модели Катлера и модели квантовой механики не совпадают.

Таблица 3.

Некоторые параметры антимонида индия в жидкой фазе

Температура Т, К	Подвижность $\mu_\alpha \cdot 10^{-4}$, $\text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	Энергия Ферми E_F , эВ	Термо-эдс $\alpha_{\text{расч.}} \cdot 10^6$, В/К	Площадь Ферми $S_F \cdot$ 10^{20} , м^2	Температура Т, К	Диффузия $D \cdot 10^6$, $\text{м}^2 \cdot$ сек^{-1}
815	0,74	7,10	2,80	23,59	815	5,2
828	0,70	7,20	2,76	23,93	828	4,99
839	0,66	7,60	2,65	24,97	839	4,77
950	0,65	7,55	3,02	24,97	875	5,00
966	0,65	7,55	3,02	24,97	900	5,40
1010	0,65	7,49	3,23	24,62	950	5,32
1050	0,64	7,49	3,36	24,62	966	5,41
1125	0,64	7,44	3,63	24,28	1010	5,66
1175	0,66	7,23	3,90	23,92	1050	5,79
1237	0,65	7,23	4,10	23,92	1125	6,21
					1175	6,68
					1237	6,93

Данные на основе моделей Катлера не совпадают с теоретическими значениями для металлов, имеющих максимальную энергию 9 эВ.

В нашем случае (рис. 8), соответствие с теоретическими значениями, наблюдается лишь при температурах, равных 810-850К. Отсюда можно сделать вывод, что в данном случае модели Катлера к жидкому InSb не применимы. На основе экспериментальных данных по термо-эдс мы попытались, используя также закон Видемана – Франца [1-А], рассчитать электронную теплопроводность:

$$\chi = \frac{\pi^2 k^2 T \sigma}{3e^2} = W_0 \sigma T \quad (10)$$

Где; $W_0 = 2,45 \cdot 10^{-8} \text{Вт} \cdot \text{Ом}/\text{град}^2$.

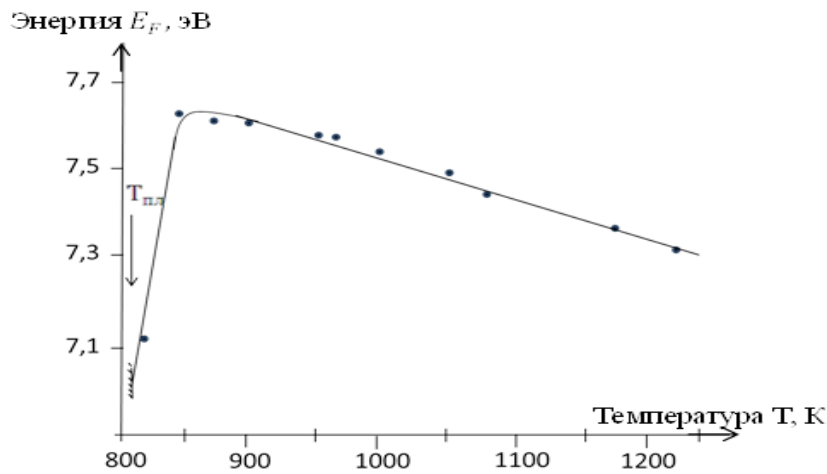


Рисунок 8. Температурная зависимость E в жидкой $InSb$.

Такой подход к определению χ показал, что значение коэффициента теплопроводности по сравнению с заданными значениями коэффициентов исходных компонентов In и Sb занимают промежуточное положение.

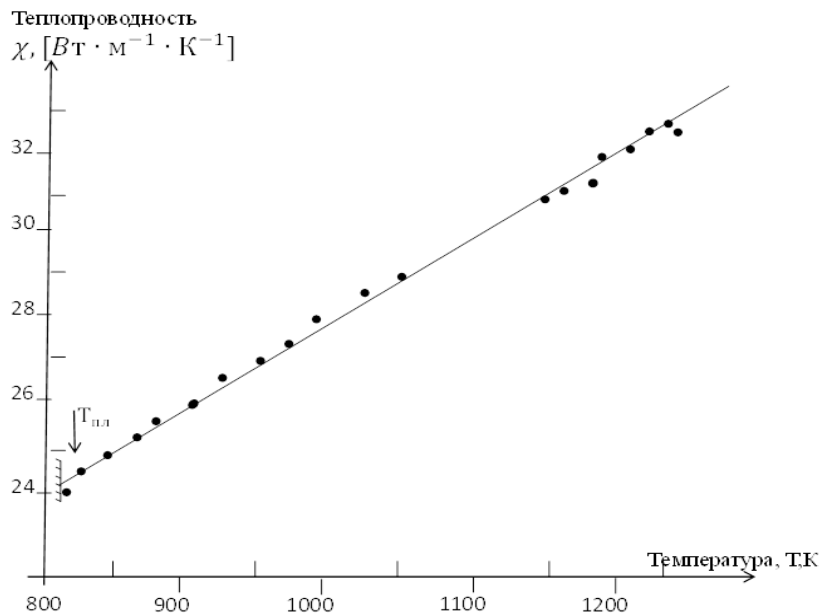


Рисунок 9. Температурная зависимость теплопроводности $InSb$.

Известно, что в чистом In имеет для χ следующее значение: $\chi = 36,3 \frac{Вт}{м \cdot град}$, а для Sb имеет: $\chi = 26,2 \frac{Вт}{м \cdot град}$. Как видно из таблицы, с повышением температуры наблюдается рост коэффициента теплопроводности (рисунок 9).

Далее мы рассчитали коэффициент термо-эдс. Полученные данные приведены в таблице 3. Как видно, вычисленный коэффициент термо-эдс с повышением температуры имеет тенденцию к увеличению [1-А, 12-А-23-А].

После плавления, наблюдается совпадение данных коэффициента термо-эдс, а при дальнейшем нагреве расплава ход противоположен. Эту противоречивость можно объяснить тем, что данные по концентрации носителей мы брали по коэффициенту Холла, где знак носителей является

отрицательным, т. е. расчеты соответствуют электронному процессу, а фактически из-за положительного знака можно сказать, что носителями являются положительные ионы металла. Так как коэффициент Холла является аномальным, то для определения знака носителей служит знак термо-эдс. В отличие от кристаллических металлов, при постоянном значении коэффициента Холла, коэффициент термо-эдс с ростом температуры уменьшается в жидком антимониде индия и, по-видимому, происходит сильное электронно-ионное взаимодействие, вследствие чего уменьшается подвижность и соответственно электропроводность расплава. Так как произведение волнового вектора на длину свободного пробега носителей для жидких металлов должно удовлетворять условию $kL \gg 1$, что соответствует и нашему случаю. Поэтому коэффициент Холла должен быть меньше, чем рассчитанные значения по теории свободных электронов. Действительно, если учесть, что для металлов концентрация носителей заряда равно 10^{23} см^{-3} то расчёты показывают $R_0 = 6,25 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{Кл}$, а в нашем случае экспериментальные данные имеют большее значение по сравнению со значением данного R_0 . В закономерном формировании структуры ближнего порядка элементарных расплавов вопросы диффузии и самодиффузии играют далеко не последнюю роль. В этой связи рассмотренный коэффициент диффузии в жидких металлах и полупроводниках представляет интерес с двух точек зрения. Во-первых, проблема диффузии в расплавах тесно связана с представлениями об их строении и, во – вторых, правильная ориентация в теоретических построениях по самодиффузии жидких состояний вообще даёт возможность выбрать реальные пути оценки диффузионных констант в электронных расплавах, поскольку экспериментальное решение вопроса пока ещё наталкивается на серьёзные препятствия. С учётом микроскопической природы диффундирующих частиц принимается, что к движению микрочастицы применимо соотношение Эйнштейна, связывающее коэффициент диффузии D с подвижностью μ :

$$D = k_B \cdot T \cdot \mu_\alpha \quad (11)$$

Полученные результаты показывают, что имеется определенная закономерность в жидком InSb, в интервале температур 810 – 1240К (рис. 10). Как видно на рисунке 10, коэффициент диффузии имеет тенденцию к увеличению, что вполне соответствует теории. Однако для ряда веществ, в частности, полупроводников и ионных соединений, отношение μ/D в три раза больше, чем это следует из (11). Такое отклонение связывается с образованием комплексов заряженных частиц.

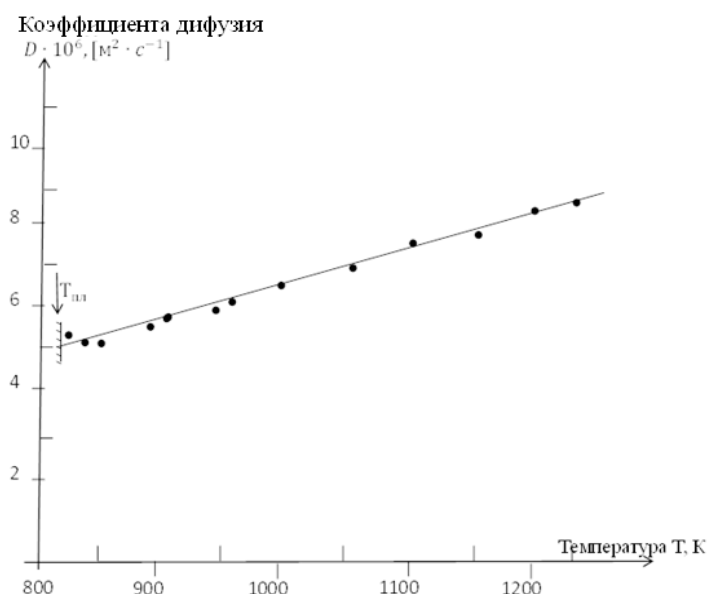


Рисунок 10. Температурная зависимость коэффициента диффузии в жидкой InSb

В нашем случае, если рассматривать InSb как жидкий металл, то коэффициент диффузии должен быть равен значению порядка $2 \div 3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{сек}$, т. е. это величина такова, как и для простых жидких металлов. Видимо, в бинарных жидкостях образование комплексов или кластерообразных комплексов может влиять на физические свойства. Поэтому несоответствие числовых значений жидкого InSb, можно связать с процессом кластерообразования. Согласно литературных данных, образование кластеров сопровождается частичным разрывом связей между атомами. Зону кластерных разрывов можно рассматривать как зону своеобразных динамических дефектов. Учитывая рассеивание носителей проводимости, можно оценить скачок проводимости при плавлении [11-А, 19-А].

Если считать, что области межкластерных разрывов являются непроводящими, то их появление будет аналогично уменьшению площади сечения образца. В этом случае:

$$\left(\frac{\sigma_{\text{ж}}}{\sigma_{\text{ТВ}}}\right)_{T_{\text{пл}}} = S_{\text{ж}} - S_{\text{р}} \quad (12)$$

Где $S_{\text{ж}}$ — отношение числа квантов между кластерами, приходящимися на единицу площади в жидком металле при $T_{\text{пл}}$ к условному числу контактов между кластерами, которые принимаем за единицу. $S_{\text{р}}$ — площадь межкластерных разрывов на единицу площади сечения металла.

На основе соотношения (12) мы оценивали непроводящую область при плавлении InSb. Мы получили $S_{\text{ж}} - S_{\text{р}} = 12,5$ при температуре плавления. Из сравнения наших данных (для бинарных жидкостей) с результатами полученных для простых жидкостей следует, что отношение электропроводности при $T_{\text{пл}}$ для бинарных жидкостей, и особенно для металлизующихся полупроводников намного больше, чем для обычных простых металлов. К примеру, для In: $(\rho_{\text{ж}}/\rho_{\text{ТВ}}) = 2,18$, для Sb, $(\rho_{\text{ж}}/\rho_{\text{ТВ}}) = 0,61$.

Нами были экспериментально исследованы электропроводность, термо – эдс и коэффициента Холла образцов антимонида индия, легированного серебром.

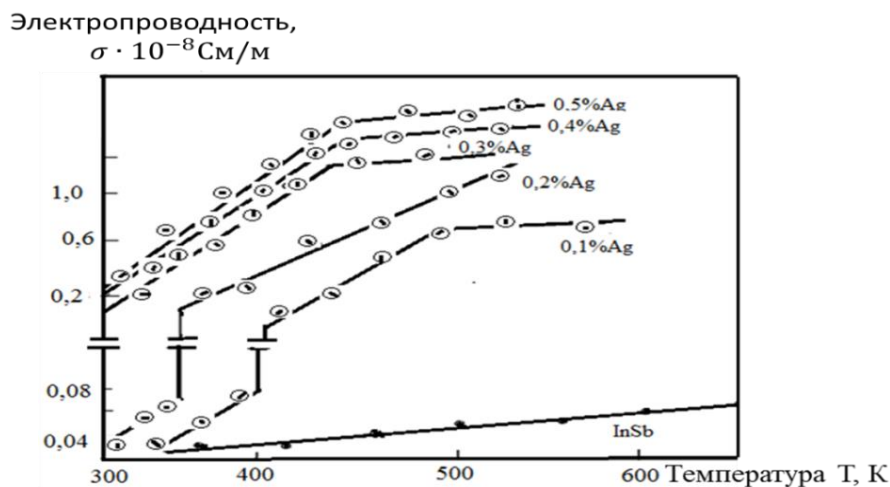


Рисунок 11. Температурная зависимость электропроводности антимонида индия, легированного серебром.

Измерение электрофизических параметров проводились от комнатной температуры до 600К. Показано, что электропроводность образцов антимонида индия, легированных соответственно 0,1 масс. % Ag, 0,2 масс. % Ag, 0,3 масс. % Ag , 0,4 масс. % Ag, 0,5% масс. % Ag в диапазоне температур 300–600К имеют линейную зависимость и с увеличением процентного соотношения серебра в антимониде индия, электропроводность увеличивается (рис. 11) [1-А - 4-А, 12-А - 23-А]. По - видимому, в проводимости антимонида индия, кроме собственных носителей заряда, существенную роль играют и ионы серебра. Для всех образцов наблюдается полупроводниковый характер проводимости. Нами была рассчитана ширина запрещённой зоны, по данным электропроводности. Ими оказались:

$\Delta E_g^\sigma = 0,047$ эВ ;	InSb + 0,1 масс.% Ag;
$\Delta E_g^\sigma = 0,044$ эВ ;	InSb + 0,2 масс.% Ag;
$\Delta E_g^\sigma = 0,031$ эВ ;	InSb + 0,3масс. % Ag;
$\Delta E_g^\sigma = 0,027$ эВ ;	InSb + 0,4 масс. % Ag;
$\Delta E_g^\sigma = 0,025$ эВ ;	InSb + 0,5 масс. % Ag.

Ширина запрещенной зоны с увеличением содержания примеси серебра уменьшается.

Как видно на рисунке 12, температурная зависимость термо-эдс и константа Холла качественно согласуются между собой.

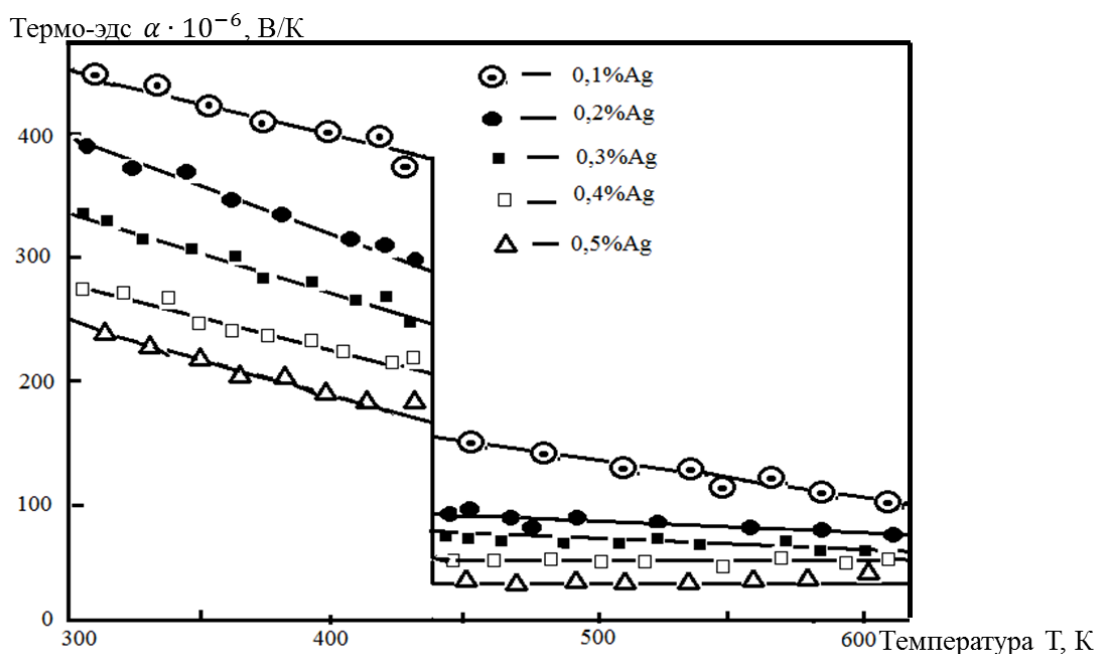


Рисунок 12. Температурная зависимость термо-эдс антимионида индия, легированного серебром

Измерение коэффициента термо-эдс показывает, что образцы InSb, легированные серебром, имеют более высокое значение термо-эдс (α) при комнатной температуре, т.е. при дальнейшем нагреве коэффициенты термо-эдс уменьшаются вплоть до температуры 450К.

$\alpha_1 = 450$ мкВ/К;	InSb + 0,1 масс. % Ag;
$\alpha_2 = 390$ мкВ/К;	InSb + 0,2 масс. % Ag;
$\alpha_3 = 210$ мкВ/К;	InSb + 0,3 масс. % Ag;
$\alpha_4 = 105$ мкВ/К;	InSb + 0,4 масс. % Ag;
$\alpha_5 = 87$ мкВ/К ;	InSb + 0,5 масс. % Ag.

Далее данный коэффициент почти остаётся постоянным (рис. 12).

Как видно, состав InSb + 0,1 масс. %Ag имеет наиболее лучшую термо-эдс, нежели InSb + 0,2 масс. %Ag, InSb + 0,3 масс. %Ag, 0,4 масс. %Ag, InSb + 0,5 масс. %Ag.

