

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

На правах рукописи

**УДК:539.1.074.55:546.76(540)
ББК:31.233:24.125(2И)
Б-27**

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 - 2022

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

**Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,
дотцент Гафоров Сатор**

Официальные оппоненты: доктор химических наук, профессор, главный
научный сотрудник институт химии имени В.И.
Никитина Национальной академии наук
Таджикистана
Абулхаев Владимир Джалолович

*кандидат химических наук, доцент кафедры
экспериментальной физики Таджикского
Государственного педагогического
университета имени Садриддина Айни*
Нуров Курбонали Бозорович

Ведущая организация: Государственного научного учреждения
«Центр исследования инновационных технологии
при национальная академия наук
Таджикистана»

**Защита состоится 17. 06. 2022 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 « ____ » _____ 2022г.

**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. Причем 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 $A^{III}B^V$ 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, гальваноманнитных, 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 $A^{III}B^V$ - 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, надёжности 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 $A^{III}B^V$, 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 твёрдом состоянии как полуметалл, а при переходе из твёрдого 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 19 работ, в том числе 4 из них в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте РТ и ВАК РФ, 14 тезисов докладов на международных и республиканских конференциях и одно изобретение.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, IV глав, выводов, списка использованной литературы – 174 источников. Диссертация изложена на 130 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

2 и 3. 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 до 1100К.

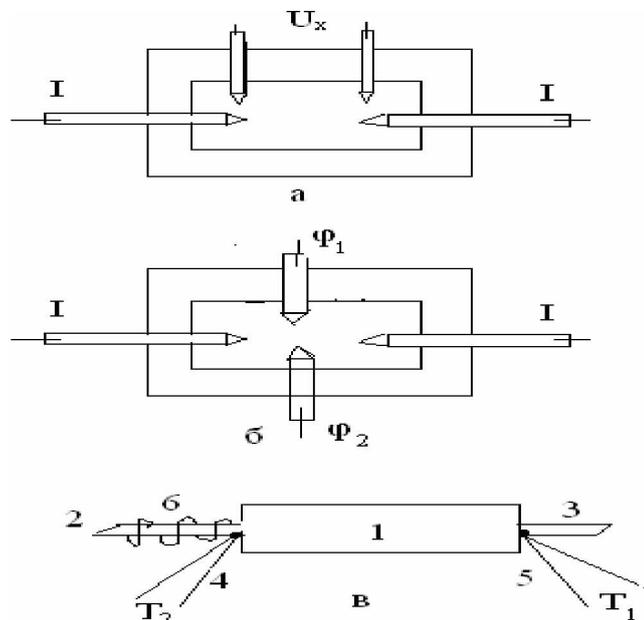


Рисунок 2. Держатели для измерения электропроводности, константа Холла и термо-эдс в твёрдом состоянии

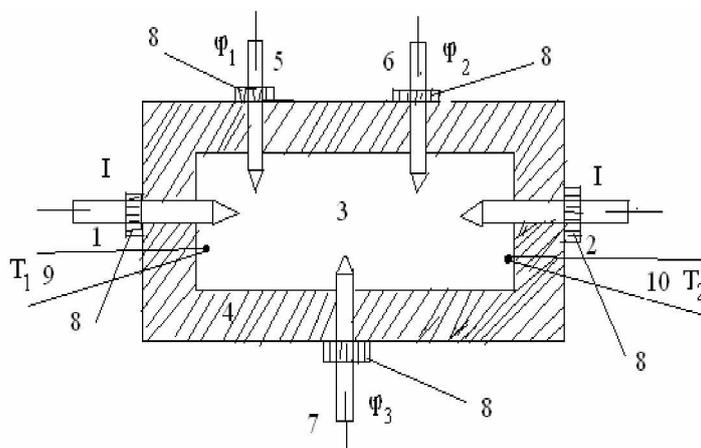


Рисунок 3. Технологическая схема держателя для измерения коэффициента электропроводности, термо-эдс и Холла в твёрдом состоянии.

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 материал ячейки является керамика марки ГМ (рис.4).

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.

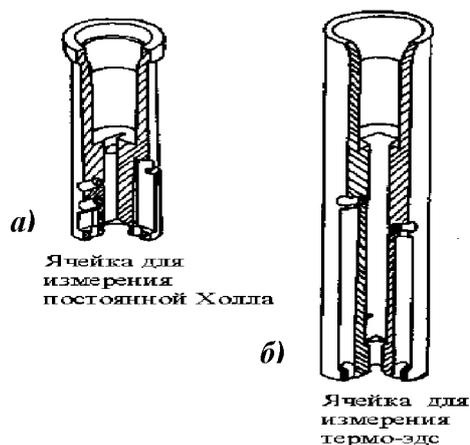


Рисунок 4. Схема измерительной ячейки для измерения электрофизических параметров: а –ячейка У-1,- для измерения электропроводности и коэффициента Холла в твёрдом и жидком состоянии; б-ячейка У-2 - для измерения термо-эдс в твёрдом и жидком состоянии.