Наши результаты показывают, что добавка 0,1 % масс. %Ag; 0,2 масс. %Ag и 0,3 масс. %Ag при комнатной температуре не влияет на знак носителей заряда монокристаллического антимионида индия, влияет на знак носителей заряда монокристаллического антимионида индия.

Численные значения α при ~ 350 К составляет $200-300 \frac{\text{мкВ}}{\text{К}}$, и с повышением температуры до 450К наблюдается уменьшение термо-эдс. При 500К коэффициент термо-эдс имеет значение $(4 \div 6)$ мкВ/К, и при дальнейшем нагреве наблюдается почти постоянство термо-эдс.

Что касается знака носителей в антимиониде индия с содержанием 0,1 масс. % Ag, 0,2 масс. % Ag, 0,3 масс. % Ag, 0,4 масс. % Ag и 0,5 масс. % Ag, инверсия знака не наблюдается. Коэффициент термо-эдс имеет отрицательный

знак. С увеличением процентного соотношения серебра в антимониде индия численные значения коэффициента термо-эдс уменьшаются. А также ход температурной зависимости коэффициента термо-эдс показывает, что с ростом температуры сначала до $\sim 500\text{K}$ и при дальнейшем нагреве до 600K остаётся почти постоянным. Следует отметить, что образцы InSb с содержанием $0,1\text{масс. \% Ag}$ имеет более высокое значение коэффициента термо-эдс, которое могут играть важную роль в изготовлении термодатчиков.

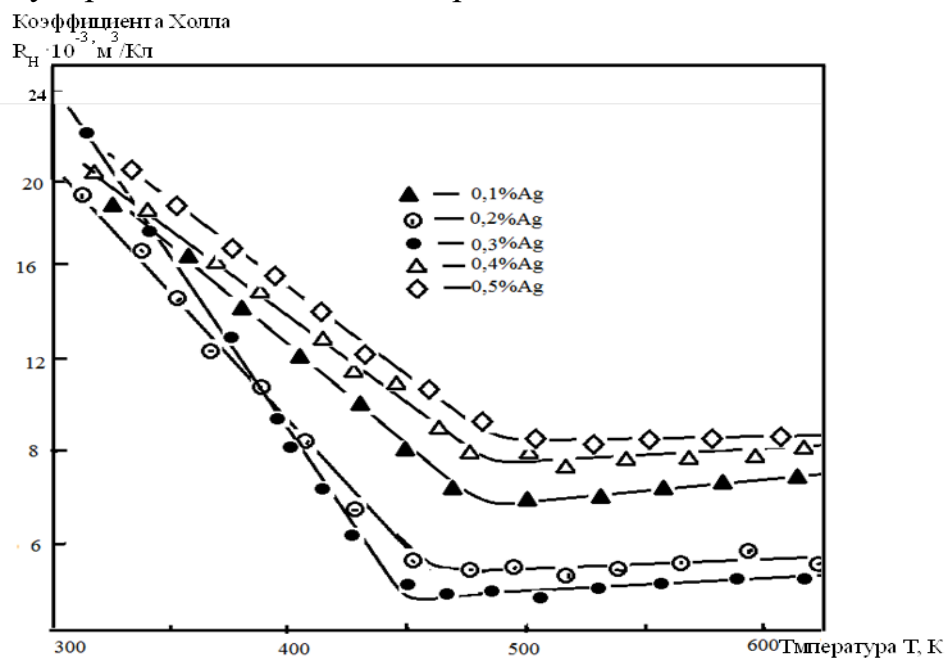


Рисунок. 13. Температурная зависимость коэффициента Холла антимонида индия, легированного серебром

Измерение коэффициента Холла показывает, что в области $300 - 450\text{K}$ наблюдается уменьшение R_H с ростом температуры (рис 13).

Численное значение R_H составляет примерно $2,2 \cdot 10^{-2} \text{см}^3/\text{Кл}$ при 300K . При комнатной температуре до $\sim 450\text{K}$ константа Холла для всех составов дают минимум значение и в дальнейшем наблюдается почти постоянство с повышением температуры. Из экспериментальных данных по $R_H(T)$, $\alpha(T)$ и $\sigma(T)$ рассчитаны некоторые важные физические параметры, так как энергия активации проводимости, концентрация и подвижность носителей заряда, отношение подвижности, теплопроводность (используя модели Катлера) и другие [1-А -7-А, 9-А-23-А].

Таким образом, можно отметить, что легированные образцы антимонида индия с добавлением серебра при температуре $300 - 600\text{K}$ имеют высокое значение электропроводности, нежели чистого антимонида индия. В образцах с содержанием $0,1 \text{масс. \% Ag}$ наблюдаются высокие значения коэффициента термо-эдс, нежели образцы с содержанием $0,2 \text{масс. \%}$, $0,3 \text{масс. \% Ag}$, $0,4 \text{масс. \%}$ и $0,5 \text{масс. \%}$. Коэффициенты термо-эдс и Холла дополняют друг друга и по знаку совпадают. Рассчитанные нами некоторые параметры представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Некоторые параметры InSb, легированного серебром при 300К.

№, п/п	Состав образцов	Концентрация $n \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$	Подвижность $\mu_n, \text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	Теплопроводность $\chi, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	Энергия Ферми $E_F \cdot 10^8, \text{эВ}$	Ширина запрещенной зоны $E^g, \text{эВ}$
1.	InSb+0,1 масс. % Ag	6,66(T=350K)	97(T=350K)	0,031	17,25	0,047
2.	InSb+0,2 масс.% Ag	6,57	324	0,027	13,62	0,044
3.	InSb+0,3 масс.% Ag	6,43	972	0,025	10,05	0,031
4.	InSb+0,4 масс.% Ag	6,34	1032	0,023	7,25	0,028
5.	InSb+0,5 масс% Ag	6,27	1121	0,022	5,62	0,025

ЗАКЛЮЧЕНИЕ**1. Основные научные результаты диссертации:**

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие основные выводы по диссертации.

1. Поиск новых материалов с высокоэффективными термоэлектрическими параметрами в твёрдой и жидкой фазах, и совершенствование путём легирования, а также термообработкой и совместного сплавления исходных компонентов является основной проблемой электронной техники. Применение полупроводниковых соединений и твёрдых растворов на их основе, легирование соединений в качестве активных материалов в современной технике сделает эту задачу перспективной [1-А - 4-А, 6-А - 9-А, 17-А 17-А, 18-А].

2. Поиск новых материалов с большими термоэлектрическими параметрами в твёрдой и жидкой фазах путём легирования, термообработки, совместного сплавления исходных компонентов является основной проблемой в превращений в электронной технике. Применение полупроводниковых соединений и твёрдых растворов на их основе, легированные материалы в качестве активных материалов в современной технике сделают эту задачу более перспективной [1-А, 3-А, 5-А, 6-А 10-А, 22-А, 23-А].

3. Исследована электропроводность и коэффициента термо-эдс и Холла в полупроводниковых материалах при низкой температуре на основе разработанного держателя в широком интервале температур в установке для исследования электрофизических и термоэлектрических свойствах [1-А, 2-А, 5-А, 6-А 16-А, 18-А, 19-А, 20-А].

4. Показана схема измерительной ячейки для исследования электропроводности, коэффициентов термо-эдс и Холла металлов и полупроводников в жидкой фазе и технологический подход, операция и процесс синтеза к подготовке образцов для измерения [1- А, 5-А, 6-А, 15-А, 16-А, 19-А].

5. Разработано установка и представляется метод синтеза, подготовки строго прямоугольной геометрической формы образцов антимонида индия и легированного серебром к измерению [1-А, 5-А, 6-А 18-А, 19-А, 23-А].

6. Впервые синтезированы образцы антимонида индия с содержанием серебра и получена температурная зависимость электропроводности, коэффициентов термо-эдс и Холла. На основе экспериментальных данных рассчитаны подвижность и концентрация носителей заряда [1-А - 3-А, 5-А, 6А, 7-А 16-А, 19-А, 23-А].

1. Рекомендации по практическому применению результатов исследования

1. Полученные экспериментальные данные и анализ коэффициентов электропроводности, теплопроводности, термо-эдс и эффекта Холла в исследованных веществ (InSb+Ag) читается высокоэффективным материалом и рекомендуется к применению в различных областях полупроводниковой и электронной техники для создания современных электронных приборов.

2. Легирующее соединение антимонида индия (InSb) с содержанием 0,1 масс.% серебром (Ag), имеет высокое значение коэффициента термо – эдс, чем у этого чистого соединения и могут играть важную роль для изготовления термодатчиков.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1) Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

[1-А]. **Баротов Н.И.**, Антимонида индия легированного серебром. /Баротов Н.И.// Вестник Таджикского Национального университета, Серия естественных наук – Душанбе, 2021. № 2 – с. 196-206.

[2-А]. **Баротов Н.И.** Применение М-модели к описанию жидкого антимонида индия. /Баротов Н.И, Гафоров С. //Вестник Таджикского Национального университета, Серия естественных наук. - Душанбе, 2021. №3 – с. 224-234.

[3-А]. **Баротов Н.И.** Современные модели металлов и полупроводников в твердом и жидком состоянии. /Баротов Н.И., Ситамов С., Гафоров С., //Научно-медицинский журнал, Хатлонского государственного медицинского университета, - Дангара, 2021.-№ 10 (2), - с. 136 – 140.

[4-А]. С.К. Каримов, С. Гафоров, Н.И. Баротов, У.А. Гулматов. Исследование электрофизических свойств чистого и легированного антимонида галлия железом в зависимости от температуры. /С.К. Каримов, С. Гафоров, //Н.И. **Баротов**, У.А. Гулматов. Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал) 1/4(168) – Душанбе, 2015 - с. 97-101.

[5-А]. Гафоров С., Шарипов А. П., Баротов Н.И.. Электрофизические и термодинамические свойства антимонида галлия и легированные образцы вблизи температуры плавления в твердом и жидком состоянии., / Гафоров С., Шарипов А. П., **Баротов Н.И** Вестник Таджикского национального университета Серия естественных наук, 2023. № 4. ст.133- 146.

[6-А]. Баротов Н.И., С. Гафоров. Влияние серебра на электрофизические свойства антимонида индия. /**Баротов Н.И.**, С. Гафоров. //Вестник Дангаринского государственного университета, Серия естественных наук 2022/ №1 (1 9) ст. 109-116.

[7-А]. Гафоров С., Баротов Н. И.. Температурные зависимости электрофизические свойства халькогенидов серебра. / Гафоров С., **Баротов Н. И.** //Вестник Дангаринского государственного университета, Серия естественных наук 2023/ №1 (23) ст. 96-107

Патент:

[8-А]. Каримов С.К., Баротов Н.И., Универсальная установка для очистки цветных металлов, синтеза и получения кристаллов полупроводниковых соединений. /С.К. Каримов, Н.И. Баротов // Заявка №1400905, на изобретение выдан малый патент ТД. №710. МПК С30 В13/06; С30В13/16, зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 16 июля 2015г. – Душанбе, 2015.

Публикация в других изданиях:

2) Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:

[9-А]. **Н.И. Баротов**, С. Гафоров. Физико-химические свойства соединений антимонида индия и антимонида индия легированного серебром. /**Н.И. Баротов**, С. Гафоров// Институт технологий и инновационного менеджмента в городе Куляб, научно – популярный журнал, «Наука и технология XXI века» №2(1) - Куляб, 2020 - с. 48-55.

[10-А]. Штерн Ю.И., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Собирова У. Электропроводность, термо-эдс и эффект Холла в антимониде галлия, легированного железом. / Штерн Ю.И., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Собирова У.//, Вестник Курган-тюбинского государственного университета имени Носира Хусрава, научный журнал , 2/2 (54) - Бохтар-2018, -с. 46-47.

[11-А]. Каримов С.К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Барическая зависимость магнетосопротивления InSb в условиях всестороннего сжатия. / Каримов С.К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, //Вестник Курган-тюбинского государственного университета имени Носира Хусрава, 2/2 (54) – Бохтар, 2018.- с. 27-28.

[12-А]. Каримов С.К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Электрофизические свойства антимонида галлия (GaSb), легированного хромом (Cr). / Каримов С.К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**//, Вестник Курган-тюбинского государственного университета имени Носира Хусрава 2/1 (52). – Бохтар, 2018. с. 29-33.

[13-А]. С. Ситамов, Н.И. Баротов, Ш.И. Холов. Изменение эффективной массы и некоторые физические свойства соединения $A^{III}Sb$ в твердом и жидком состоянии. /С. Ситамов, **Н.И. Баротов**, Ш.И. Холов // Симург - Научно медедсинский журнал 1'2019, Ежеквартальное издание Хатлонского государственного медетсинского университета - Дангара, 2019. - с. 46-51.

[14-А]. Кальцов А.Ш., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Шарипов А. П. Некоторые физические свойства чистых и легированных GaSb, GaSb+Cr, GaSb+GaAs. / А.Ш. Кальцов, С. Гафоров, **Н.И Баротов.**, А.П. Шарипов//, VI-ая международная научно теоретическая конференция: «Физико-химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов». Рес. Таджикистан г. Куляб, 25-27 декабря 2013 – Куляб, 2014, с. 6-8.

[15-А]. Айвазов А.А., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Собирова У. Экспериментальное исследование электропроводность и термо-ЭДС в $Bi-ViMn$. / А.А. Айвазов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов**, У. Собирова //VI-ая международная научно теоретическая конференция: «Физико-химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов». Рес. Таджикистан г. Куляб 25-27 декабря 2013 - Куляб, 2014, с. 39-40.

- [16-А]. Штерн Ю.И., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Собирова У. Электропроводность, термо-ЭДС и эффект Холла в антимониде галлия легированного железом. / Ю.И. Штерн, С. Гафоров, **Н.И. Баротов**, У. Собирова //VI-ая международная научно теоретическая конференция: «Физико- химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов». Рес. Таджикистан, г. Куляб 25-27 декабря 2013 – Куляб, 2014, с. 41-44.
- [17-А]. Каримов С. К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Технологические процессы получения полупроводниковых материалов в космосе. / С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов** // VI-ая международная научно теоретическая конференция: «Физико- химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов». Рес. Таджикистан г. Куляб 25-27 декабря 2013 – Куляб, 2014 - с. 65-70.
- [18-А]. Каримов С. К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Механизм формирования неоднородности в $INSb$. /С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов** //,VI-ая международная научно теоретическая конференция: «Физико- химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов». Республики Таджикистан г. Куляб 25-27 декабря 2013 – Куляб, 2014. - с. 82-85.
- [19-А]. Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Применение м-модели к описанию расплава антимонида индия. /Гафоров, **Н.И. Баротов** //Материалы республиканская научно-теоретическая конференция «Актуальные проблемы науки и образования в условиях глобализации» в честь 75-летия Кулябского государственного университета имени А. Рудаки, (часть 1) - Куляб, 2020 - с. 133-138.
- [20-А]. Каримов С. К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Исследование электрофизических свойств в расплавах халькогенидов серебра. //С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов** //, Материалы республиканская научно-теоретическая конференция «Актуальные проблемы науки и образования в условиях глобализации» в честь 75-летию Кулябского государственного университета имени Абуабдулло Рудаки, (часть 1) – Куляб, 2020 - с. 22-26.
- [21-А]. Каримов С.К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Ситамов С. Обоснование металлизации жидкого антимонида индия. /С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов**, С. Ситамов. //Материалы международной научно практической конференции ГОУ Хатлонского государственного медицинского университета (1-я годовичная), посвященной «Годом развития села, туризма и народных ремёсел (2019-202.)», 25 декабря 2020 - Дангара, с. 359-364.
- [22-А]. **Н.И. Баротов**, С.К. Каримов, С. Гафоров, С. Ситамов. Электрофизические свойства антимонида индия и антимонида индия легированного серебром. /**Н. И. Баротов**, С.К. Каримов, С. Гафоров, С.

Ситамов. //Материалы международной научно практической конференции ГОУ Хатлонского государственного медицинского университета (1-я годовичная), посвященной «Годом развития села, туризма и народных ремёсел (2019-2020.)», 25 декабря 2020 - Дангара, 2015 - с. 276-278.

[23-А]. Баротов Н.И. Интерпретация М-модели к описанию расплава жидкого антимонида индия. / **Баротов Н.И.** //Материалы международной науочно – практической конференции «Развитие математических, точных и естественных наук в современных условий: проблемы и перспективы» Дангара 28 – 29 апреля 2023 года: «Мулквар», 2023, ст. 303-311

ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДОНИШГОҶИ ДАВЛАТИИ ДАНҒАРА

УДК:539.1.074.55:546.76(540)

ББК:31.233:24.125(2И)

Б-27

Ба ҳуқуқи дастнавис

Баротов Намозкул Иноятович

***ТАҲҚИҚИ БУЗУРГИҶОИ ФИЗИКИВУ ХИМИЯВИИ
МАВОДҶОИ НИМНОҚИЛИИ ҶАВҶАРОНИДАШУДА
ДАР АСОСИ АНТИМОНИДИ ИНДИИ
А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И***

рисолаи номзадӣ барои дарёфти дараҷаи илмии номзади
илмҳои химия аз рӯи тахассуси 02.00.04 – Химияи физикӣ

Душанбе -2024

Рисола дар кафедраи физикаи умумӣ ва назариявии Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абӯабуллоҳи Рӯдакӣ анҷом дода шуд.

Роҳбари илмӣ:

Ғафоров Сатор - номзади илмҳои физика-математика, дотсент кафедраи физикаи умумӣ ва назариявии Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абӯабуллоҳи Рӯдакӣ

Муқарризони расмӣ:

Раҷабов Умарали – доктори илмҳои химия профессори кафедраи кимиёи фармасевтии ва заҳршиносии МДТ “Донишгоҳи давлатии тиббии Тоҷикистон ба номи Абуалӣ ибни Сино”

Бердиев Асадқул Эгамович – доктори илмҳои техникӣ, профессори кафедраи кимиё ва биологияи Донишгоҳи (Славянии) Россия ва Тоҷикистон

Муассисаи пешбар:

Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Дифоъ рӯзи "23. 05. 2024" соати "10⁰⁰" дар ҷаласаи Шурои диссертатсионии **БД. КОА-010**-и назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон баргузор мегардад. Суроға: 734025, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17, Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, бинои асосӣ, толори Шурои диссертатсионӣ, ошонаи 2. **E-mail: kfk1964@mail.ru**

Бо матни рисолаи номзадӣ дар сомонаи [www. tnu.tj](http://www.tnu.tj) ва китобхонаи марказии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон шинос шудан мумкин аст. Суроға: 734025, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17.