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:

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

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 измерения производили на чистом антимониде индия и антимониде индия, легированном серебром [1-А - 8-А].

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, так как давление паров *In* и *Sb* имеет низкое значение при температуре плавления *InSb*, равной 796К (рис. 5). 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% 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. 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» [5-A], и были синтезированы сплавы с содержанием 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 % 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_{nl} 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 б.

Таблица 1.

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

Температура Т. К	Электропроводность, $\sigma \cdot 10^{-5}, \text{См} \cdot \text{м}^{-1}$	Температура Т. К	Термо-эдс, $\alpha \cdot 10^6,$ $\text{В} \cdot \text{К}^{-1}$	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 6, 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.

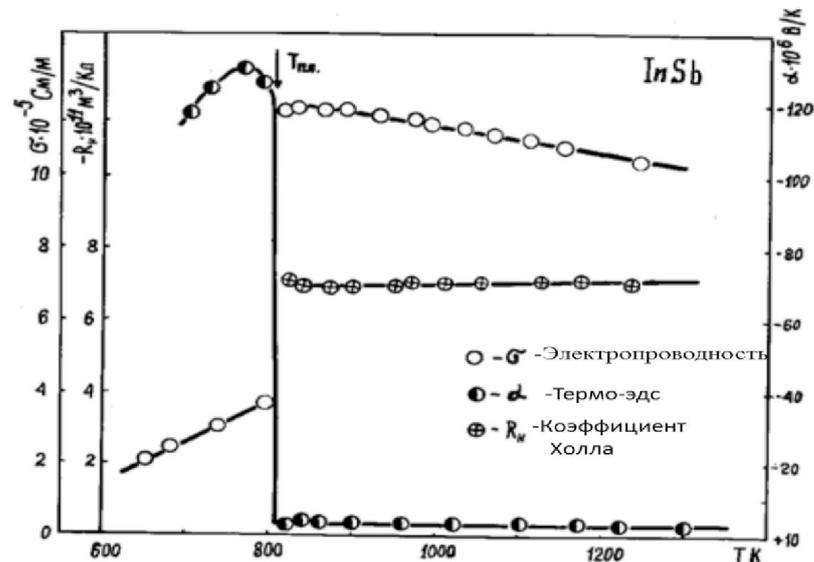


Рисунок.6. Температурная зависимость электропроводности, термо-эдс и коэффициента Холла InSb при высоких температурах.

Термо-эдс InSb в твердой фазе вблизи плавления имеет значение, приблизительно $120 \cdot 10^{-6}$ В/К, что хорошо согласуется с литературными данными [7], а при плавлении наблюдается инверсия знака с отрицательного на положительный (рис. 6).

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 $P = 9 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$. 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 $\sim 1250\text{К}$. Численные значения термо-эдс сразу после плавления составляют $\sim 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ В/К}$, что соответствует металлическому уровню. Судя по ходу температурных зависимостей и полученных численных данных $\sigma(T)$ вблизи плавления в твердой фазы $E^\sigma = 0,18 \pm 0,01 \text{ эВ}$ 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 -13-А].

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

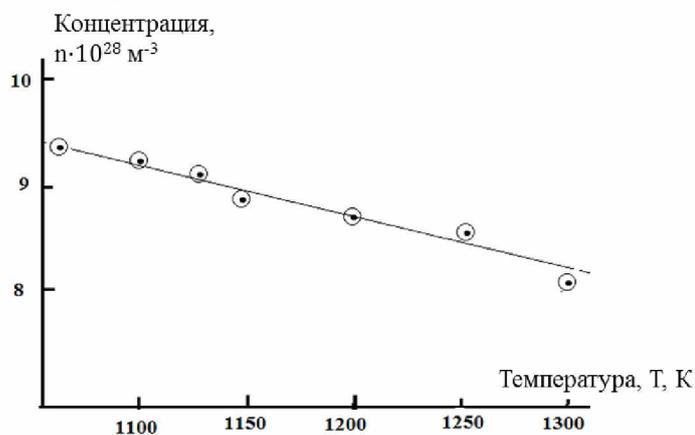


Рисунок 7. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в InSb в жидком состоянии

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 7. Как видно на рисунке 7 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 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 8.

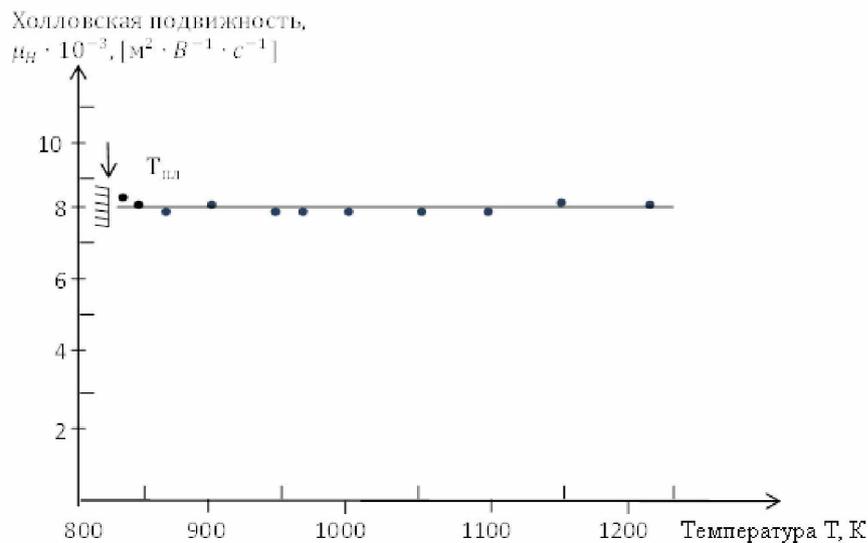


Рисунок 8. Температурная зависимость холловская подвижности в InSb в жидком состоянии

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, 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 трехузельных 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 $a = 3\text{Å}$.

Эти данные указывают на то, что в жидком InSb имеет место случай двухмерный при $a = 3\text{Å}$ 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 антимионида индия в жидкой фазе

Температура Т, К	Теплопроводность, $\chi_{эл}, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$	Температура Т, К	Холловская подвижность $\mu_H \times 10^4, \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{сек}}$	Температура Т, К	Концентрация, $n_{элект} \times 10^{-28}, \text{м}^{-3}$	Температура Т, К	радиус сферы Ферми, $k_F \times 10^{10}, \text{м}^{-1}$	Длина свободного пробега $\bar{L}, \text{Å}$	Эффективная масса, $m^* \times 10^{28}, \text{кг}$	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 антимионид индия вблизи плавления в твёрдой фазе имеет проводимость, а после плавления, т. е в жидкой фазе, $\sigma_{ж} = 11,97 \cdot 10^5 \frac{\text{См}}{\text{м}}$, а отношение $\frac{\sigma_{ж}}{\sigma_{т}} = 30,1$.

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 соответствующего вырожденного состояния для определения уровня Ферми приводится:

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

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:

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

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

откуда:

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 9.

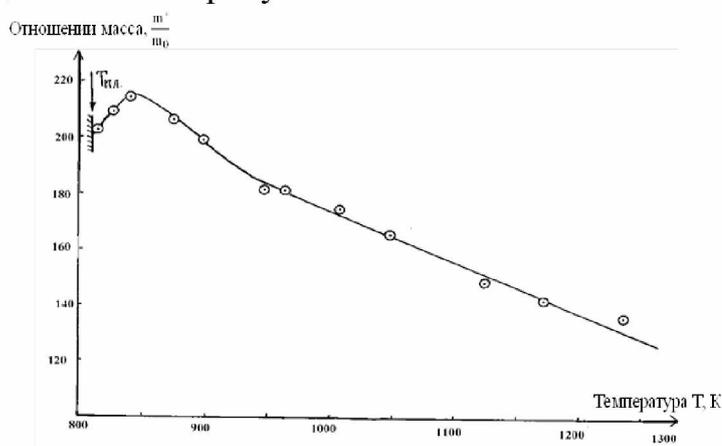


Рисунок 9. Температурная зависимость отношения масс в жидкой InSb.

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 $\mu_{\alpha} = \mu_{\text{H}}$.

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 $\mu_{\text{H}} = r\mu_{\alpha}$. В случае, когда время релаксации $\tau = \text{const}$, т. е. не зависит от энергии: $r=1$, поэтому в нашем случае имеет место: $r = \frac{\mu_{\text{H}}}{\mu_{\alpha}} = 1$.

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: $E_{\text{F}}=6 \cdot 10^{22} \text{ эВ}$. 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:

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

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

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 $S_{\text{F}} \cdot 10^{20}$, 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. 10), 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; $W_0 = 2,45 \cdot 10^{-8} \text{Вт} \cdot \text{Ом}/\text{град}^2$.

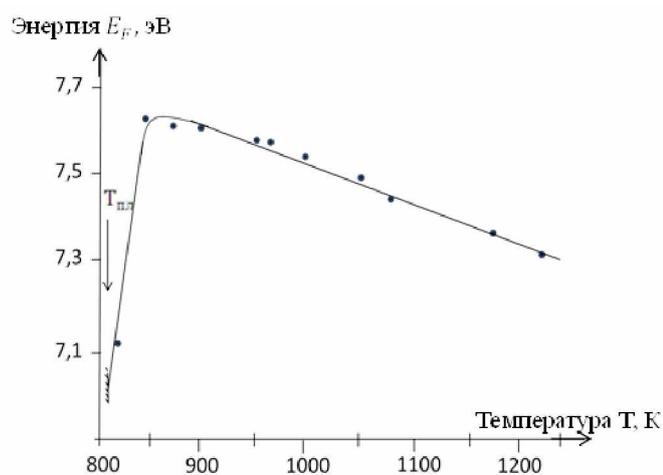


Рисунок 10. Температурная зависимость E в жидкой InSb.