Автореферат " _____ " _____ 2024 фиристода шуд.

Котиби илмии Шурои диссертатсионӣ:
доктори илми химия, и. в. профессор



Раҷабов С. И.

Тавсифи умумии диссертатсия

Муборамӣ ва зарурати баргузории таҳқиқот. Сохт ва хосиятҳои умумии металлҳои моеъ ва нимноқилҳо, ки моҳияти калони назариявӣ ва амалӣ доранд, дар замонҳои мо то дараҷаи кофӣ омӯхта шуда бошанд ҳам, дар соҳаи физика ва химиявии нимноқилҳо саволҳои пайдо гардидаанд, ки онҳо дар ҷабҳаҳои гуногун мушкилиҳоро ба миён овардаанд. Махсусан, равандҳои гудозиш ва булурбандӣ, ки равандҳои ҳамабоби ҳосил намудани маводҳои металлӣ ва нимноқилӣ мебошанд, ҷустуҷӯ ва омӯзиши хосиятҳои физикиву химиявии маводҳои нави нимноқилӣ дар ҳолатҳои сахтӣ ва моеъгӣ мушкилоти худро доранд. Илова бар ин сохтани асбобҳои баландсифат ва боэътимоди техникаи электронии муосир ҷиҳати дар оянда истифода намудани онҳо, омӯзиши бузургҳои муҳими нимноқилиро ба монанди: концентратсия ва ҳаракатнокии ҳомилони заряд, муайян намудани аломати зарядҳо, васеъгии зонаи манъкунанда, энергияи ғайол ва дигарҳоро талаб мекунанд.

Дараҷаи омӯхташуда ва масъалаи илмӣ. Дар диссертатсия таҳқиқи комплекси хосиятҳои электрофизикӣ, технологӣ ва термоэлектрикии нимноқилҳо дида баромада мешавад. Маълум аст, ки моддаҳои химиявӣ дар ҳароратҳои баланд ғайолияти баланди химиявӣ доранд ва дар чунин шароит омӯختани дилҳоҳ параметри физикӣ хеле душвор аст. Сарфи назар аз мураккабии равандҳо, таҳқиқот дар соҳаи гуногуни сохтори гурӯҳҳои системаи даврии Д.И.Менделеев диқатҷабкунанда буда, аз як тараф, дар робита бо татбиқи амалии унсурҳои ғайоли дастгоҳҳои электронӣ, инчунин ба мақсади хурд намудани андоза ва ҳаҷми онҳо, аз тарафи дигар, ин барои сохтани назарияи умумӣ фазаи моеъ дар соҳаи пеш аз гудохташавӣ ва баъди гудоختан, талаботи илм маҳсуб меёбад.

Таҳлили зикргардида масъалаи асосии таҳқиқот буда, роҳҳои ҳал ва истифодаи амалии пайвастагиҳои химиявӣ имкон медиҳад, ки нуқтаҳои асосии кори диссертатсиониро ифода намоем.

Дар кори диссертационӣ масъалаҳои дар боло номбаршуда, таҳқиқи усулҳои полош (синтез)-и пайвастагиҳо, дар асоси таҳқиқи комплекси хосиятҳои маҳлулҳои сахт, ҳолати ҷавҳоридашуда ва буришҳои квазибинарӣ дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ ҳалли худро ёфтанд.

Пойгоҳи асосии иттилоот ва озмоишгоҳи таҳқиқот: Кор дар кафедраи физикаи умумӣ ва назариявии Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абӯабдуллоҳи Рӯдакӣ дар асоси мавзӯи кафедравӣ –“Таҳқиқи сохт ва хосиятҳои физико-химиявии нимноқилҳо дар ҳудудҳои васеи ҳарорат” иҷро карда шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот. Ба мақсади ҳаматарафа мукамалгардонии технологияи истехсолӣ ва беҳтар намудани сифат ва эътимоднокии асбобҳо, таҳқиқот комплекси хосиятҳои физикиву химиявии маводҳои нимноқилӣ талаб карда мешавад. Инчунин ҳадафҳои дар ҳалли масъалаи нимноқилҳои ҷавҳаронидашуда, ки узви ҷудонашаванда дар ин қисмат мансуб меёбанд, яке аз масъалаҳои асосии ҳалталаб ба ҳисоб меравад.

Масъалаҳои таҳқиқот:

1. Таҳқиқи ҳамачонибаи вобастагии ҳароратии ҳосиятҳои физикиву химиявии пайвастагиҳои намуди A_3B_5 , ҳангоми гузариш аз ҳолати сахтӣ ба моеъгӣ ва дар ҳолати ғудохта бо истифода аз усулҳои анъанавии электрикугузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва эффекти Холл;
2. Ҷустуҷӯи маводҳои нави баландсифат тавассути ҳулаҳо барои истифода дар соҳаи термоэлектрикӣ ҳамчун маводи фаъоли термоэлементҳо, термогенераторҳо ва дигар асбобҳои нимноқилӣ;
3. Тавсифи ҳосиятҳои электрофизикии ғудохтаҳои нимноқилӣ аз рӯи моделҳои гуногуни ғудохтаҳои электронӣ;
4. Коркарди усул ва дастгоҳи бозътимоди баландҳарорат барои таҳқиқи дақиқи бузургҳои электргузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва эффекти Холл дар ғудохтаҳои нимноқилӣ;
5. Омӯзиши таҷрибавии зарибҳои электрикугузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холл дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ дар пайвастагиҳои нимноқилии гуруҳҳои сохтори гуногун ва дар асоси онҳо ҳулаҳои квазибинарӣ;
6. Таҳлили моделҳои муосири системаҳои бетартиб тибқи назари фаҳмондадиҳии имкониятҳо аз рӯи қимати мутлақ ва вобастагии ҳароратии ҳосиятҳои физикиву химиявӣ дар асоси таҳқиқоти комплекси тавсифҳои галваномангнетикӣ, электрофизикӣ ва термоэлектрикӣ;
7. Муайян намудани соҳаи татбиқи антимонидҳои нави бинарӣ ва буришҳои квазибинарии антимонидҳо дар техникаи электронӣ;
8. Омӯзиши бузургҳои кинетикӣ, робитаи онҳо ба ҳосиятҳо ва таркиби намунаҳои $InSb$ ва $InSb+Ag$ бо мақсади ба даст овардани маводи термоэлектрикии самаранокии баланддошта;
9. Полош (синтез) ва ҳосил намудани намунаҳои антимониди индӣ бо нукра ҷавҳаронидашуда ($InSb+Ag$) ва ба даст овардани маълумоти нави таҷрибавӣ оид ба зарибҳои электргузарӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холл дар намунаҳои тоза ва ҷавҳаронидашуда.

Объекти таҳқиқот: Элементҳои химиявии индӣ, тамғаи $In - 00$, сурма (Sb) тамғаи $Su-00$, нукра тамғаи $Ag - 00$ -ро бо истифода аз роҳҳои технологӣ полош (синтез) намуда, намунаҳои пайвастагиҳои антимониди индӣ ва антимониди индӣ бо нукра ҷавҳаронидашуда интиҳоб гардиданд. Корҳои таҷрибавӣ дар намояндаи пайвастагиҳои нимноқилии бинарии навӣ A_3B_5 дар намунаҳои интиҳобшуда. Омӯзиши ҳосиятҳои физикиву химиявӣ ва вобастагии ҳароратии бузургҳои электрофизикӣ, қэҳ-и гармоӣ ва эффекти Холл дар шакли тоза ва ҷавҳаронидашудаи дар ин намунаҳо.

Мавзӯи таҳқиқот: Омӯзиши диаграммаҳои ҳолати пайвастагиҳои бинарии намуди A_3B_5 , такмили қисмҳои дастгоҳҳои таҷрибавӣ, таҳқиқи комплекси ҳосиятҳои электрофизикӣ, термоэлектрикӣ, термодинамикӣ ва дар асоси онҳо бо истифода аз моделҳои гуногуни электронии муосир муайян намудани механизми электрикугузаронӣ, эффекти Холл ва қэҳ-и гармоӣ дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ, омӯзиши вобастагии ҳосиятҳои нимноқилҳои ҷавҳаронидашуда.

Навгониҳои илми таҳқиқот.

1. Аввалин маротиба намунаҳои антимониди индӣ бо нуқра аз 0,1 % масс. то 0,5 % масс. ҷавҳаронидашуда полош (синтез) карда шуда, вобастагии ҳароратии бузургҳои асосии электрофизикии ин намунаҳо, аз ҷумла зарбҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармӣ ва Холл муайян карда шудааст.

2. Аввалин маротиба таҳқиқоти муштаракӣ хосиятҳои электрофизикии зарбҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармӣ ва Холл дар намунаҳои антимониди индӣ ва антимониди индӣ бо нуқра ҷавҳаронидашуда дар ҳолатҳои сахтӣ ва моеъгӣ дар ҳароратҳои баланд гузаронида шуда, дар асоси маълумоти таҷрибавӣ консентратсия ва ҳаракатнокии зарядҳоро ҳисоб карда шудааст.

3. Аввалин маротиба таҳқиқи хосиятҳои моддаҳо дар асоси моделҳои электрони гуногуни муосири пешниҳод намудаи М. Катлер ва назарияи классикии электронҳои озод таҳлили миқдорӣ гардидааст.

4. Дар асоси таҷриба, ҳисобкуниҳо ва маълумот асоснок карда шудааст, ки пайвастагии гурӯҳи A_3B_5 дар ҷузъияти антимониди индӣ (InSb) ва ҳолати бо нуқра ҷавҳаронидашудаи он (InSb+Ag) дар ҳолати сахтӣ нимметалл ва дар ҳолати гузариш аз сахтӣ ба моеъгӣ нимметалл - металл гурӯҳбандӣ гардидааст.

5. Муайян карда шудааст, ки электрикгузаронии антимониди индӣ ҷавҳаронидашуда (InSb+Ag) нисбат ба пайвастагии тозаи он (InSb) баландтар буда, миқдори 0,1 % масс. бо нуқра ҷавҳаронидашудаи ин пайвастагӣ зарбӣ баланди қэҳ-и гармӣ дорад ва ба сифати элементи ғайрибарои сохтани датчикҳои ҳароратӣ мусоидат мекунад.

Аҳамияти назариявӣ ва амалии таҳқиқот: Таҳлили миқдории татбиқи моделҳои назариявӣ М.Катлер, Н.Ф.Мотт, Андерсон, ки хосиятҳои физикии ғудохтаҳои нимноқилҳои таҳқиқшаванда ва моддаҳои табиати физикӣ ва химиявӣ якхела доштара тавсиф медиҳад. Маълумоти миқдорие, ки оид ба хосиятҳои физикию химиявӣ нимноқилҳо дар асоси маҳлулҳои сахти тадқиқшуда ба даст оварда шудаанд, барои ихтироъкорони асбобҳои электронӣ ва технологҳо дар бобати ба вуҷуд овардани технологияи истехсолӣ ва истифодаи мавод дар асбобҳои нимноқилӣ таваҷҷуҳи калон доранд.

Маълумоти овардашуда оид ба зарбҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармӣ ва Холл барои намунаҳои антимониди индӣ (InSb) ва антимониди индӣ бо нуқра ҷавҳаронидашуда (InSb+Ag) қиматҳои аниқ ва боварибахш буда, аз татбиқи амалӣ доштани ин намунаҳои пайвастагӣ дар датчикҳои ҳароратӣ дарак медиҳад. Таҷрибаҳои гузаронидашуда, ки дар асоси моделҳои назарияи электронӣ таҳлил гардидаанд, моҳияти амалии корро фаҳмонида, пешниҳод гардидани намунаи антимониди индӣ бо иловаи 0,1% масс. нуқра ҳамчун элементи ғайрибарои сохтани датчикҳои ҳароратӣ, татбиқи амалӣ доштани намунаи антимонида индӣ бо нуқра ҷавҳаронидашударо мефаҳмонад.

Нуктаҳои химояшавандаи диссертатсия:

1. Аввалин маротиба полош (синтез)-и намунаҳои антимониди индий бо нукра ба миқдори аз 0,1 % масс. то 0,5 % масс. ҷавҳаронида шуда ва зарбҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармӣ ва Холл ҳисоб карда шудааст.

2. Дар асоси маълумоти таҷрибавӣ концентратсия, ҳаракатнокии зарядҳо ҳисоб карда шуда, аломати зарядҳо муайян гардида, таҳқиқоти муштараки хосиятҳои электрофизикии зарбҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармӣ ва Холл дар намунаҳои антимониди индий(InSb) ва антимониди индийи бо нукра ҷавҳаронидашуда (InSb+Ag) дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ гузаронда шудааст.

3. Аввалин маротиба таҳлили миқдории таҳқиқотии хосиятҳои физика-химиявии антимониди индий(InSb) ва антимониди индийи бо нукра ҷавҳаронидашуда (InSb+Ag) дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ дар асоси моделҳои электрони муосири пешниҳоднамудаи М. Катлер, Н. Мотт ва назарияи классикии электронҳои озод гузаронида шудааст.

4. Дар асоси таҷриба ва ҳисобкунӣ маълумоти асосноки пайвастагиҳои гурӯҳи A_3B_5 дар ҷузъияти антимониди индий ва ҳолати бо нукра ҷавҳаронидашудаи он муайян гардидааст, ки; дар ҳолати сахтӣ – нимметалл, ҳангоми гузариш аз ҳолати сахтӣ ба моеъгӣ – нимметалл-металл ва муайян гардидааст, ки намунаи антимониди индийи ба миқдори 0,1 % масс. бо нукра ҷавҳаронидашуда зарби баланди қэҳ-и гармӣ дорад ва ҳамчун элементҳои фаъол барои сохтани датчикҳои ҳароратӣ мусоидат мекунад.

Дарҷаи эътимоднокии натиҷаҳо. Аз рӯи қиматҳои электрофизикӣ ва термоэлектрикии таҷрибавӣ ҳосилшуда ва усули таҳқиқот, стандарт будани асбобҳои навъи В7-21, В7-21А, трансформатори РНО-250 ва ғайраҳо; ҳосил кардан ва ба даст овардани натиҷаҳои боварибахши таҷрибавӣ дар ҳудудҳои васеи ҳарорат; ҷустуҷӯ ва пайдо намудани унсури самаранокии баланддошта ва фаъол, ки барои сохтани асбобҳои электронӣ тасдиқ гардидааст.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи илмӣ ихтисосӣ.

Пайвастагиҳои нимноқилии бинарии навъи A_3B_5 , дар намунаҳои, антимониди индий (InSb) ва антимониди индийи бо нукраҷавҳаринидашуда (InSb+Ag) таҳти омӯзиш қарор дорад. Таҳқиқоти комплекси хосиятҳои физикӣ-химиявӣ, термоэлектрикӣ ва усулҳои методии нимноқилҳо дар доираи васеи ҳарорат, аз ҷумла фазаи моеъ гузаронда шудааст. (Мутобиқ ба бандҳои 1, 2 ва 5 аз рӯи ихтисоси 020004 – Химияи физикӣ (банди 1– Термодинамикаи химиявӣ; таълимот дар бораи мувозинати химиявӣ; термодинамикаи оморӣ; реаксияҳои термохимиявӣ; банди 2 – Кинетикаи химиявӣ; омӯзиши омилҳои бунёдӣ, ки суръати реаксияҳои химиявиро муайян мекунанд; механизмҳои равандҳои мураккаби химиявӣ, гидродинамикаи физикӣ- химиявӣ, равандҳои ҳалшавӣ ва кристаллизатсия; банди 5 – Таҳқиқи қонуниятҳои равандҳои тағйирёбии структура ва таркиби системаҳои химиявӣ дар шароити майдони беруна, ҳароратҳо ва фишорҳои фавқуллода баланд, таъсири яқҷояи физикӣ ва физикӣ-химиявӣ: раванди электро-химиявӣ дар нимноқилҳо)).

Тағйирёбии қонуниятҳои зарибҳои электрриқгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холл дар нимноқилҳо бо таъсироти гуногуни байнизарагӣ дар ҳолатҳои сахтӣ, моеъгӣ ва дар наздикии нуқтаи гудозиш ва таснифоти гудохтаҳои InSb ва намунаҳои бо нуқра қавҳаронидашудаи он (InSb+Ag) муайян қарда шудаанд. Маълум гардид, ки пайвастагии намуди A_3B_5 , дар намунаҳои антимолиди индий (InSb) ва антимолиди индии бо нуқра қавҳаронидашуда (InSb + Ag), дар ҳолати сахтӣ – нимметалл ва ҳангоми гузариш аз ҳолати сахтӣ ба ҳолати моеъгӣ ҳамчун нимметалл – металл ҳосият дорад (мутобиқ ба бандҳои 4, 9 ва 11 аз рӯи ихтисоси 02.00.04 – Химияи физикӣ (банди 4 – Назарияи маҳлулҳо оид ба таъсироти байнимолекулавӣ ва байнизарравӣ; банди 9 – Воқуниш (реаксия)-и бунёди (элементарӣ) аз ҳисоби зарраҳои фаъол ва банди 11 – Асосҳои физикӣ-химиявии равандҳои технологияи химиявӣ)).

Саҳми шахсии довталаб. Саҳми муаллиф дар он асос меёбад, ки вобаста ба самти қор адабиёти илмиро таҳлил намудааст ва аз рӯи мавзуи диссертационӣ масъалагузорӣ қарда, дастгоҳи қенкунии бузургиҳои электррфизикӣ қамъ овардааст, қиматҳои тақрибагии овардашуда қандин маротиба санқида шуда, боқарибаҳш мебошанд, натиқаҳо ва таҳлилҳо дар мақаллаҳо ва маводҳои қонференсияҳои дохиливу хориқи кишвар нашр гардидаанд.

Таъйиди диссертация. Натиқаҳои асосӣ аз рӯи мавзуи қори диссертационӣ дар қонференсияҳои байналмилалӣ ва қумҳуриявӣ муҳокима ва нашр гардидааст.