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

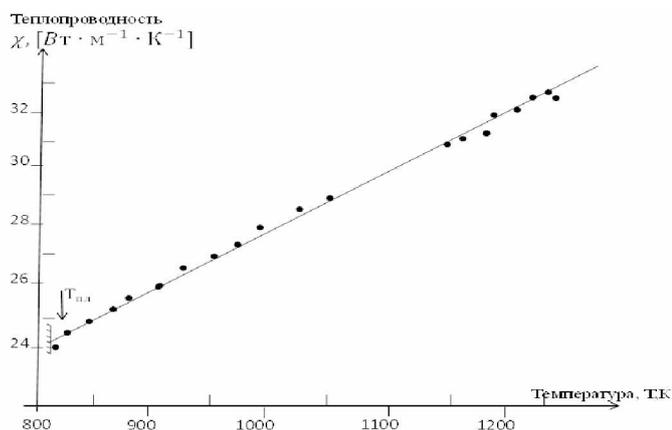


Рисунок 11. Температурная зависимость теплопроводности InSb.

Известно, что в чистом In имеет для χ следующее значение: $\chi = 36,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$, а для Sb имеет: $\chi = 26,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$. Как видно из таблицы, с повышением температуры наблюдается рост коэффициента теплопроводности (рисунок 11).

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, 10-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 условие $kL \gg 1$, 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. 12). Как видно на рисунке 12, 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.

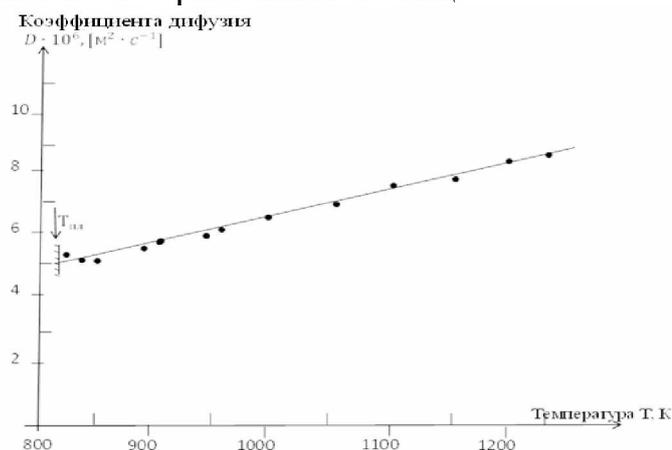


Рисунок 12. Температурная зависимость коэффициента диффузии в жидкой InSb

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].

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 плавления 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 – э.д.с. и коэффициента Холла образцов антимонида индия, легированного серебром.

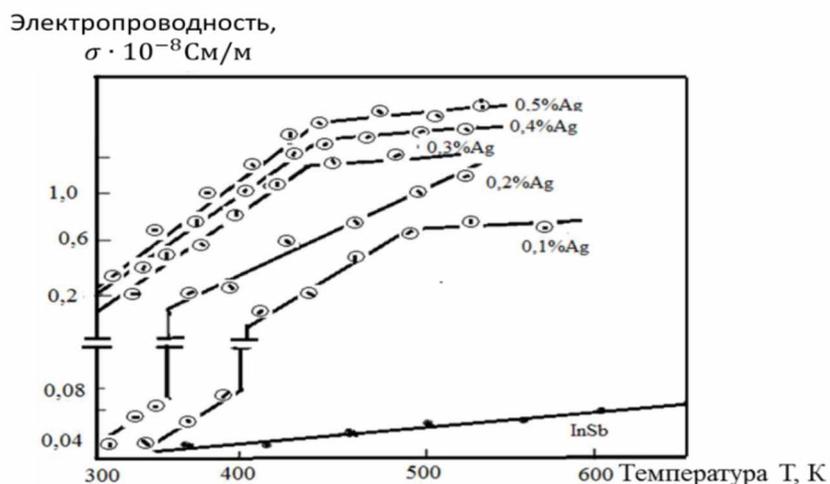


Рисунок 13. Температурная зависимость электропроводности антимонида индия, легированного серебром.

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. 13). [1-А, 2-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 ;	<i>InSb + 0,1 % Ag;</i>
$\Delta E_g^\sigma = 0,044$ эВ ;	<i>InSb + 0,2 % Ag;</i>
$\Delta E_g^\sigma = 0,031$ эВ ;	<i>InSb + 0,3 % Ag;</i>
$\Delta E_g^\sigma = 0,027$ эВ ;	<i>InSb + 0,4 % Ag;</i>
$\Delta E_g^\sigma = 0,025$ эВ ;	<i>InSb + 0,5 % Ag.</i>

Ширина запрещенной зоны с увеличением содержания примеси серебра уменьшается.