Қонференсияи қумҳуриявии илмӣ-назариявӣ дар мавзӯи “Масъалаҳои мубрами илму маориф дар мавриди қаҳонишавӣ”, баҳшида ба 75-солагии донишгоҳи давлатии Қӯлоб ба номи Абӯабдуллоҳи Рӯдақӣ ва 30 - солагии истиқлолияти Қумҳурии Тоҷикистон (Қӯлоб - 21деқабри 2019).

Қонференсияи байналқалқии илмию амалӣ қимиёи ҳосилаҳои қлитсерин: синтез, ҳосиятҳо ва қабҳаҳои истифодабарии онҳо. Донишгоҳи давлатии Данғара (2-3 деқабр 2016).

Қонфронси илми- назаряви «Нақши Донишгоҳи давлатии Қӯлоб ба номи Абӯабдуллоҳи Рӯдақӣ дар тайёр намудани мутақассисон» баҳшида ба 70-солагии Донишгоҳ (Қӯлоб- 2015),

Қонференсияи VI-уми байналмилалӣ: Асосҳои физика-химиявии ҳосил намудан ва таққиқи қомплексии ҳосиятҳои нимноқилҳо, диэлектрриқҳо ва маводҳои қомпозитсионӣ. (Қӯлоб, 25-27 деқабр-2014).

Қонференсияи илмӣ-амалии қумҳуриявӣ дар мавзуи “Проблемаҳои муосири физикаи нимноқилҳо” Қӯлоб, 17апрели 2012.

Интишори натиқаҳои диссертация. Аз рӯи натиқаҳои таққиқот 7 мақола, ки дар мақаллаҳои тақризшавандаи ҚОА-и назди Президенти Қумҳурии Тоҷикистон, 5 мақола дар мақаллаҳои илмии дохили Қумҳурии

Тоҷикистон, 10 адад фишурда ва мақолаҳо дар конференсияҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмиллалӣ нашр гардидааст.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия аз муқаддима, 4 боб, хулосаҳои таҳияшуда, 141 саҳифаи матни асосӣ, 22 тасвири график, 15 ҷадвал ва рӯйхати сарчашмаҳои истифодашуда 178 номгӯй иборат аст.

МУНДАРИЧАИ АСОСИИ ҚОР

Дар сарсухан аҳамияти вазифаҳои гузошташуда дар диссертатсия, ифодаи мухтасари ҳадафи қор, сохтори диссертатсия ва нуктаҳои ҷимояшавандаи диссертатсия зикр гардидааст.

Дар боби аввал шарҳи адабиёт, ки аз 5 қисмат ва хулоса иборат мебошад, оварда шудааст. Дар қисми якум таҳлили назарияи физикикиви химиявии маводҳои нимноқилӣ ва баъзе маълумот оид ба хосиятҳои антимониди индий, ки аз адабиёт сарчашма мегиранд, оварда шудааст.

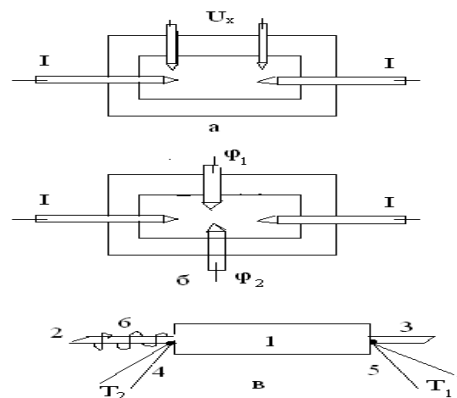
Дар қисмати дуюм маълумоти назариявӣ ва қорҳои таҳқиқотии олимон, ки оид ба хосиятҳои асосии электрофизикии пайвастагиҳои намуди A_3B_5 дар ҳароратҳои баланд, дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ гузаронидаанд, маълумот дода мешавад.

Қисмати сеюми боби мазкур оид ба моделҳои электронии муосири металлҳо ва нимноқилҳо дар ҳолатҳои сахтӣ ва моеъгӣ маълумот медиҳад. Дар қисмати чоруми ин боб, назарияи моделҳои асосии электронӣ – модели металли сохтори электронии гудохтаҳои нимноқилӣ, модели дузинагии намуди S ва вобастагии массаи эффективӣ аз вектори мавҷӣ маълумот дода мешавад. Дар қисмати панҷуми боби мазкур, оид ба тағйирёбии хосиятҳои электротермофизикии пайвастагии намуди $A^{III}B^V$ ҳангоми гудозиш маълумот оварда шудааст [1-М - 7-М, 9-М-23-М].

Боби дуюм (дастгоҳҳо ва усулҳои ҳисоб) таҳлили дастгоҳҳо ва усулҳои таҳқиқотро дар бар гирифта, аз панҷ қисмати асосӣ иборат мебошад. Қисмати аввал, бузургҳои асосии тадқиқшаванда, ки тибқи он хосиятҳои электрофизикӣ ва термодинамикии пайвастагиҳо дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ омӯхта мешаванд, дар бар мегирад. Дар қисмати дуюм маълумоти таҷрибавӣ оид ба муайян намудани бузургҳои электрофизикии пайвастагиҳои нимноқилӣ дар ҳудудҳои васеи ҳарорат сухан меравад. Қисмати сеюми боби мазкурро эффектҳои галваномангитӣ дар нимноқилҳо ишғол намудааст. Дар қисми чорум усулҳои муайян намудани паҳноии зонаи манъкунанда ва дар қисми панҷум усули тадқиқи эффекти Холл оварда шудааст. Ҳамзамон, дар инҷо навиштаҷот ва нақшаҳои принсипалии дастгоҳҳои таҳқиқотӣ: усулҳои таҳқиқот барои муайян намудани коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холл дар ҳудудҳои васеи ҳарорат, дар ҳолатҳои сахтӣ ва моеъгӣ оварда шуда, амалиёти ҳосил намудани пайвастагиҳои нимноқилӣ: полош, тоза кардан, сабзонидани монокристаллҳо, ҷавҳаронидан, коркарди гармоии намунаҳои ҳосилкардашуда, тарзи иҷрои ин амалиёт ва мавқеи асосии оташдони электрикии истифодашаванда қайд гардидааст.

Вобаста ба ин, мо барои чен кардани коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холл дар ҳолати сахтӣ то ҳарорати

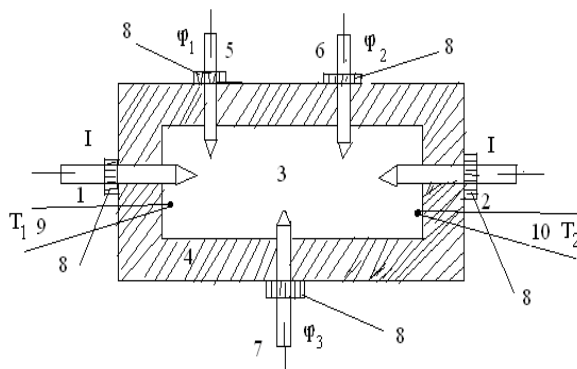
гудозиш $T_{гуд}$. қаппаки намунаи шаклҳои гуногундошта тайёр намудем, ки дар расмҳои 1 ва 2 нишон дода шудаанд.



Расми 1. Қаппаки намуна барои чен кардани коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, қэх-и гармой ва Холл дар ҳолати сахтӣ

Қаппаки мазкур, ки барои чен кардани бузургҳои электрофизикӣ истифода мешавад, то ҳарорати 1700 К аз пӯлод ва то ҳароратҳои 1100К аз маводҳои асбест ва кварс сохта мешавад.

Ин қаппаки намуна имконият медиҳад, ки дар қатори чен кардани коэффитсиенти электрикгузаронӣ боз коэффитсиентҳои қэх-и гармой ва Холлро то ҳароратҳои 1100К чен кунем. Ба ин мақсад кифоя аст, ки танҳо терморпараҳои 1-уму 2-юму ва меҳи печдори 5 ва 6-ро иваз намоем. Агар намуна шакли росткунҷаро дошта бошад, зондҳои 1-ум ва 2-юму чараёни барқро ва 5-уму 6-ум потенциалро қабул мекунанд.



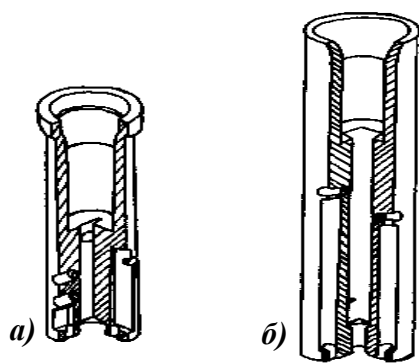
Расми 2. Нақшаи технологии қаппаки намуна барои чен кардани бузургҳои электрикгузаронӣ, қэх-и гармой ва Холл дар ҳолати сахтӣ.

Дар ҳамбастагӣ бо ин барои чен кардани бузургҳои дар ҳароратҳои баланд (то 1300 – 1500 К), мо аз ячейкаи керамикӣ тамғаи ГМ, ки аз маводи Al_2O_3 сохта шудааст, истифода намудем (расми 3).

Барои чен кардани коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ ва қэх-и гармой ячейкаи У-1 ва барои эффекти Холл ячейкаи У-2 истифода мегардад. Ҳангоми чен кардани бузургҳои электрофизикӣ дар ҳолати моеъгӣ дар ҳароратҳои баланд мо аз ячейкаи У-2 истифода намудем, чунки ченкунии коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, Холл ва қэх-и гармой дар як вақт дар давоми як таҷриба гузаронида шуданд.

Барои герматизатсия намудани ячейка, тамосҳо бо графит маҳкам карда шуда, бо хамираи махсуси дар асоси окиси алюминий тайёршуда, ки

дар ҳароратҳои баланд тобовар мебошад, молида маҳкам карда шуданд [1-М - 7-М, 9-М-12М].



Расми 3. Нақшаи ячейкаҳо барои чен кардани бузургиҳои электрофизикӣ: а – ячейкаи У-1 – барои чен кардани электрригузаронӣ ва коэффитсиенти Холл дар ҳолатҳои сахтӣ ва моегӣ; б-ячейка У-2 – барои чен кардани қэҳ-и гармоӣ дар ҳолатҳои сахтӣ ва моегӣ.

Ячейка, ки дар он намунаҳо ҷой карда мешаванд, шакли зарфи цилиндриро дорад.

Баъди коркарди термикӣ ин ячейка имконият фароҳам овард, ки бузургиҳои электрофизикии намунаҳои антимониди индий ва антимониди индийи бо нуқра ҷавҳаронидашударо дар ҳароратҳои то $1,5 \cdot 10^3 \text{K}$ чен намоем. Андозаи баъзе намунаҳои тадқиқшаванда дар ҳолати сахтӣ чунин буданд:

$$a=0,6 \text{ мм}, \quad b=0,62 \text{ мм}, \quad l=3,5 \text{ мм}.$$

Ячейка, ки бо истифодаи технологияи коркарди керамика сохта шудааст, термопараҳои храмел-алюмелӣ бо сарпӯши графитӣ ҳифз мешуданд, то ки ба маҳлул омилҳои беруна таъсир нарасонанд. Қэҳ-и гармоии графит $6 \div 7 \cdot 10^{-3} \text{В/К}$ буда, афтиши ҳарорат дар он ночиз мебошад ва ин дар вақти ченкунӣ хатоии ҳисобкунӣҳо дар намуна тақрибан тартиби $0,5 - 1 \cdot 10^{-6} \text{В/К}$ -ро мегирад, ки ин тибқи усули потенциометрӣ дар ҳудуди хатоҳо меҳобад. Ба мақсади коршоҷам будани дастгоҳи комплексӣ ва боварӣ ҳосил намудан ба эътимодии он, мо аввал ченкунӣҳоро дар намунаҳои бузургиҳояшон маълум санҷидашуда, ки қиматҳояшон дар адабиёт оварда шудааст, гузаронидем. Муқоисаи қиматҳои ҳисобкардаи мо ба қиматҳои маълум мувофиқат мекард. Баъд бузургиҳои электрофизикии пайваस्ताгии антимониди индий ва намунаҳои антимониди индийи бо нуқра ҷавҳаронидашуда чен карда шуданд.

Боби сеюми диссертатсия аз се қисм иборат буда, дар қисмати аввал раванди полош (синтез)-и намуна, дар қисмати дувум раванди технологӣ ва дар қисмати сеюм тайёр намудани намуна барои ченкунӣ оварда шудааст.

Ба равандҳои технологӣ амалиёти полош, сабзонидани булӯр, коркард ва ҷавҳаронидани пайваस्ताгиҳои нимноқилӣ, ки пай дар пай як даври технологиро ташкил менамоянд, дохил мешавад. Барои баъзе аз пайваस्ताгиҳо мумкин аст, ки ин дар шакли комплексӣ ё ин ки дар шакли даврӣ ва пай дар пай якҷоя гузаронида шавад. Варианти яқум нисбатан

самарабахш мебошад, чунки дар ин ҳолат ҳангоми гузаришҳои технологӣ намунаи тозагии баландтардошта ҳосил карда мешавад.

Иҷроиши амалиёти ҳосилкунии ҳар як пайвастагиҳои нимноқилӣ бо ҷалби гуногуни равандҳои физикавӣю химиявӣ ба амал омаданаиш мумкин аст. Ин равандҳоро ба ду гурӯҳи калони асосӣ ҷудо намудан мумкин аст.

Якум, ин раванд ба синтез, дуҷум ба ҷудошавии пайвастигии синтезшуда аз муҳити онро ихотакунанда алоқаманд аст. Аз рӯи тартиби қоида равандҳои гурӯҳи дуҷум ҳангоми тоза намудан ва сабзонидани монокристаллҳо истифода карда мешавад. Асосан аз рӯи таснифоти воқуниши химиявӣ ва раванди тақсимшавӣ ҳар яке аз ин ду гурӯҳ ба қисмҳо вобаста шуданаиш мумкин аст.

Барои ҳосил намудани пайвастигии антимолиди индӣ ва намунаҳои ҷавҳаронидашуда аз усули машҳури якҳароратаи бевосита полош (синтез)-ро истифода намудем. Пайвастигӣ ва намунаҳо мувофиқан бо таркиби стехиометрӣ ва интиҳоби фоизи ҷавҳарӣ аз ҳамбастагии индӣи дараҷаи тозагии тамғаи In-00 ва сурмаи дараҷаи тозагии тамғаи СУ-00 ҳосил карда шуд.

Барои ҳосил кардани намунаи таркиби 1:1 мо аз формулаи маълуми зерин истифода намудем:

$$M_{AB} = \frac{P_1 \cdot m_A \cdot m_H}{P_1 \cdot m_A + P_2 \cdot m_B},$$

дар инҷо P_1 ва P_2 – компонентҳо вобаста бо фоиз, m_H – массаи намуна бо граммҳо гирифташуда, m_A , m_B – массаи атомӣ (молярӣ)-и мувофиқ ба компонентҳои А ва В мебошанд.

Намунаи антимолиди индӣ ($InSb$) ба миқдори $5 \cdot 10^{-3}$ кг (бо баркашии аниқи то саҳеҳии $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ кг) гирифта шуд. Полоши намунаи антимолиди индӣ дар оташдони СШОЛ – 1 – 1,6/12 гузаронида шуд, ки андозаи доимии ҳарорати оташдон аз андозаи ампулаи кварсӣ калонтар аст ва дар он афтиши ҳарорат мушоҳида мешавад. Меъёри полош зинагӣ гузаронида шуд. Аввал ҳарорати оташдонро то ҳарорати гудозиши антимолиди индӣ ($T_{гуд.} = 796K$) баланд намудем ва ба муҳлати як соат дар ҳамин ҳарорат онро нигоҳ доштем [1-М -6-М, 12-М].

Намуна бо суръати 50 дараҷа/соат якҷо бо оташдони хомӯш кардашуда хунук карда шуд.

Маротибаи дуҷум ампуларо ба мақсади полош вориди оташдон намуда, тибқи речаи пештара амал намудем. Ин маротиба ҳароратро 100-150 дараҷа баланд намуда, намунаро ба муҳлати 2 соат зери ларзиши механикии даврӣ нигоҳ доштем. Баъди полоши дуҷум мо намунаи якҷинса, дар шакли сабика ҳосил намудем. Аз ин сабика мо намунаҳоро дар шакли росткунҷаи геометрӣ буридем, ки андозаҳояшон мувофиқан чунин буд:

- 1) 3,75 x 6,9 x 10мм.
- 2) 5 x 7 x 10мм.
- 3) 3,75 x 6,9 x 10мм.

Ба мақсади синтез намудани намунаҳои антимолиди индӣи бо нуқра ҷавҳаронидашуда ($InSb+Ag$) мо «Дастгоҳи универсиалӣ барои тоза кардани металлҳои ранга, синтез ва ҳосил ҳосил намудани кристаллҳои пайвастагиҳои нимноқилӣ»-ро [8-М] коркард намудем ва намунаҳои

антимониди индийи 0,1% масс.; 0,2% масс.; 0,3% масс.; 0,4% масс.; 0,5% масс. Ag бо нукра чавхаронидашударо полош намудем. Намунаҳои антимониди индийи бо нукра чавхаронидашуда (InSb+Ag)-ро бо тарозуи электрони рақамӣ бо баркашии аниқӣ $5 \cdot 10^{-3}$ кг (то сахехии $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ кг) баркашидем.

Бо вуҷуди ин, хангоми дар ҳароратҳои баланд истифода намудани ячейкаи ченкунанда мо намунаро майда намуда, ба хока табдил додем ва баъд он хокаро ба ячейка, ки қисми болояш шакли конусмонандро дорад, пур карда ба сифати тамосҳо аз сарпушҳои графитӣ истифода намудем ва ба гардани ячейка хамираи Al_2O_3 молидем.

Ҳароратро то ҳарорати гудозиш $T_{гуд}$ баланд намуда, баъди чанде ларзиш додан пай бурдем, ки гардани ячейка пур шуд, чунки пайдошавии ҷараён дар тамосҳо аз ин шаҳодат меод.

Боби чоруми диссертатсия таҳлили натиҷаҳои таҷрибавӣ, вобастагии гармоии бузургиҳои электрофизикӣ ва термодинамикии пайвастагии антимониди индий ва намунаҳои антимониди индийи бо нукра чавхаронидашударо дар асоси натиҷаҳои таҷрибавӣ, вобастагии ҳароратии коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ, Холл, бузургиҳои ҳисоб кардашуда: консентратсия, ҳаракатнокии ҳомилони заряд, гармигузаронӣ, дифузия ва дигарҳоро дар бар гирифта, аз ду қисм иборат мебошад.