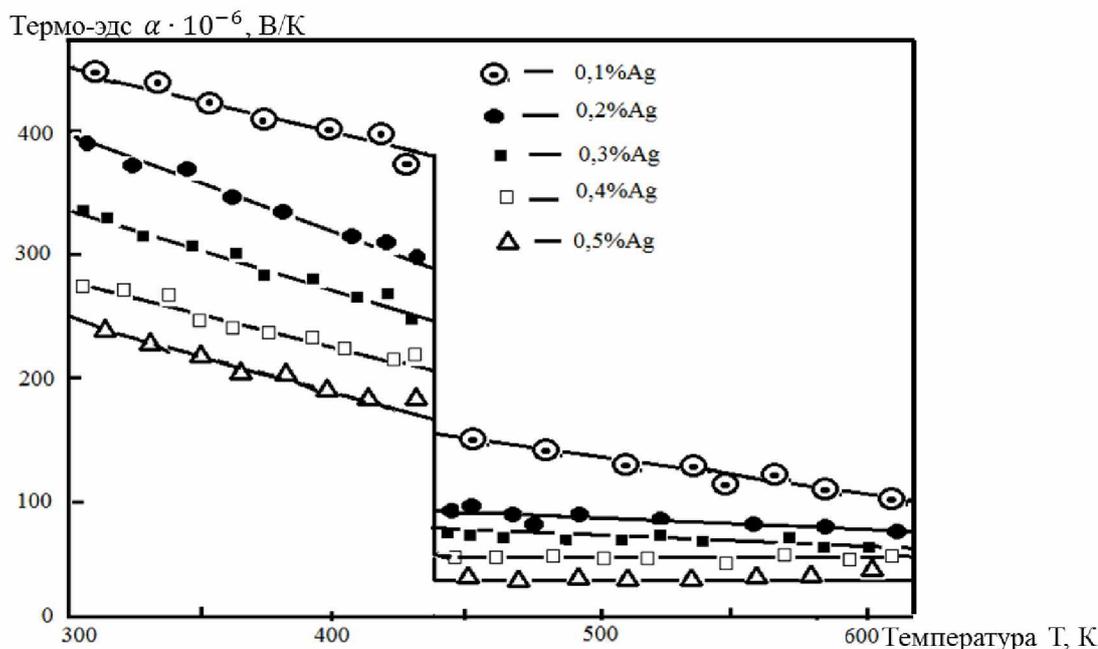


Рисунок 14. Температурная зависимость термо-эдс антимонида индия, легированного серебром

Как видно на рисунке 14, температурная зависимость термо-эдс и константа Холла качественно согласуются между собой. 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 % Ag;
$\alpha_2 = 390$ мкВ/К;	InSb + 0,2 % Ag;
$\alpha_3 = 210$ мкВ/К;	InSb + 0,3 % Ag;
$\alpha_4 = 105$ мкВ/К;	InSb + 0,4 % Ag;
$\alpha_5 = 87$ мкВ/К ;	InSb + 0,5 % Ag.

Далее данный коэффициент почти остаётся постоянным (рис. 14).

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 антимонида индия, влияет на знак носителей заряда монокристаллического антимонида 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 антимониде 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 ~500К и при дальнейшем нагреве до 600К остаётся почти постоянным. Следует отметить, что образцы InSb с содержанием 0,1% Ag имеет более высокое значение коэффициента термо-эдс, которое могут играть важную роль в изготовлении термодатчиков.

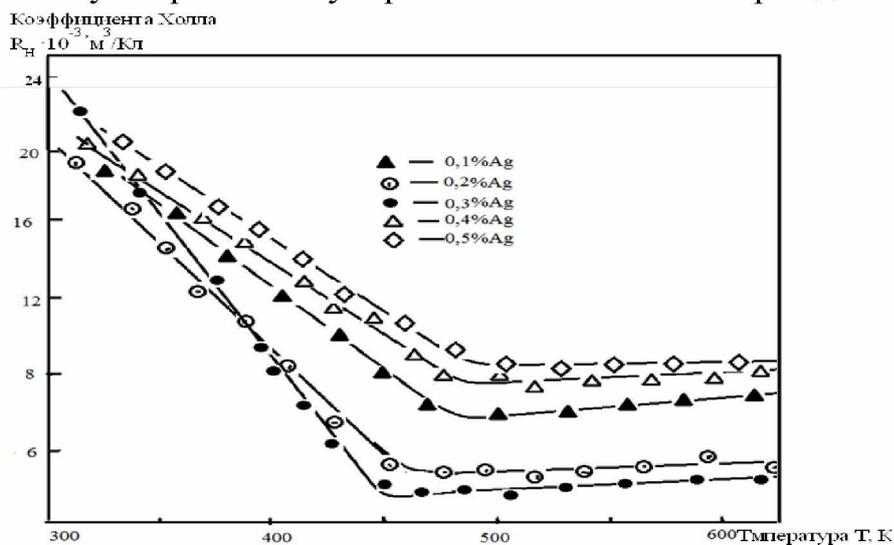


Рисунок 15. Температурная зависимость коэффициента Холла антимонида индия, легированного серебром

Измерение коэффициента Холла показывает, что в области 300 – 450К наблюдается уменьшение R_H с ростом температуры (рис 15).

Численное значение R_H составляет примерно $2,2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3/\text{Кл}$ при 300К. При комнатной температуре до ~ 450К 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 други [1-А -4-А, 12-А-19-А].

Таким образом, можно отметить, что легированные образцы антимонида индия с добавлением серебра при температуре 300 – 600К имеют высокое значение электропроводности, нежели чистого антимонида индия. В образцах с содержанием 0,1 % Ag наблюдаются высокие значения коэффициента термо-эдс, нежели образцы с содержанием 0,2 %, 0,3 % Ag 0,4 % и 0,5 %. 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.

№	Состав образцов	Концентрация $n \cdot 10^{20}, \text{см}^{-3}$	Подвижность $\mu_{\text{np}}, \text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$	Теплопроводность $\chi, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	Энергия Ферми $E_{\text{F}} \cdot 10^8, \text{эВ}$	Ширина запрещенной зоны $E^{\text{с}}, \text{эВ}$
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

Основные результаты и выводы

- Впервые синтезированы образцы антимонида индия с содержанием серебра и получена температурная зависимость важных электрофизических параметров, а именно: электропроводность, коэффициенты термо-эдс и Холла.
- На основе экспериментальных данных, рассчитаны подвижность и концентрация носителей заряда.
- Впервые проведено комплексное исследование электрофизических свойств- эффекта Холла, термо-э.д.с. и электропроводности в расплавах InSb, а также образцах легированных серебром.
- Впервые сделан количественный анализ исследованных свойств веществ на основе различных моделей, предложенных М. Катлером и классической теорией свободных электронов.
- Основываясь на экспериментальных и расчетных данных можно классифицировать соединения AZB5, в частности, антимонида индия и их легирования серебром, в твердом состоянии как полуметалл, а при переходе из твердого в жидкое - полуметалл-металл.
- На основании экспериментальных и расчетных данных легированных образцов антимонида индия можно сделать вывод: электропроводность легированных образцов антимонида индия выше, чем у этого чистого соединения.

**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.

Патент:

[5-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 Т. №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:**

[6-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.

[7-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.

[8-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.

[9-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.

[10-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.

[11-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.

[12-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.

[13-А]. Штерн Ю.И., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Собирова У. Электропроводност, 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.

[14-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.

[15-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.

[16-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.

[17-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.

[18-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.

[19-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.

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÷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.

Аннотация

ба рисолаи илмӣ Баротов Намозкул Иноятович дар мавзӯи «Таҳқиқи бузургиҳои физикию химиявӣ маводҳои нимноқилии чавхаронидашуда дар асоси антимониди индӣ»

Калидвожаҳо: антимониди индӣ, чавхаронидашуда, синтез, усулҳои технологӣ, усулҳои тадқиқотӣ, электрикгузаронӣ, қэҳ-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 чавхаронидашуда ҳамчун маводи асосии лазерҳо ва асбобҳои термоэлектрикӣ истифода мешаванд.

Дар рисола хосиятҳои физикӣ ва химиявӣ антимониди индӣ бо истифода аз лигатура – нукра вобаста ба ҳарорат ва концентратсияи зарибҳои Холл, қэҳ-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 пайвастагиҳои антимониди индӣ ва ҳолати чавхаронидашудаи он бо нукра интиҳоб карда шудаанд. Бо мақсади ҷустуҷӯи маводи нави фаъол намунаҳои антимониди индӣ бо илова кардани нукра ба андозаи аз 0,1÷0,5 % масс. Ag омӯхта шуданд. Дар ин намунаҳо бори аввал вобастагии ҳароратии электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва коэффиенти Холл омӯхта шуданд. Маълумотҳои таҷрибавӣ ба таври графикӣ тасвир карда шудаанд. Намунаҳои антимониди индӣ бо иловаи нукра бори аввал синтез карда шуда, вобастагии ҳароратӣ бузургиҳои муҳимми электрофизикӣ, монанди электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва зароби Холл ба таври таҷрибавӣ омӯхта шуданд. Дар асоси маълумотҳои таҷрибавӣ концентрация ва ҳаракатнокии зарядҳо, энергияи активатсия, гармигузаронӣ ва дигар бузургиҳо ҳисоб карда шудаанд.

Натиҷаҳои тадқиқот нишон медиҳанд, ки пайвастагиҳои антимониди индӣ 0,1 % масс. бо нукра чавхаронидашуда нисбатан қэҳ-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.

ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДОНИШГОҶИ ДАВЛАТИИ ДАНҒАРА

Ба ҳукуқи дастнавис

УДК:539.1.074.55:546.76(540)

ББК:31.233:24.125(2И)

Б-27

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 -2022

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

Роҳбари илмӣ: номзади илмҳои физика-математика,
дотсент Гафоров Сатор.