Ҷадвали 1.

Натиҷаҳои таҷрибавии бузургиҳои электрофизикии электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва коэффитсиенти Холл барои антимониди индий ($T_{гуд}=798$)

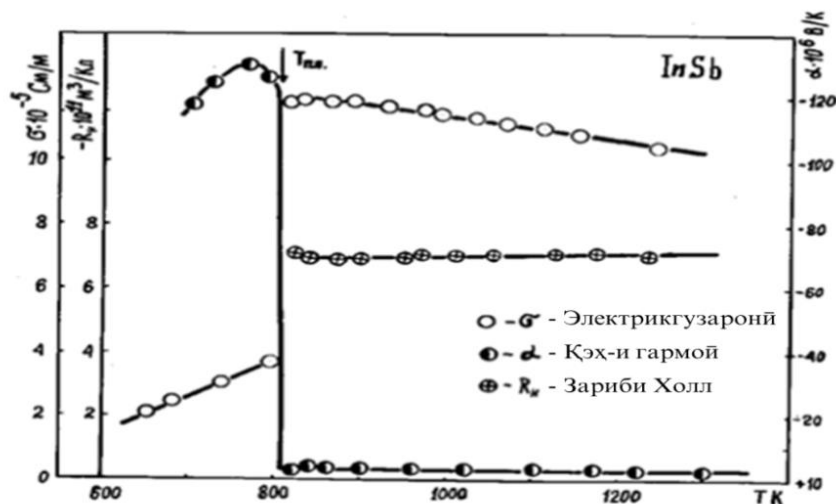
Ҳарорат T, К	Электрикгузарон $\sigma, \text{см}^{-1} \cdot 10^{-5}$	Ҳарорат T, К	Қэҳ-и гармоӣ, $\alpha \cdot 10^6, \text{В} \cdot \text{К}^{-1}$	Ҳарорат T, К	Коэффитсиенти Холл, $R_H \cdot 10^6$
365	0,35	706	-108,90	703	5,29
419	0,36	727	-114,90	737	4,83
450	0,40	788	-121,00	774	3,81
696	0,76	789	-116,80	801	3,45
683	0,78			807	2,99
733	0,96				
810	11,97	815	-2,80	813	$7,30 \cdot 10^{-5}$
818	11,99	827	-2,40	828	$6,99 \cdot 10^{-5}$
833	12,0	843	-2,30	839	$6,59 \cdot 10^{-5}$
853	11,90	866	-2,50	950	$6,68 \cdot 10^{-5}$
865	11,96	886	-2,20	966	$6,64 \cdot 10^{-5}$
887	11,91	899	-2,30	1010	$6,72 \cdot 10^{-5}$
899	11,80	928	-2,20	1050	$6,72 \cdot 10^{-5}$
930	11,70	943	-1,83	1125	$6,80 \cdot 10^{-5}$
951	11,50	975	-1,80	1175	$7,10 \cdot 10^{-5}$
973	11,64	1010	-1,60	1237	$7,04 \cdot 10^{-5}$
996	11,60	1023	-1,54		
1023	11,20	1033	-1,50		

1033	11,40	1040	-1,40		
1068	11,24	1060	-1,10		
1110	11,1	1098	-0,70		
1145	10,85	1125	-0,80		
1155	10,82	1155	-0,43		
1183	11,05	1173	-0,40		
1175	11,01	1203	-0,30		
1203	10,72				
1253	10,70				
1257	10,42				
1265	10,42				
1288	10,35				

Дар қисми аввал хосиятҳои физикиву химиявии пайвастагии нимноқилии антимониди индийи тоза, дар ҳолатҳои сахтӣ ва моеъгӣ боз омӯхта шуданд.

Натиҷаҳои қиматҳои таҷрибавии коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холл дар ҷадвали 1 оварда шудааст.

Натиҷаҳои таҷрибавии ҳосилкардашуда (ҷадвали 1), ё ин ки вобастагии ҳароратии коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холл ба тарзи графикӣ дар расми 4 тасвир ёфтааст.



Расми 4. Вобастагии ҳароратии коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холл барои InSb дар ҳароратҳои баланд.

Чӣ тавре ки аз расми 4 дида мешавад, электрикгузаронии антимониди индий дар наздикии ҳарорати гудозиш қимати ба $\sim 39,70 \cdot 10^3$ См/м баробар дошта, ҳангоми гузариши фазагӣ ба ҳолати моеъгӣ якбора афзудани қимати он мушоҳида гардида, ба $\sim 12 \cdot 10^5$ См/м баробар мешавад.

Ин қимати мутлақ аз табиати металлӣ доштани пайвастагии антимониди индий дар ҳолати моеъгӣ дарак медиҳад.

Қэҳ-и гармоии InSb дар ҳолати сахтӣ ҳангоми наздик шудан ба ҳолати гудозиш тақрибан ба $120 \cdot 10^{-6}$ В/К баробар аст, ки ин ба маълумоти дар адабиёт [1-М -4-М, 9-М-17-М] овардашуда хуб мувофиқат мекунад. Агар тағйирёбии бузургҳои муқарраршударо дар фазаи моеъгӣ дида бароем, ҳангоми баланд шудани ҳарорат дар пайвастагии InSb ягон

тағйироти назаррас ба амал намеояд, ба ғайр аз оне, ки ҳангоми гарм кардани дилхоҳ моеъ вучуд дорад: суғшудани таъсири мутақобилаи байни молекулаҳо, афзоиши масофаи байнимолекулавӣ, афзоиши адади ҷойҳои холӣ ва ғайраҳо. Дар ҳудуди ҳарорати дида баромадашуда, дар ҳолати моеъгӣ пайвастагии InSb нисбатан устувор мебошад. Ҳангоми идомаёбии гармидиҳӣ дараҷаи диссоциатсия доимӣ монда, бо равиши ҳарорат коэффитсиенти Холл ва электрикгузаронӣ кам мешавад ва концентратсияи ҳомилони заряд тақрибан доимӣ мемонанд ($n=9 \cdot 10^{28} \text{м}^{-3}$). Камшавии электрикгузарониро бо камшавии ҳаракатнокӣ вобаста медонем. Бо афзоиши ҳарорат андаке камшавии ҳаракатнокӣ ба монотонӣ камшавии электрикгузаронӣ меорад. Мо то ҳароратҳои $\sim 1250 \text{ К}$ камшавии қимати коэффитсиенти қэх-и гарморо бо аломати мусбати зарядҳо мушоҳида намудем. Қимати ададии қэх-и гармой баъди гудозиш февран ба $\sim 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ В/К}$ баробар мешавад, ки ин натиҷа ба қиматҳо барои металлҳои хос мувофиқ меояд. Мувофиқан бо равиши вобастагии ҳароратии қимати ададии электрикгузаронӣ $\sigma(T)$ дар наздикии ҳарорати гудозиш дар ҳолати сахтӣ ба $E^{\sigma} = 0,18 \pm 0,01$ баробар аст, ки ин ба маълумоти дар адабиёти [8-А] мавҷудбуда хуб мувофиқат мекунад. Равандҳо дар ҳарорати гудозиш ва баъди он нишон медиҳанд, ки дар InSb баъди гудозиш якбора панҷараҳои кристаллӣ, ки ба ҳолати сахтӣ тааллуқ доранд, вайрон мешаванд ва зарядҳои озоди ҷараёнгузарон ба вучуд меорад, ки қимати баланд гирифтани $\sigma(T)$ ва монотонӣ камшавии он аз ин шаҳодат медиҳад [9-М -15-М].

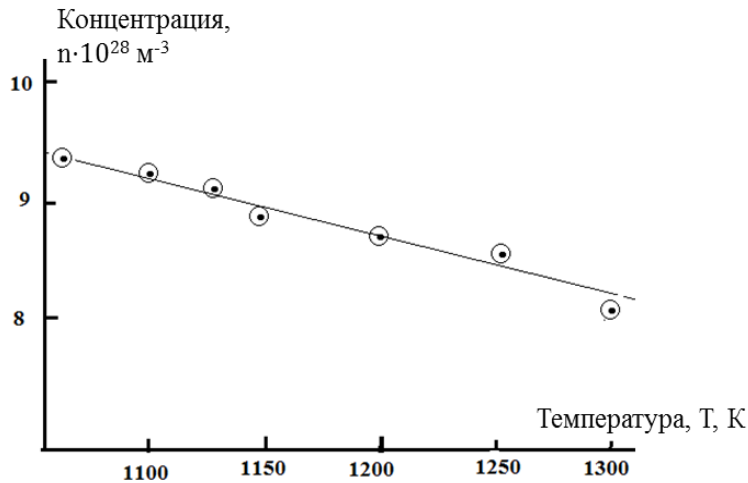
Маълумот оид ба вобастагии ҳароратии коэффитсиенти Холл, ин аз афзоиши ночиз ва аломати манфӣ гирифтани гудохтаи InSb-ро нишон медиҳад. Агар ба ҳисоб гирем, ки хатой дар ҷенкунии коэффитсиенти Холл 6%-ро ташкил мекунад, он гоҳ бузургии нишондодашударо тақрибан дар қимати $+0,2 \text{ см}^3/\text{Кл}$ доимӣ ҳисоб кардан мумкин аст.

Маълумоти таҷрибавиро истифода бурда, концентратсияи ҳомилони зарядро аз формулаи зерин ҳисоб намудем:

$$n = \frac{1}{R_H \cdot e} \quad (1)$$

Графики вобастагии концентратсия аз ҳарорат барои пайвастагии InSb дар ҳолати моеъгӣ дар расми 5 оварда шудааст.

Чӣ хеле ки аз расми 5 дида мешавад, концентратсияи ҳомилони заряд баъди гудозиш якбора қимати тартиби 10^{28} м^{-3} -ро соҳиб шуда, ҳангоми зиёдшавии ҳарорат камшавии ин бузургӣ мушоҳида мешавад.

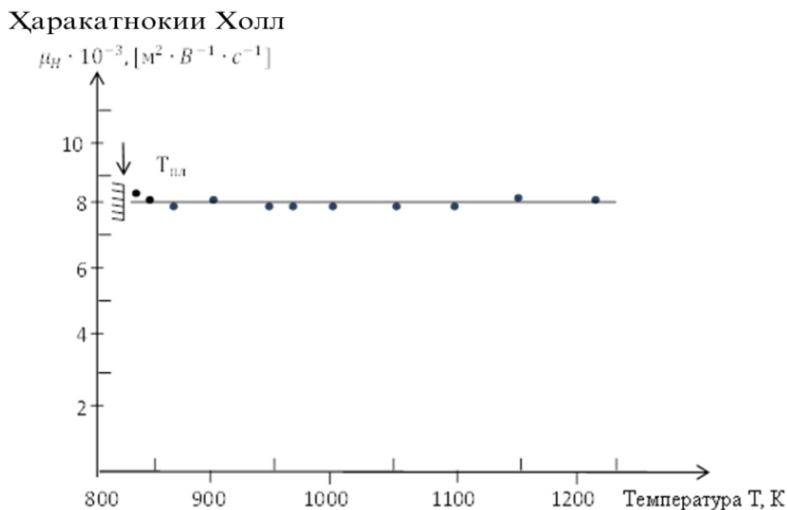


Расми 5. Вобастагии консентратсияи ҳомилони заряд аз ҳарорат барои пайвастагии InSb дар ҳолати моеъгӣ.

Баъзан, дар ҳолати моеъгӣ маълумоти корӣ ба маълумоти мо муҳолифанд. Таҷрибаҳои гузаронидаи мо нишон доданд, ки қимати коэффитсиенти қэҳ-и гармой барои InSb-и тоза ба табиати металлӣ мувофиқ буда, аломати зарядаш манфӣ аст. Бо назардошти табиати вобастагии ҳароратии коэффитсиенти қэҳ-и гармой ҳангоми баланд намудани ҳарорат то 1250 К аломати зарядҳо доимӣ монда, аломати коэффитсиенти қэҳ-и гармой бо коэффитсиенти Холл мувофиқат мекунад.

Бо назардошти пешниҳоди Н.Мотт [1-М - 7-М, 9-М-17-М] агар гузаронандагии электронӣ дар наздикии E_c ба вуҷуд омада бошад, он гоҳ ҳаракатнокии Холл қимати тақрибии $0,1 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ -ро дорад ва набояд аз ҳарорат вобаста шавад. Бинобар ин ҳаракатнокӣ аз формулаи зерини эмпирикӣ ҳисоб карда мешавад:

$$\mu_H = \sigma |R_H| \quad (2)$$



Расми 6. Вобастагии ҳароратии ҳаракатнокии Холл дар пайвастагии InSb дар ҳолати моеъгӣ

Графики вобастагии ҳароратии ҳаракатнокии Холл барои ҳолати моеъгии InSb дар расми 6 тасвир карда шудааст.

Ба ҳисоби мо қимати миёнаи ҳаракатнокии Холл, $\mu_H = 0,75 \pm 0,1$ $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ мебошад. Аз ин ҷо мебарояд, ки ҳомилони ҷараён электронҳоянд. Агар диққатамонро ба он ҷалб намоем, ки гузаронандагӣ бо ёрии электронҳои барангехтаи канорӣ ба вучуд омада бошад [12-М-23-М], онгоҳ бо истифода аз модели электрони Андерсон ба ибораи он, ки функцияҳои фазаҳои атомӣ тасодуфианд ва модели сечуъаи қобили қабули тасодуфӣ ва ҳаракатнокии Холл чунин муайян карда мешавад:

$$\mu_H = \frac{2\pi\eta\bar{z}la^2}{z^2\cdot\hbar} a^3 B \cdot N(E_c) \quad (3)$$

Дар инҷо B – паҳноии зона бе ҳисоби бенизомӣ, z – адади координатсионӣ, \bar{z} – адади миёнаи роҳҳои сегиреҳаи сарбаст дар наздикии гиреҳи ихтиёрӣ интиҳобшуда. Фридман пешниҳод намудааст, ки $\bar{z} = z$ аст, лекин мо барои ҳолати сегиреҳа $\bar{z} = 6$ барои ҳолати дугиреҳа $\bar{z} = 4$ қабул намудем. Ин маълумот аз он шаҳодат медиҳанд, ки дар антимониди индий (InSb)-и моеъ ҳолати дученакагӣ ҳангоми $a = 3\text{Å}$ будан $z = 4$ ҷой дорад.

Ҷадвали 2.

Баъзе бузургҳои антимониди индий дар ҳолати моеъгӣ

Ҳарорат Т,К	Ҳ _{эл} , Вг м град	Ҳарорат Т,К	Ҳаракатнокии Холл $\mu_H \times 10^4, \text{м}^2/\text{В}\cdot\text{сек}$	Ҳарорат Т,К	Концентрация, $n_{\text{эксп}} \times 10^{-28}, \text{м}^{-3}$	Ҳарорат Т,К	Радиуси кураи Ферми, $k_F \times 10^{10}, \text{м}^{-1}$	Дарозии роҳи лавиши озод $L, \text{Å}$	Массаи эффективӣ, $m^* \times 10^{28}, \text{кг}$	Нисбати массаҳо m^*/m_0
810	23,2	815	0,87	813	8,6	815	1,37	7,85	1,85	203,6
830	24,5	830	0,83	828	8,9	828	1,38	7,62	1,9	209,2
865	25,3	845	0,78	839	9,5	839	1,41	7,33	1,95	214,5
951	26,9	950	0,77	950	9,4	950	1,41	7,10	1,66	182,4
1033	28,9	970	0,77	966	9,4	966	1,41	7,16	1,66	182,4
1110	29,6	1010	0,76	1010	9,3	1010	1,40	7,05	1,60	175,4
1175	30,7	1050	0,75	1050	9,3	1050	1,40	6,94	1,5	166,2
1203	32,0	1125	0,75	1125	9,2	1125	1,39	6,81	1,4	149,4
1226	32,7	1175	0,78	1175	8,8	1175	1,38	7,09	1,3	143,5
1275	32,5	1237	0,76	1237	8,8	1237	1,38	6,95	1,25	137,8

Маълумоти мо (ҷадвали 2) барои μ_H қиматҳои $0,8 \div 0,76 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}} = 1 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$ доранд, ки ин ба ҳисобҳои назариявии Фридман барои ҳолати дученака мувофиқат мекунад. Аз натиҷаҳои дар боло овардашуда вобастагии электрикгузаронии InSb дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ мувофиқи [4-М, 12-М-15-М] ба $3,5 \frac{\text{см}}{\text{м}}$ баробар аст.

Таҳқиқоти мо нишон доданд, ки антимониди индий дар наздикии нуқтаи гудозиш дар ҳолати сахтӣ гузаронандагӣ дорад, лекин баъди гудохта шудан, яъне дар ҳолати моеъгӣ $\sigma_M = 11,97 \cdot 10^5 \frac{\text{см}}{\text{м}}$ буда, нисбат ба ҳолати моеъгӣ ба сахтӣ $\frac{\sigma_M}{\sigma_c} = 30,1$ мешавад.

Ҳисобкуниҳо ва коркарди оморӣ маълумоти таҷрибавӣ бо истифода аз барномаҳои компютери «Excel» ва «Corel draw» иҷро гардиданд. Баробариҳои ҳосилшуда ба наздикшавандагии мустақими коэффитсиентҳои эликтрикузаронӣ $\sigma = 9,55 - 2,7 \cdot 10^{-3} T$, кэҳ-и гармоӣ $\alpha = 8,2 - 6,64 \cdot 10^{-3} T$ ва Холл $R_H = 30,3 - 1,35 \cdot 10^{-2} T$ барои гудохтаи антимионидаи индӣ мувофиқат мекунад. Мувофиқи [1-М- 7-М, 12-М-23-М] вобаста ба табиати металии гузаронандагӣ ва консентратсияи баланд барои муайян намудани сатҳи Фермӣ аз формулаи зерин истифода бурдем:

$$E_F = \frac{h^2}{2m^*} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{3n}{8\pi}\right)^2} \quad (4)$$

Дар ҳароратҳои баланд ҳангоми зиёд будани энергияи электронҳо ва фарқи $E - \mu > 2kT$ будан, формулаи тақсимои Фермӣ – Дирак ба формулаи классикии тақсимои Максвелл мегузарад. Амалан E_F аз ҳисоби массаи эффективии электронҳо муайян карда мешавад. Дар қори мазкур мо ҳаракат намудем, ки нисбати массаи эффективиро ба массаи оромии электрон муайян намоем. Бо ин мақсад мо радиуси кураи Фермӣ k_F -ро муайян намудем (табл. 2).

$$k_F = (3\pi^2 \cdot n)^{1/3} \quad (5)$$

Аз таносуби Зейман, ки модели металиро медиҳад, дарозии роҳи давиши озодро муайян намудем :

$$\lambda = \frac{ne^2 L}{\hbar \cdot k_F},$$

дар ин ҷо:

$$L = \frac{\hbar \cdot k_{F\lambda}}{ne^2}. \quad (6)$$

Натиҷаҳо оид ба дарозии давиши роҳи озод λ , ки дар ҷадвали 2 оварда шудааст, доимӣ ҳисобидан мумкин аст ва $\lambda = 7,2 \pm 0,6 \text{ \AA}$ мешавад.

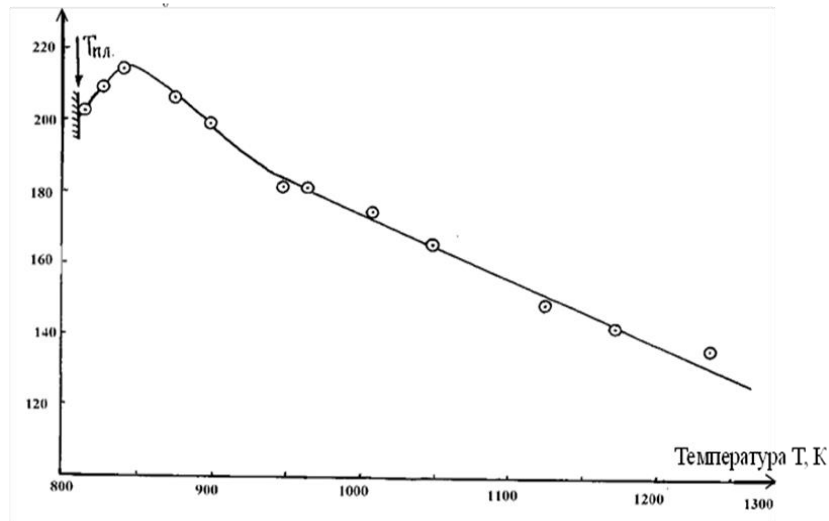
Нисбати массаи эффективӣ аз массаи оромии электрон ба таври графикӣ дар расми 7 оварда шудааст. Чӣ хеле ки аз расм дида мешавад, нисбати массаи эффективӣ бар массаи оромӣ баъди гудозиш андаке меафзояд, аммо бо зиёдшавии ҳарорат, камшавии нисбати массаҳо мушоҳида мегардад. Баъдан пешниҳод мегардад, ки пароканиши ҳомилони заряд дар заминаи манзараи акустикӣ ба амал меояд. Бинобар ин, $r = \frac{3\pi}{8}$ қабул менамоем. Он гоҳ ҳаракати дрейфӣ:

$$\mu_\alpha = \frac{1}{2} |R| \cdot \sigma = \frac{8|R_H|\sigma}{3\pi} \quad (7).$$

Ҳисобкуниҳои миёна нишон медиҳанд, ки $\mu_\alpha = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ аст, ки ин ба қиматҳои барои μ_H ҳисобкардашуда мувофиқат мекунад.

Барои нимноқилҳо ва металҳои таназулёфта $\mu_\alpha = \mu_H$ ҳисобида мешавад [12-М-19-М]. Тибқи маълумоти мо дар ҳудуди $\pm 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ ҳаракатнокии дрейфӣ ва Холл мувофиқат мекунад.

Вобастагии массаҳо m^*/m_0 ,



Расми 7. Вобастгии нисбати массаҳо дар антимониди индийи моеъ

Ҳаракатнокии Холл кунчи Холлро муайян намуда, ба ҳаракати дрейфӣ мутаносиб мебошад: $\mu_H = r\mu_\alpha$ ва ҳангоми доимӣ будани вақти релаксатсия ($\tau = const$) аз энергия вобаста нест, яъне $r=1$ мешавад, бинобар ин барои ҳолати дида баромадашудаи мо чунин мешавад:

$$r = \frac{\mu_H}{\mu_\alpha} = 1.$$

Дар формулаи (6) бо истифода аз қиматҳои зерин мо энергияи Фермиро ҳисоб намудем: В формуле (6) мы принимали следующие значения:

$$m^* = m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}, \quad \hbar = 6,635 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}, \quad n = 9,1 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$$

Қимати миёнаи энергияи Ферми $E_F = 6 \cdot 10^{22}$ эВ шуд. Агар ба ҳисоб гирем, ки энергияи максималӣ ҳангоми $6 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ ба 9 эВ баробар аст, он гоҳ қайд кардан мумкин аст, ки маълумоти мо (7,3 эВ) бори дигар табиати металлӣ доштани антимониди индийро дар ҳолати моеъгӣ тасдиқ мекунад. Бо натиҷагирӣ аз М – модели Катлер дар сохторҳои зонаҳои параболий барои антимониди индий (InSb)-и моеъ мо энергияи Фермиро ҳисоб намудем:

$$\alpha = \frac{\pi^2 \cdot k^2 T}{3eE_F}, \quad (8)$$

аз ин ҷо:

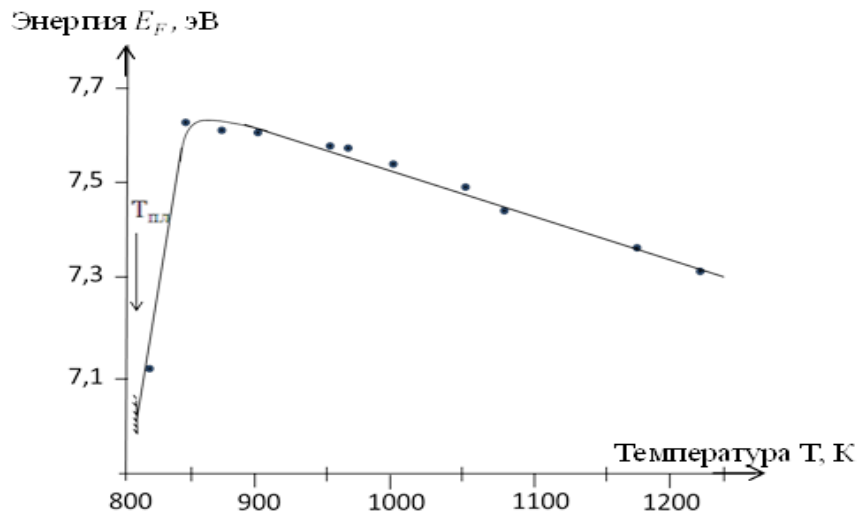
$$E_F = \frac{\pi^2 \cdot k^2 T}{3e\alpha}. \quad (9)$$

Натиҷаҳои ҳисобкардашуда дар ҷадвали 3 оварда шудааст.

Чӣ хеле ки дида мешавад, қимати энергияи Фермӣ дар асоси модели Катлер ҳисоб карда шудааст ва ба моделҳои механикаи квантӣ мувофиқат намекунад.

Маълумот дар асоси модели Катлер ба мазмуни назариявии металлҳо, ки энергияи максималии 9 эВ доранд, мувофиқат намекунад.

Барои ҳолати мо (расми 8) танҳо дар ҳароратҳои 810-850К мувофиқат ба мазмуни назариявӣ мушоҳида мешавад.



Расми. 8. Вобастагии ҳароратии энергия Фермӣ E_F барои $InSb$ дар ҳолати моеъгӣ

Аз ин ҷо хулоса мебарояд, ки дар ин ҳолат модели Катлер барои $InSb$ -и моеъ татбиқнашаванда аст.

Дар асоси маълумоти таҷрибавӣ оид ба қэҶ-и гармӣ, мо кӯшиш намудем, қонуни Видеман-Франсро истифода намуда [1-М], гармигузаронии электрониро ҳисоб намоем:

$$\chi = \frac{\pi^2 k^2 T \sigma}{3e^2} = W_0 \sigma T, \quad (10)$$

дар ин ҷо $W_0 = 2,45 \cdot 10^{-8} \text{Вт} \cdot \text{Ом}/\text{град}^2$ мебошад.

Ҷадвали 3.

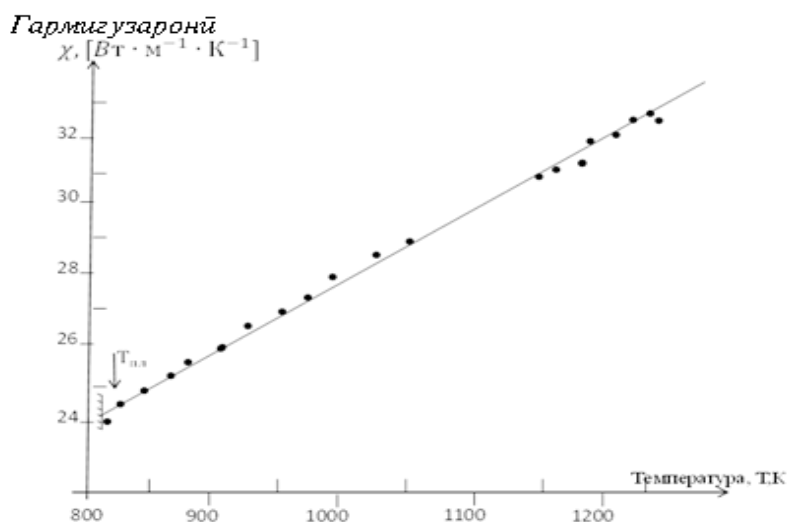
Баъзе аз бузургҳои антимиониди индий дар ҳолатҳои сахтӣ ва моеъгӣ

Ҳарорат T, К	Ҳаракатнокии $\mu_\alpha \cdot 10^{-4}, \text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	Энергия Фермӣ $E_F, \text{эВ}$	ҚэҶ-и гармӣ $\alpha_{\text{расч}} \cdot 10^6, \text{В/К}$	Масоҳати Фермӣ $S_F \cdot 10^{20}, \text{м}^2$	Ҳарорат T, К	Дифузия $D \cdot 10^6, \text{м}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$
815	0,74	7,10	2,80	23,59	815	5,2
828	0,70	7,20	2,76	23,93	828	4,99
839	0,66	7,60	2,65	24,97	839	4,77
950	0,65	7,55	3,02	24,97	875	5,00
966	0,65	7,55	3,02	24,97	900	5,40
1010	0,65	7,49	3,23	24,62	950	5,32
1050	0,64	7,49	3,36	24,62	966	5,41
1125	0,64	7,44	3,63	24,28	1010	5,66
1175	0,66	7,23	3,90	23,92	1050	5,79
1237	0,65	7,23	4,10	23,92	1125	6,21
1275	0,65	7,23	4,23	24,16	1175	6,68
1335	0,65	7,23	4,67	23,92	1237	6,93

Чунин ҳисобкуниҳо барои муайян кардани χ нишон дод, ки қимати коэффитсиенти гармигузаронӣ дар муқоиса бо қиматҳои коэффитсиентҳои пештар додашуда барои элементҳои In ва Sb ҳолати мобайниро ишғол менамояд. Маълумот дар ҷадвали 3 нишон дода шудааст.

Ба хотир меорем, ки χ барои In-и тоза чунин қимат дорад: $\chi = 36,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{град}}$ ва барои Sb қимати гармигузаронӣ чунин аст: $\chi = 26,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{град}}$.

Чӣ хеле ки аз ҷадвали 3 дида мешавад, бо афзоиши ҳарорат коэффитсиенти гармигузаронӣ низ мефзояд (расми 9).



Расми 9. Вобастагии ҳароратии гармигузаронии InSb.

Баъдан, мо коэффитсиенти қэҳ-и гармоиро ҳисоб намудем. Натиҷаҳои ҳосилшуда дар ҷадвали 3 оварда шудаанд. Аз ҳисобкуниҳо маълум гардид, ки коэффитсиенти қэҳ-и гармоӣ бо афзоиши ҳарорат тамоюл ба афзоиш дорад.

Бо вучуди ин, қайд кардан лозим аст, ки якбора баъди гудохта шудан маълумот оид ба коэффитсиенти қэҳ-и гармоӣ пурра мувофиқат мекунад. Ин муҳолифатро бо он фаҳмонидан мумкин аст, ки маълумотро оид ба ҳомилони концентратсия аз коэффитсиенти Холл гирифтём, ки дар он ҷо аломати ҳомилон манфӣ мебошанд, ё ба тариқи дигар ҳисобкуниҳо ба равандҳои электронӣ мувофиқат мекунанд.

Ҳамин тавр, коэффитсиенти Холл ғайримуқаррарӣ мебошад, чунки барои муайян кардани аломати зарядҳо дар ин ҷо аломати қэҳ-и гармоӣ хизмат мекунад [1-М, 12-М-23-М]. Дар тафовут аз металлҳои кристаллӣ, ҳангоми доимӣ будани коэффитсиенти Холл, бо афзоиши ҳарорат коэффитсиенти қэҳ-и гармоӣ дар антимониди индӣи моеъ кам мешавад. Ба ақидаи мо, дар ин ҳолат таъсири мутақобилаи электроно-ионӣ пурзӯр мегузарад, ки дар натиҷаи ин ҳаракатнокӣ зарядҳо ва электрикгузаронии гудохта кам мешавад. Ҳамин тавр, таснифоти вектори мавҷӣ дар масофаи давиши озоди ҳомилон барои металлҳои моеъ бояд шартӣ $kL \gg 1$ -ро қаноат кунонад, ки ин дар кори мо ҷой дорад. Бинобар ин коэффитсиенти Холл бояд нисбати қимати дар назарияи электронҳои озод ҳисобкардашуда кам бошад. Дар ҳақиқат, агар чунин ҳисоб намоем, ки

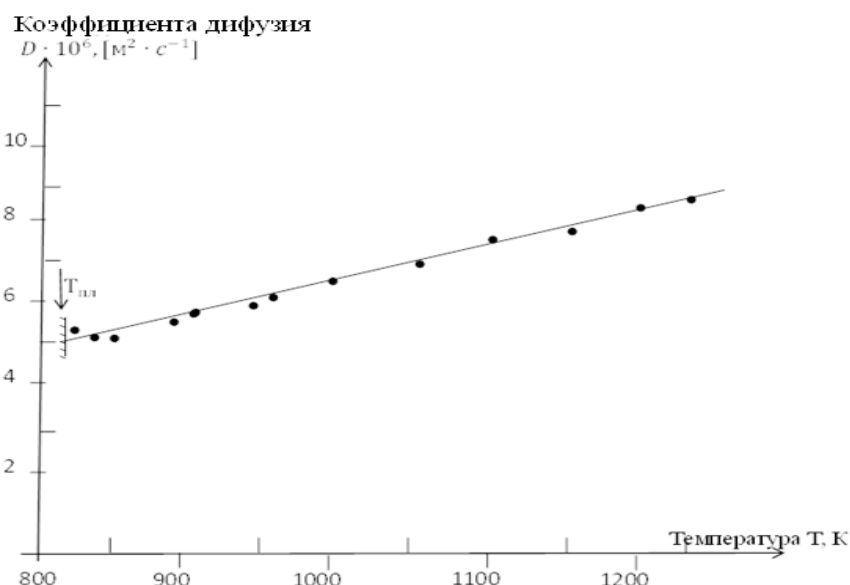
барои металлҳо консентратсияи ҳомилони заряд ба 10^{23}см^{-3} баробар аст, он гоҳ ҳисобкунӣҳо нишон медиҳанд, ки $R_0 = 6,25 \cdot 10^{-11} \text{м}^3/\text{Кл}$ мешавад, лекин дар ҳолати мо маълумоти таҷрибавӣ дар муқоиса бо қимати додашудаи R_0 қимати зиёд дорад. Дар мутобиқат бо ташаккулёбии сохтори тартиби наздики гудохтаҳои элементарӣ масъалаи омехташавӣ (диффузия) ва худомехташавӣ низ нақш мебозад. Вобаста ба ин коэффитсиенти омехташавӣ дар металлҳои моеъ ва нимноқилҳо метавонад ду нуқтаи назар таваччухро ҷалб намояд. Якум, масъалаи омехташавӣ дар гудохтаҳо ба зухуроти сохтори онҳо зич алоқаманд аст. Дуюм, дар умум ҷойи дуруст дар сохтори назариявии худомехташавии ҳолати моеъгӣ имконият медиҳад, ки роҳи воқеии баҳодихии коэффитсиенти омехташавиро дар гудохтаҳои электронӣ интиҳоб намоем, вагарна ҳалли таҷрибавии масъала ба монанди ҷиддӣ бурда мерасонад.

Аз ҳисоби табиати микроскопии зарраҷаҳои омехташуда барои ҳаракати микрзарраҳо таносуби Эйнштейн қабул гардидааст, ки алоқамандии коэффитсиенти омехташавӣ D -ро аз ҳаракатнокӣ μ муайян мекунад:

$$D = k_B \cdot T \cdot \mu_\alpha \quad (11)$$

Натиҷаҳои ҳосилкардашуда нишон медиҳанд, ки дар ҳудуди ҳароратҳои 810-1300 К барои пайвастагии InSb қонуниятҳои муайяне мавҷуд аст (расми 10).

Чӣ хеле ки аз расми 10 дида мешавад, коэффитсиенти омехташавӣ майл ба афзоиш дорад, ки ин пурра ба назария мувофиқат мекунад. Лекин мувофиқи (11) барои як қатор моддаҳо, аз ҷумла нимноқилҳо ва пайвастагиҳои ионӣ нисбати μ/D се маротиба зиёд аст.