Муқарризони расмӣ: доктори илмҳои химия, профессор, ходими калони илмии донишкадаи химия ба номи В.И. Никитин дар назди академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
Абулҳаев Владимир Чалолович

номзади илмҳои химия, дотсенти кафедраи физикаи таҷрибавии факултети физикаи Донишгоҳи давлатии педагогика ба номи Садриддин Айни
Нуров Қурбоналӣ Бозорович

Муассисаи пешбар: Муассисаи илмии давлатии «Маркази таҳқиқоти иттилоотии технологӣ дар назди академияи миллии илмҳои Тоҷикистон»

Дифоъ рӯзи "17. 06. 2022" соати "10⁰⁰" дар чаласаи 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, ошёнаи 2. **E-mail: kfk1964@mail.ru**

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

Автореферат " _____ " _____ 2022 фиростода шуд.

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



Раҷабов С. И.

Тавсифи умумии диссертатсия

Муборамӣ ва зарурати баргузории тадқиқот. Сохт ва хосиятҳои умумии металлҳои моеъ ва нимноқилҳо, ки моҳияти калони назариявӣ ва амалӣ доранд, дар замони 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 нимноқилро ба монанди: концентратсия ва ҳаракатнокии ҳомилони заряд, муайян намудани аломати зарядҳо, васеъгии зонаи манъкунанда, энергияи ғайбӣ ва дигарҳоро талаб мекунад.

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 ғайбӣ ба баланди химиявӣ доранд ва дар ҷунин шароит омӯхтани дилхоҳ параметри физикӣ хеле душвор аст. Сарфи назар аз мураккабии равандҳо, таҳқиқот дар соҳаи гуногуни сохтҳои гурӯҳҳои системаи даврии Д.И.Менделеев диққатҷабкунанда буда, аз як тараф, дар робита бо татбиқи амалии унсурҳои ғайбӣ 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 гудохтан, 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 тадқиқот: Кор дар кафедраи физикаи умумӣ ва назариявии Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абӯабдуллоҳи Рӯдакӣ дар асоси мавзуи кафедравӣ – “Таҳқиқи сохт ва хосиятҳои физико-химиявии нимноқилҳо дар ҳудудҳои васеи ҳарорат” иҷро карда шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади тадқиқот. 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 тадқиқот:

1. Таҳқиқи ҳамачонибаи вобастагии ҳароратии хосиятҳои физикиву химиявии пайвастагиҳои намуди A_3B_5 , ҳангоми гузариш аз ҳолати сахтӣ ба моеъгӣ ва дар ҳолати ғудохта бо истифода аз усулҳои анъанавии электрригузаронӣ, қэх-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 хосиятҳои электрофизикии ғудохтаҳои нимноқилӣ аз рӯи моделҳои гуногуни ғудохтаҳои электронӣ;
4. Коркарди усул ва дастгоҳи бозътимоди баландҳарорат барои таҳқиқи дақиқи бузургҳои электрригузаронӣ, қэх-и гармоӣ ва эффекти Холл дар ғудохтаҳои нимноқилӣ;
5. Омӯзиши таҷрибавии зарибҳои электрригузаронӣ, қэх-и гармоӣ ва Холл дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ дар пайвастагиҳои нимноқилии гурӯҳҳои 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 хосиятҳои 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 хосиятҳо 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 нуқра ҷавҳаронидашуда ($InSb+Ag$) ва ба даст овардани маълумоти нави таҷрибавӣ оид ба зарибҳои электрригузарӣ, қэх-и гармоӣ ва Холл дар намунаҳои тоза ва ҷавҳаронидашуда.

Объекти тадқиқот: Элементҳои химиявии индӣ, тамғаи $In - 00$, сурма (Sb) тамғаи $Su-00$, нуқра тамғаи $Ag - 00$ -ро бо истифода аз роҳҳои технологӣ полош (синтез) намуда, намунаҳои пайвастагиҳои антимониди индӣ ва антимониди индӣ бо нуқра ҷавҳаронидашуда интиҳоб гардиданд. Корҳои таҷрибавӣ дар намоiendaи пайвастагиҳои нимноқилии бинарии навъи $A^{III}B^V$ дар намунаҳои интиҳобшуда. Омӯзиши хосиятҳои физикиву химиявӣ ва вобастагии ҳароратии бузургҳои электрофизикӣ, қэх-и гармоӣ ва эффекти Холл дар шакли тоза ва ҷавҳаронидашудаи дар ин намунаҳо.

Мавзӯи тадқиқот: Омӯзиши диаграммаҳои ҳолати пайвастагиҳои бинарии намуди $A^{III}B^V$, тақмили қисмҳои дастгоҳҳои таҷрибавӣ, таҳқиқи комплекси хосиятҳои электрофизикӣ, термоэлектрикӣ, термодинамикӣ ва дар асоси онҳо бо истифода аз моделҳои гуногуни электронии муосир муайян намудани механизми электрригузаронӣ, эффекти Холл ва қэх-и гармоӣ дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ, омӯзиши вобастагии хосиятҳои нимноқилҳои ҷавҳаронидашуда.