Расми 10. Вобастагии ҳароратии коэффитсиенти омехташавӣ аз ҳарорат барои антимониди индий InSb дар ҳолати моеъгӣ

Чунин тамоил ба ташкилшавии комплекси зарраҷаҳои заряднок алоқаманд аст, дар мавриде, ки агар пайвастагии антимониди индий InSb-ро ҳамчун металли моеъ дида бароем. Он гоҳ қимати коэффитсиенти

омехташавӣ бояд баробар ба $2 \div 3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$, ё ки ин бузургӣ монанди металлҳои оддӣ бошад. Дида мешавад, ки дар моеъҳои дучанда ташкилҳои комплексҳо, ё комплекси кластермонандҳо, ё ин ки кластермонандҳо ба хосияти физикӣ таъсир расонданашон мукин аст. Бинобар ин, ба гумони мо, номувофиқии қимати ададии антимониди индий (InSb)-и моеъ ба кластер ташкилшавӣ алоқаманд мебошад. Дар кори [11-М, 23-М]. нишон дода шудааст, ки ташкилшавии кластерҳо боиси қисман кандашавии бандҳои байниатомии заррачаҳо мегардад. Минтақаи каниши кластериро ҳамчун минтақаи нуқсонӣ ба худ хоси динамикӣ дида баромадан мумкин аст. Парешхурии ҳомилони чараёнгузаронро ба ҳисоб гирифта, хангоми гудозиш чаҳиши гузаронандагиро баҳо додан мумкин аст.

Агар ба ҳисоб гирем, ки соҳаи каниши байникласстерӣ гузаронандагӣ надоранд, он гоҳ ҳосилшавии онҳо ба камшавии буриши масоҳат монанд мебошад. Дар ин ҳолат:

$$\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_c}\right)_{T_{\text{гуд.}}} = S_m - S_p \quad (12)$$

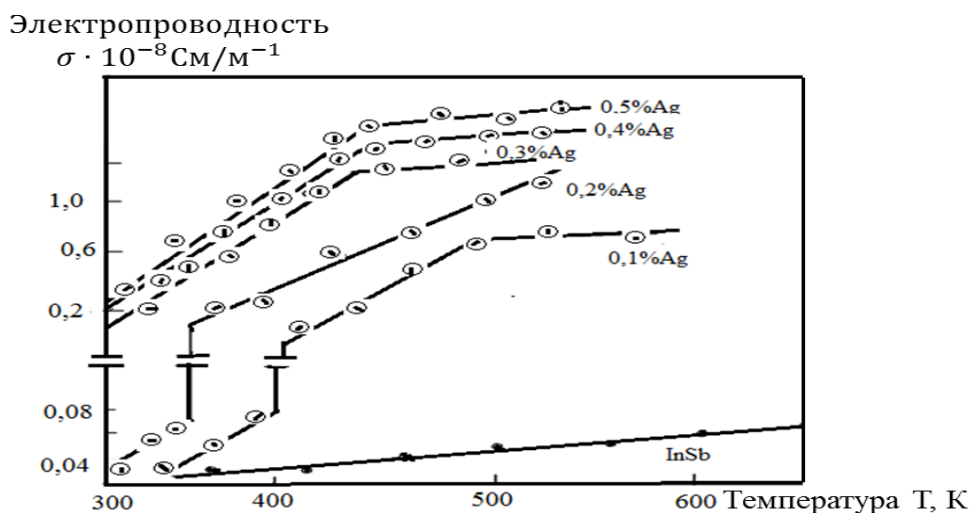
мешавад, ки дар инҷо S_m – вобастагии адади квантҳои дар байни кластерҳо дохилшаванда, дар воҳиди масоҳат барои метали моеъ, хангоми ҳарорати гудозиш $T_{\text{гуд.}}$ ба адади квантҳои шартан қабулшудае, ки дар воҳиди масоҳат қабул карда мешавад. S_p – масоҳати каниши байникласстерҳо дар воҳиди масоҳати буриши металл мебошад.

Дар асоси ифодаи (12) мо соҳаи нагузаронандагиро барои антимониди индий InSb дар ҳолати гудозиш баҳо дода, ҳосил намудем, ки $S_m - S_p = 12,5$ мешавад. Аз муқоисаи маълумот барои моеъҳои дучанда ва натиҷаҳои ҳосилнамуда барои моеъҳои сода мебарояд, ки дар ҳарорати гудозиш нисбати электрикгузарониҳо $\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_c}\right)$ барои нимқоқилҳои металлшаванда нисбат ба металлҳои содаи оддӣ хеле калон аст. Дар мисоли In: $(\rho_{\text{ж}}/\rho_{\text{ТВ}}) = 2,18$, барои Sb, $(\rho_{\text{ж}}/\rho_{\text{ТВ}}) = 0,61$.

Дар қисмати дуюми боби мазкур коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холлро таҷрибавӣ дар намунаҳои антимониди индийи бо нуқра 0,1% масс., 0,2% масс., 0,3% масс. , 0,4% масс, 0,5 % масс. чавҳаронидашуда дида баромадем [1-М - 4-М, 12-М - 23-М].

Ченкуниҳои бузургиҳои электрофизикӣ аз ҳарорати хонагӣ сар шуда, то ҳарорати 600 К гузаронида шуд.

Нишон дода шуд, ки электрикгузаронии намунаҳои антимониди индийи 0,1 % масс., 0,2 % масс., 0,3 % масс. , 0,4 % масс., 0,5% масс. бо нуқра чавҳаронидашуда дар ҳудудҳои ҳарорати 300–600К вобастагии хаттӣ дошта, бо зиёд кардани фоизи нуқра электрикгузаронӣ меафзояд (рас. 11).



Расми 11. Вобастагии ҳароратии электрикгузаронии антимониди индийи 0,1 % масс., 0,2 % масс., 0,3 % масс. , 0,4 % масс., 0,5 % масс. бо нуқра чавҳаронидашуда

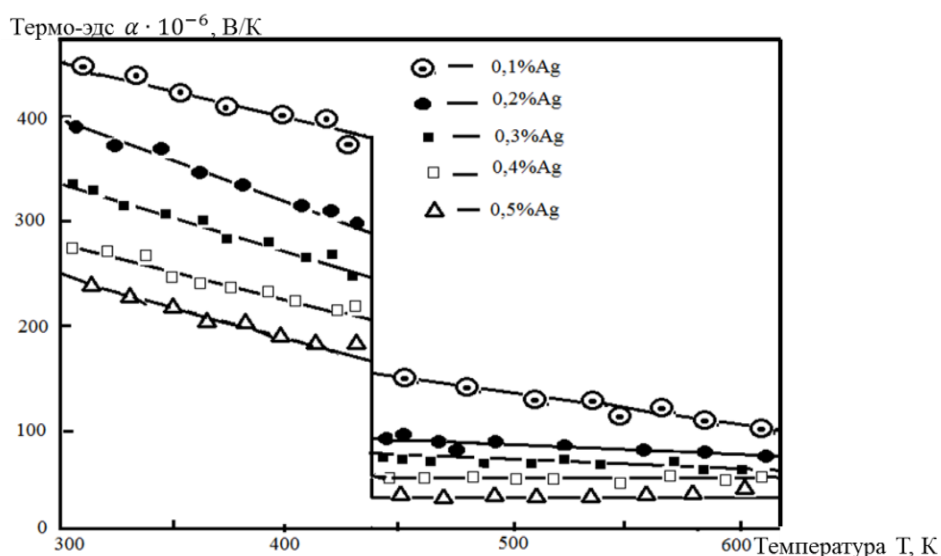
Чунин менамояд, ки дар ҷараёнгузаронии антимониди индий ба ғайр аз ҳомилони хоси заряд нақши асосиро ионҳои нуқра мебозанд. Барои ҳамаи намунаҳо табиати ҷараёнгузаронии нимноқилӣ мушоҳида мегардад. Бо истифода аз натиҷаҳои таҷрибавии электрикгузаронӣ васеъгии зонаи манъкунандаро ҳисоб намудем:

$\Delta E_g^\sigma = 0,047 \text{ эВ};$	InSb + 0,1 % масс. Ag;
$\Delta E_g^\sigma = 0,044 \text{ эВ};$	InSb + 0,2 % масс. Ag;
$\Delta E_g^\sigma = 0,031 \text{ эВ};$	InSb + 0,3 % масс. Ag;
$\Delta E_g^\sigma = 0,027 \text{ эВ};$	InSb + 0,4 % масс. Ag;
$\Delta E_g^\sigma = 0,025 \text{ эВ};$	InSb + 0,5 % масс. Ag.

Бо илова намудани нуқра васеъгии зонаи манъкунанда кам мешавад. Чӣ хеле аз расми 14 дида мешавад, вобастагии ҳароратии коэффитсиентҳо қэҳ-и гармӣ ва Холл байни ҳам сифатан мувофиқат мекунад. Ченкуниҳои коэффитсиенти қэҳ-и гармӣ (α) нишон медиҳад, ки намунаҳои InSb-и бо нуқра чавҳаронидашуда нисбат ба InSb-и тоза қимати нибатан баландтар доранд:

$\alpha_1 = 450 \text{ мкВ/К};$	InSb + 0,1 % масс. Ag;
$\alpha_2 = 390 \text{ мкВ/К};$	InSb + 0,2 % масс. Ag;
$\alpha_3 = 210 \text{ мкВ/К};$	InSb + 0,3 % масс. Ag;
$\alpha_4 = 105 \text{ мкВ/К};$	InSb + 0,4 % масс. Ag;
$\alpha_5 = 87 \text{ мкВ/К};$	InSb + 0,5 % масс. Ag.

Ҳангоми баланд намудани ҳарорат то ҳароратҳо 450К қимати коэффитсиенти қэҳ-и гармӣ кам мешад ва баъд тақрибан доимӣ мемонад (рас. 12).



Расми 12. Вобастагии ҳароратии қэх-и гармои антимониди индийи бо нукра чавҳаронидашуда

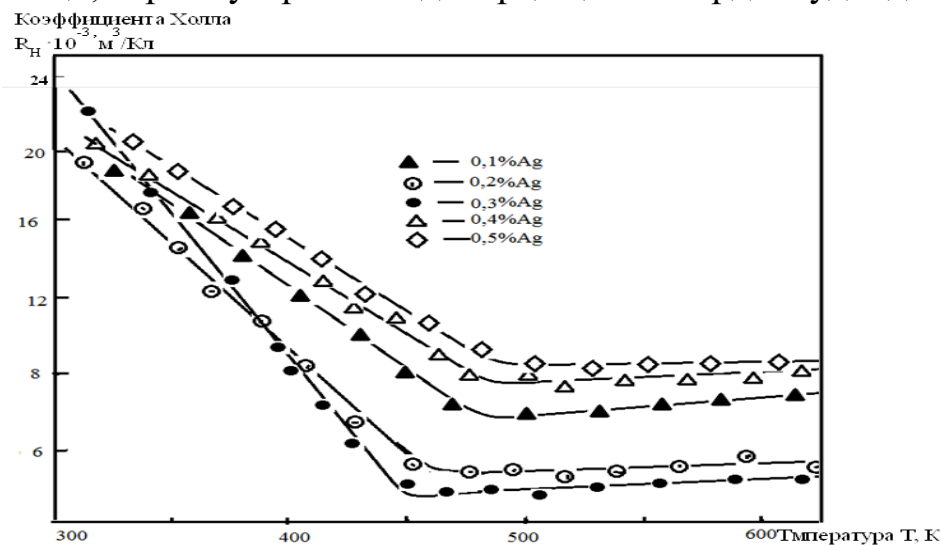
Чӣ хеле ки дида мешавад, таркиби $\text{InSb}+0,1\%$ масс. Ag нисбат ба $\text{InSb}+0,2\%$ масс. Ag , $\text{InSb}+0,3\%$ масс. Ag , $\text{InSb}+0,4\%$ масс. Ag , $\text{InSb}+0,5\%$ масс. Ag коэффитсиенти нисбатан хуби қэх-и гармоӣ дорад. Натиҷаҳои ба даст овардаи мо нишон медиҳанд, ки дар ҳароратҳои хонагӣ ба таркиби антимониди индий илова намудани нукра ба миқдори $0,1\%$ масс. Ag ; $0,2\%$ масс. Ag и $0,3\%$ масс. Ag бо аломати ҳомилони заряди монокристаллҳои антимониди индий таъсир намерасонад. Дар ҳарорати $\sim 350\text{ K}$ қимати ададии α тақрибан ба $200\text{-}300 \frac{\text{мкВ}}{\text{К}}$ баробар мешавад ва ҳангоми баландшавии ҳарорат то 450 K камшавии қимати қэх-и гармоӣ мушоҳида мегардад. Ҳангоми 500 K шудани ҳарорат қимати қэх-и гармоӣ ба $4 \div 6 \frac{\text{мкВ}}{\text{К}}$ баробар шуда, бо зиёд шудани ҳарорат тақрибан доимӣ мондани ин қимат мушоҳида мегардад.

Дар расми 12 натиҷаҳои таҷрибавие, ки ба вобастагии ҳароратии қэх-и гармоии намунаҳои антимониди индийи бо нукра $0,1\%$ масс., $0,2\%$ масс., $0,3\%$ масс., $0,4\%$ масс. ва $0,5\%$ масс. чавҳаронидашуда тааллуқ доранд, оварда шудааст. Коэффитсиенти қэх-и гармоӣ аломати манфӣ дорад. Бо афзудани фоизи нукра дар антимониди индий қимати ададии қэх-и гармоӣ кам мешавад. Дар айни ҳол ҳангоми афзудани ҳарорат коэффитсиенти қэх-и гармоӣ аз ҳароратҳои 500 K то 600 K тақрибан доимӣ мемонад.

Қайд намудан лозим аст, ки намунаи антимониди индий бо иловаи $0,1\%$ масс. нукра қимати нисбатан баланди қэх-и гармоӣ дошта, барои сохтани датчикҳои ҳароратӣ тавсия дода мешавад.

Ченкуниҳои коэффитсиенти Холл нишон медиҳад, ки дар ҳудуди ҳароратҳои $300 - 450\text{ K}$ бо баландшавии ҳарорат камшавии R_H мушоҳида мегардад (расми 13). Қимати ададии доимии Холл R_H дар ҳароратҳои 300 K тақрибан $2,2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3/\text{Кл}$ -ро ташкил медиҳад. Дар ҳароратҳои $\sim 450\text{ K}$ доимии Холл барои ҳамаи намунаҳо қимати камтарин мегарад ва ҳангоми афзоиши ҳарорат тақрибан доимӣ мемонад. Аз натиҷаҳои таҷрибавии

$R_H(T)$, $\alpha(T)$ ва $\sigma(T)$ баъзе бузургиҳои асосии физикӣ, ба монанди энергияи фаъл, консентратсия ва ҳаракатнокии ҳомилони заряд, вобастагии ҳаракатнокиҳо, гармигузаронӣ ва дигарҳо ҳисоб карда шуданд.



Расми. 13. Вобастагии ҳароратии коэффитсиенти Холл барои антимониди индийи бо нукура чавҳаронидашуда

Мо дар ҳарорати 350К баъзе бузургиҳои антимониди индийи бо нукура чавҳаронидашударо ҳисоб намудаем, ки дар ҷадвали 4 оварда шудааст.

Ҷадвали 4.

Баъзе бузургиҳои антимониди индийи бо нукура чавҳаронидашуда дар ҳарорати 300К

№, п/п	Таркиби намунаҳо	Консентратсия $n \cdot 10^{20}, \text{см}^{-3}$	Ҳаракатнокӣ μ_n , $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$	Гармигузаронӣ χ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	Энергияи Фермӣ $E_F \cdot 10^8, \text{эВ}$	Васеғии зонаи манъкунанда $E^g, \text{эВ}$
1.	InSb+0,1 % масс Ag	6,66(T=350K)	97(T=350K)	0,031	17,25	0,047
2.	InSb+0,2 % масс Ag	6,57	324	0,027	13,62	0,044
3.	InSb+0,3 % масс Ag	6,43	972	0,025	10,05	0,031
4.	InSb+0,4 % масс Ag	6,34	1032	0,023	7,25	0,028
5.	InSb+0,5 % масс Ag	6,27	1121	0,022	5,62	0,025

Ҳамин тариқ, намунаҳои бо нукура чавҳаронидашудаи антимониди индий дар ҳудуди ҳароратҳои 300 – 600 К нисбати антимониди индийи тоза қимати баланди электрригузаронӣ дорад. Дар намунаи антимониди индийи 0,1 % масс. бо нукура Ag чавҳаришуда нисбат ба 0,2 % масс., 0,3 % масс., 0,4 % масс. ва 0,5% масс. бо нукура (Ag) чавҳаришуда коэффитсиенти баланди қэҳ-и гармой мушоҳида мегардад [1-М -7-М, 9-М - 23-М].

Коэффитсиентҳои қэҳ-и гармой ва Холл якдигарро пур мекунанд.

Хулоса

1. Оид ба натиҷаҳои асосии илмӣ:

1. Чустучӯи маводҳои нави бузургиҳои термоэлектрикии самаранокии баланддошта дар ҳолатҳои сахтӣ ва моегӣ бо роҳҳои мукамалгардони масолаҳои ҷавҳаришудаи нимноқилӣ, коркарди гармоӣ ва ҳамчоя гудохтани онҳо бо қисматҳои аввала, яке аз масъалаҳои асосии техникаи электронӣ ҳисобида шудааст. Истифодаи амалии ин пайвастагиҳо ва маҳлулҳои сахт, дар асоси ин пайвастагиҳои нимноқилии ҷавҳаронидашуда, ки ба сифати ҷузъи ҷаъоли техникаи электронӣ истифода мегарданд ва моҳияти ин масъала дар замони муосир нишон додааст [1-М- 7-М, 9-М- 12-М, 17-М, 18-М, 19-М].

2. Чустучӯи маводҳои нави нимноқилӣ, дар ҳолатҳои сахтӣ ва моегӣ бо роҳҳои ҷавҳаронидани пайвастагиҳои нимноқилӣ, ки қимати термоэлектрикии баланддоранд ва коркарди гармоии онҳо масъалаи асосӣ ҳисобида шуда, истифодаи ин маводҳо дар техникаи электронӣ дар ҳолатҳои сахтӣ ва моегӣ инчунин аҳамияти техникаи ҳолати ҷавҳаронидашудаи онҳо нишон дода шудааст [1-М, 3-М, 5-М, 6-М, 10-М, 22-М, 23-М].

3. Таҳқиқи хосиятҳои электрикузаронӣ ва зарибҳои қэҳ-и гармоӣ ва Холл-и маводҳои нимноқилӣ дар ҳароратҳои паст бо истифодаи қаппаки коркардшуда дар ҳудудҳои васеи ҳарорат ва дастгоҳ барои полош (синтез), таҳқиқи хосиятҳои электрофизикӣ ва термоэлектрикӣ оварда шудааст [1-М, 2-М, 5-М, 6-М, 16-М, 18-М, 19-М, 20-М].

4. Нақшаи масома (ячейка) барои таҳқиқи хосиятҳои электрогузаронӣ, зарибҳои қэҳ-и гармоӣ ва Холл барои металлҳо ва нимноқилҳо дар ҳолатҳои сахтӣ ва моегӣ нишон дода шуда, усулҳои амалиёти технологӣ, раванди полош (синтез) ва тайёр намудани намунаҳо барои ченкунӣ оварда шудааст [1- М, 5-М, 6-М, 15-М, 16-М, 19-М].

5. Дастгоҳи таҳқиқотӣ ва усули полош (синтез) барои намунаҳои антимолиди индий ва ҳолати бо нукра ҷавҳаронидашудаи он, ки шакли геометрии росткунҷаро дорад, барои таҳқиқот коркад карда шудааст [1-М, 5-М, 6-М, 18-М, 19-М, 23-М].

6. Аввалин маротиба намунаҳои антимолиди индий бо нукра ҷавҳаронидашуда полош (синтез) карда шуда, оид ба вобастагии ҳароратии электрикузаронӣ ва зарибҳои қэҳ-и гармоӣ ва Холл маълумотҳои таҷрибавӣ ба даст оварда шуда, дар асоси маълумотҳои таҷрибавии ба даст овардашуда бузургиҳои ҳаракатнокии зарядҳо, консентратсияи ҳомилони заряд, энергияи ҷаъол, массаи эффективӣ ва ғ-ҳо ҳисоб карда шудаанд [1-М- 3-М, 5-М, 6-М, 7-М, 16-М, 19-М, 23-М].

2. Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот

1. Маълумотҳои таҷрибавӣ ва таҳлили зарибҳои электрикузаронӣ, гармигузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холл самаранокии баланддоштани моддаи таҳқиқшаванда (InSb+Ag)-ро нишон дода дар соҳаҳои гуногуни техникаи электронии нимноқилӣ барои сохтани асбобҳои нимноқилии муосир тавсия мегардад.

2. Пайвастагии антимониди индий (InSb), ки ба миқдори 0,1 % масс. бо нуқра (Ag) ҷавҳаронида шудааст, нисбат ба ҳолати тозаи ин пайвастагӣ зарби қэҳ-и гармоии баланд дошта, метавонад барои сохтани датчикҳои ҳароратӣ нақши асосӣ дошта бошад.

**ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ ДАРЁФТИ
ДАРАҶАИ ИЛМӢ АЗ РӮӢИ МАВЗӢИ ДИССЕРТАТСИЯ**

*Мақолаҳои дар маҷцалаҳои илмӣ тавсияшудаи ҚОА-и назди Президенти
Ҷумҳурии Тоҷикистон навишташуда:*

- [1-М]. Баротов Н.И., Антимонида индия легированного серебром. /Баротов Н.И.// Вестник Таджикского Национального университета, Серия естественных наук – Душанбе, 2021. № 2 – с. 196-206.
- [2-М]. Баротов Н.И. Применение М-модели к описанию жидкого антимонида индия. /Баротов Н.И, Гафоров С. //Вестник Таджикского Национального университета, Серия естественных наук. - Душанбе, 2021. №3 – с. 224-234.
- [3-М]. Баротов Н.И. Современные модели металлов и полупроводников в твердом и жидком состоянии. /Баротов Н.И., Ситамов С., Гафоров С., //Научно-медицинский журнал, Хатлонского государственного медицинского университета, - Дангара, 2021.-№ 10 (2), - с. 136 – 140.
- [4-М]. С.К. Каримов, С. Гафоров, Н.И. Баротов, У.А. Гулматов. Исследование электрофизических свойств чистого и легированного антимонида галлия железом в зависимости от температуры. /С.К. Каримов, С. Гафоров, //Н.И. Баротов, У.А. Гулматов. Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал) 1/4(168) – Душанбе, 2015 - с. 97-101.
- [5-М]. Гафоров С., Шарипов А. П., Баротов Н.И.. Электрофизические и термодинамические свойства антимонида галлия и легированные образцы вблизи температуры плавления в твердом и жидком состоянии., / Гафоров С., Шарипов А. П., Баротов Н.И Вестник Таджикского национального университета Серия естественных наук, 2023. № 4. ст.133- 146.
- [6-М]. Баротов Н.И., С. Гафоров. Влияние серебра на электрофизические свойства антимонида индия. /Баротов Н.И., С. Гафоров. //Вестник Дангаринского государственного университета, Серия естественных наук 2022/ №1 (19) ст. 109-116.
- [7-М]. Гафоров С., Баротов Н. И.. Температурные зависимости электрофизические свойства халькогенидов серебра. / Гафоров С., Баротов Н. И. //Вестник Дангаринского государственного университета, Серия естественных наук 2023/ №1 (23) ст. 96-107

Ихтироот:

- [8-М]. Каримов С. К., Баротов Н. И., Универсальная установка для очистки цветных металлов, синтеза и получения кристаллов полупроводниковых соединений. /С. К. Каримов, Н. И. Баротов //Заявка №1400905, на изобретение выдан малый патент ТҶ. №710. МПК С30 В13/06; С30В13/16, зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан, 16 июля 2015г. – Душанбе, 2015.

*Мақолаҳои дар дигар маҷмӯаҳои илмӣ, мавдӯҳои конференсияҳои
байналӣ ва ҷумҳуриявӣ наиришуда*

- [9-М]. **Н.И. Баротов**, С. Гафоров. Физико-химические свойства соединений антимонида индия и антимонида индия легированного серебром. /**Н.И. Баротов**, С. Гафоров// Институт технологий и инновационного менеджмента в городе Куляб, научно – популярный журнал, «Наука и технология XXI века» №2(1) - Куляб, 2020 - с. 48-55.
- [10-М]. Штерн Ю.И., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Собирова У. Электропроводность, термо-эдс и эффект Холла в антимониде галлия, легированного железом. / Штерн Ю.И., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Собирова У.//, Вестник Курган-тюбинского государственного университета имени Носира Хусрава, научный журнал , 2/2 (54) - Бохтар-2018, -с. 46-47.
- [11-М]. Каримов С.К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Барическая зависимость магнетосопротивления InSb в условиях всестороннего сжатия. / Каримов С.К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, //Вестник Курган-тюбинского государственного университета имени Носира Хусрава, 2/2 (54) – Бохтар, 2018.- с. 27-28.
- [12-М]. Каримов С.К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Электрофизические свойства антимонида галлия (GaSb), легированного хромом (Cr). / Каримов С.К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**//, Вестник Курган-тюбинского государственного университета имени Носира Хусрава 2/1 (52). – Бохтар, 2018. с. 29-33.
- [13-М]. С. Ситамов, **Н.И. Баротов**, Ш.И. Холов. Изменение эффективной массы и некоторые физические свойства соединения $A^{III}Sb$ в твердом и жидком состоянии. /С. Ситамов, **Н.И. Баротов**, Ш.И. Холов // Симург - Научно медедсинский журнал 1¹2019, Ежеквартальное издание Хатлонского государственного медедсинского университета - Дангара, 2019. - с. 46-51.
- [14-М]. Кальцов А.Ш., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Шарипов А. П. Некоторые физические свойства чистых и легированных GaSb, GaSb+Cr, GaSb+GaAs. / А.Ш. Кальцов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов.**, А.П. Шарипов//, VI-ая международная научно теоретическая конференция: «Физико-химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов». Рес. Таджикистан г. Куляб, 25-27 декабря 2013 – Куляб, 2014, с. 6-8.
- [15-М]. Айвазов А.А., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Собирова У. Экспериментальное исследование электропроводность и термо-ЭДС в $Bi-ViMn$. / А.А. Айвазов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов**, У. Собирова //VI-ая международная научно теоретическая конференция: «Физико-химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов». Рес. Таджикистан г. Куляб 25-27 декабря 2013 - Куляб, 2014, с. 39-40.

- [16-М]. Штерн Ю.И., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Собирова У. Электропроводность, термо-ЭДС и эффект Холла в антимониде галлия легированного железом. / Ю.И. Штерн, С. Гафоров, **Н.И. Баротов**, У. Собирова //VI-ая международная научно теоретическая конференция: «Физико- химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов». Рес. Таджикистан, г. Куляб 25-27 декабря 2013 – Куляб, 2014, с. 41-44.
- [17-М]. Каримов С. К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Технологические процессы получения полупроводниковых материалов в космосе. / С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов** // VI-ая международная научно теоретическая конференция: «Физико- химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов». Рес. Таджикистан г. Куляб 25-27 декабря 2013 – Куляб, 2014 - с. 65-70.
- [18-М]. Каримов С. К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Механизм формирования неоднородности в $INSb$. /С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов** //,VI-ая международная научно теоретическая конференция: «Физико- химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов». Республики Таджикистан г. Куляб 25-27 декабря 2013 – Куляб, 2014. - с. 82-85.
- [19-М]. Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Применение м-модели к описанию расплава антимонида индия. /Гафоров, **Н.И. Баротов** //Материалы республиканская научно-теоретическая конференция «Актуальные проблемы науки и образования в условиях глобализации» в честь 75-летия Кулябского государственного университета имени А. Рудаки, (часть 1) - Куляб, 2020 - с. 133-138.
- [20-М]. Каримов С. К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Исследование электрофизических свойств в расплавах халькогенидов серебра. //С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов** //, Материалы республиканская научно-теоретическая конференция «Актуальные проблемы науки и образования в условиях глобализации» в честь 75-летию Кулябского государственного университета имени Абуабдулло Рудаки, (часть 1) – Куляб, 2020 - с. 22-26.
- [21-М]. Каримов С.К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Ситамов С. Обоснование металлизации жидкого антимонида индия. /С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов**, С. Ситамов. //Материалы международной научно практической конференции ГОУ Хатлонского государственного медицинского университета (1-я годовичная), посвященной «Годом развития села, туризма и народных ремёсел (2019-202.)», 25 декабря 2020 - Дангара, с. 359-364.
- [22-М]. **Н.И. Баротов**, С.К. Каримов, С. Гафоров, С. Ситамов. Электрофизические свойства антимонида индия и антимонида индия легированного серебром. /**Н. И. Баротов**, С.К. Каримов, С. Гафоров, С.

Ситамов. //Материалы международной научно практической конференции ГОУ Хатлонского государственного медицинского университета (1-я годовичная), посвященной «Годом развития села, туризма и народных ремёсел (2019-2020.)», 25 декабря 2020 - Дангара, 2015 - с. 276-278.

[23-М]. Баротов Н.И. Интерпретация М-модели к описанию расплава жидкого антимонида индия. / **Баротов Н.И.** //Материалы международной научно – практической конференции «Развитие математических, точных и естественных наук в современных условий: проблемы и перспективы» Дангара 28 – 29 апреля 2023 года: «Мулквар», 2023, ст. 303-311

Аннотатсия

ба рисолаи илмии Баротов Намозкул Иноятович дар мавзӯи «Таҳқиқи бузургиҳои физикию химиявии маводҳои нимноқилии чавҳаронидашуда дар асоси антимониди индӣ»

Калидвожаҳо: антимониди индӣ, чавҳаронидашуда, синтез, усулҳои технологӣ, усулҳои тадқиқотӣ, электрикгузаронӣ, қэх-и, эффекти Холл, ҳаракатнокӣ, гармигузаронӣ, массаи эффективӣ, фаъолияти кимиёвӣ, концентратсия, нимметалл, нимноқил, энергияи фермӣ, лазер, генераторҳои термоэлектрикӣ.

Омӯзиши ҳодисаҳои электронӣ дар системаҳои бетартиб ва нимноқилҳо - нимноқилҳои сахт, моеъ ва аморфӣ ва моеъҳои металлӣ нақши асосиро мебозад. Махсусан, нимноқилҳои чавҳаронидашуда ҳамчун маводи асосии лазерҳо ва асбобҳои термоэлектрикӣ истифода мешаванд.

Дар рисола хосиятҳои физикӣ ва химиявии антимониди индӣ бо истифода аз лигатура – нуқра вобаста ба ҳарорат ва концентратсияи зарбҳои Холл, қэх-и гармоӣ, электрикгузаронӣ, ҳаракатнокии заряд, концентрация ва дигар бузургиҳои физикӣ ва химиявӣ барои тарҳрезии дастгоҳҳои электронӣ баррасӣ карда мешаванд. Ба ин мақсад дар рисола объекти таҳқиқот пайваستاгҳои антимониди индӣ ва ҳолати чавҳаронидашудаи он бо нуқра интиҳоб карда шудаанд. Бо мақсади ҷустуҷӯи маводи нави фаъол намунаҳои антимониди индӣ бо илова кардани нуқра ба андозаи аз 0,1÷0,5 % масс. Ag омӯхта шуданд. Дар ин намунаҳо бори аввал вобастагии ҳароратии электрикгузаронӣ, қэх-и гармоӣ ва коэффиенти Холл омӯхта шуданд. Маълумотҳои таҷрибавӣ ба таври графикӣ тасвир карда шудаанд. Намунаҳои антимониди индӣ бо иловаи нуқра бори аввал синтез карда шуда, вобастагии ҳароратӣ бузургиҳои муҳимми электрофизикӣ, монанди электрикгузаронӣ, қэх-и гармоӣ ва зарби Холл ба таври таҷрибавӣ омӯхта шуданд. Дар асоси маълумотҳои таҷрибавӣ концентрация ва ҳаракатнокии зарядҳо, энергияи активатсия, гармигузаронӣ ва дигар бузургиҳо ҳисоб карда шудаанд.

Натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки пайваستاгҳои антимониди индӣ 0,1 % масс. бо нуқра чавҳаронидашуда нисбатан қэх-и гармоии баландтар дошта онро ҳамчун маводии фаъол барои истифода дар сохтмони генераторҳои термоэлектрикӣ тавсия кардан мумкин аст.

Аз ин лиҳоз, масъалаи дар рисолаи илмӣ баррасишаванда яке аз масъалаҳои актуалии физика ва химияи муосири маводи нимноқилӣ буда, қиматҳои таҷрибавӣ ба даст овардашуда аҳамияти бузурги илмӣ ва амалӣ доранд.

Аннотация

диссертации Баротова Намозкула Иноятовича на тему «**Исследование физико-химических параметров легированных полупроводниковых материалов на основе антимонида индия**»

Ключевые слова: антимонид индия, синтез, технологические приёмы, методы исследования, электропроводность, термо-эдс, эффект Холла, подвижность, теплопроводность, примесь, легированные, эффективная масса, химической активностью, концентрация, полуметалл, полупроводник, энергия Ферми, концентрация, лазеров, термоэлектрических генераторов.

Изучение электронных явлений играет ключевую роль в неупорядоченных и полупроводниковых системах – твердых, жидких и аморфных полупроводниках и металлических жидкостях. В частности, пористые полупроводники, используемые в качестве основных материалов лазеров и термоэлектрических устройств.

В диссертации рассмотрены физико-химические свойства антимонида индия с применением лигатуры - серебра, в зависимости от температуры и концентрации коэффициентов Холла, теплопроводности, электропроводности, подвижности заряда, концентрации и др. физико-химических параметров для конструкции электронных устройств. В связи с этим в диссертации в качестве объекта исследования выбраны соединения антимонида индия, в качестве лигатуры – серебро. С целью поиска нового высокоактивного материала были исследованы образцы антимонида индия с добавлением лигатуры в количестве $0,1 \div 0,5$ масс. %Ag. В этих образцах впервые исследованы температурные зависимости электропроводности, теплопроводности и коэффициента Холла. Экспериментальные данные иллюстрируются графически. Впервые синтезированы образцы антимонида индия с добавкой серебром и экспериментально исследована температурная зависимость таких важных электрофизических параметров, как электропроводность, теплопроводность и коэффициента Холла. На основе экспериментальных данных рассчитаны концентрация и подвижность зарядов, энергия активации, теплопроводность и другие параметры.

Результаты исследования показывают, что соединения антимонида индия с концентрацией 0,1 масс.% Ag имеет более высокой термо-эдс чем, и могут быть рекомендовано в качестве активного материала для использования в конструкции термоэлектрических генераторов.

В связи с этим, рассматриваемой проблемы в диссертационной работе, является одним из актуальных вопросов современной физики и химии полупроводниковых материалов, полученные экспериментальные значения имеют большое научное и практическое значение.

Annotation

dissertation of Barotov Namozkul Inoyatovich on the topic "Research of the physicochemical parameters of doped semiconductor materials based on indium antimonide"

Keywords: indium antimonide, synthesis, technological methods, research methods, electrical conductivity, thermo-emf, Hall effect, mobility, thermal conductivity, impurity, doped, effective mass, chemical activity, concentration, semimetal, semiconductor, Fermi energy, concentration, lasers, thermoelectric generators.

The study of electronic phenomena plays a key role in disordered and semiconductor systems - solid, liquid and amorphous semiconductors and metallic liquids. In particular, porous semiconductors used as the main materials of lasers and thermoelectric devices.

The dissertation discusses the physical and chemical properties of indium antimonide using a ligature - silver, depending on the temperature and concentration of Hall coefficients, thermal conductivity, electrical conductivity, charge mobility, concentration, and other physical and chemical parameters for the design of electronic devices. In this regard, in the dissertation, indium antimonide compounds were chosen as the object of study, and silver was chosen as the ligature. In order to search for a new highly active material, samples of indium antimonide were studied with the addition of a master alloy in the amount of $0.1 \div 0.5$ wt. % Ag. In these samples, the temperature dependences of the electrical conductivity, thermal conductivity, and Hall coefficient were studied for the first time. Experimental data are illustrated graphically. Samples of indium antimonide with the addition of silver were synthesized for the first time, and the temperature dependence of such important electrophysical parameters as electrical conductivity, thermal conductivity, and the Hall coefficient was experimentally studied. On the basis of experimental data, the concentration and mobility of charges, activation energy, thermal conductivity, and other parameters are calculated.

The results of the study show that indium antimonide compounds with a concentration of 0.1 wt.% Ag have a higher thermoelectric power than, and can be recommended as an active material for use in the construction of thermoelectric generators.

In this regard, the problem under consideration in the dissertation work is one of the topical issues of modern physics and chemistry of semiconductor materials, the obtained experimental values are of great scientific and practical importance.