Навгониҳои илми татқиқот.

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

2. Аввалин маротиба таҳқиқоти муштаракӣ ҳосиятҳои 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 концентратсия ва ҳаракатнокии зарядҳоро ҳисоб карда шудааст.

3. Аввалин маротиба таҳқиқи ҳосиятҳои моддаҳо дар асоси моделҳои электрони гуногуни муосири пешниҳод намудаи М. Катлер ва назарияи классикии электронҳои озод таҳлили микдорӣ 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 электрикгузарони антимониди индӣ ҷавҳаронидашуда (InSb+Ag) нисбат ба пайвастагии тозаи он (InSb) баландтар буда, микдори 0,1 % масс. бо нуқра ҷавҳаронидашудаи ин пайвастагӣ зарбӣ баланди қэҳ-и гармӣ дорад ва ба сифати элементи ҷаёл барои сохтани датчикҳои ҳароратӣ мусоидат мекунад.

Аҳамияти назариявӣ ва амалии таҳқиқот: Таҳлили микдори татбиқи моделҳои назариявӣ М.Катлер, Н.Ф.Мотт, Андерсон, ки ҳосиятҳои физикии ғудохтаҳои нимноқилҳои таҳқиқшаванда ва моддаҳои табиати физикӣ ва химиявӣ якхела доштаро тавсиф медиҳад. Маълумоти микдоре, ки оид ба ҳосиятҳои физикию химиявӣ нимноқилҳо дар асоси маҳлулҳои сахти тадқиқшуда ба даст оварда шудаанд, барои ихтироъкорони асбобҳои электронӣ ва технологҳо дар бобати ба вучуд 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 ҷаёл барои сохтани датчикҳои ҳароратӣ, татбиқи амалӣ доштани намунаи антимонида индӣ бо нуқра ҷавҳаронидашударо мефаҳмонад.

Нуктаҳои химояшавандаи диссертатсия:

1. Аввалин маротиба полош (синтез)-и намунаҳои антимониди индӣ бо нукра ба миқдори аз 0,1 % масс. то 0,5 % масс. чавхаронида шуда ва зарибҳои электрикгузаронӣ, қэх-и гармоӣ ва Холл ҳисоб карда шудааст.

2. Дар асоси маълумоти таҷрибавӣ концентратсия, ҳаракатнокии зарядҳо ҳисоб карда шуда, аломати зарядҳо муайян гардида, таҳқиқоти муштаракӣ ҳосиятҳои электрофизикии зарибҳои электрикгузаронӣ, қэх-и гармоӣ ва Холл дар намунаҳои антимониди индӣ(InSb) ва антимониди индӣ бо нукра чавхаронидашуда (InSb+Ag) дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ гузаронда шудааст.

3. Аввалин маротиба таҳлили миқдории таҳқиқотии ҳосиятҳои физика-химиявӣ антимониди индӣ(InSb) ва антимониди индӣ бо нукра чавхаронидашуда (InSb+Ag) дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ дар асоси моделҳои электронии 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 индӣ ва ҳолати бо нукра чавхаронидашудаи он муайян гардидааст, ки; дар ҳолати сахтӣ – нимметал, ҳангоми гузариш аз ҳолати сахтӣ ба моеъгӣ – нимметалл-металл ва муайян гардидааст, ки намунаи антимониди индӣ ба миқдори 0,1 % масс. бо нукра чавхаронидашуда зариви баланди қэх-и гармоӣ дорад ва ҳамчун элементӣ фаъл барои сохтани датчикҳои ҳароратӣ мусоидат мекунад.

Дарҷаи эътимоднокии натиҷаҳо. Аз рӯи қиматҳои электрофизикӣ ва термоэлектрикии таҷрибавӣ ҳосилшуда ва усули тадқиқот, 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 унсурҳои самаранокии баланддошта ва фаъл, ки барои сохтани асбобҳои электронӣ тасдиқ гардидааст.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи илмӣ ихтисосӣ.

Пайвастагиҳои нимнокилии бинарии навъи A_3B_5 , дар намунаҳои, антимониди индӣ (InSb) ва антимониди индӣ бо нукрачавхаронидашуда (InSb+Ag) таҳти омӯзиш қарор дорад. Таҳқиқоти комплекси ҳосиятҳои 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 мекунад; 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 факуллода баланд,

таъсироти якҷояи физикӣ ва физикӣ- химиявӣ: раванди электро-химиявӣ дар нимнокилҳо)).

Тағйирёбии қонуниятҳои зарибҳои электрикгузаронӣ, кэҳ-и гармоӣ ва Холл дар нимнокилҳо бо таъсироти гуногуни байнизарагӣ дар ҳолатҳои сахтӣ, моеъгӣ ва дар наздикии нуқтаи гудозиш ва таснифоти гудохтаҳои InSb ва намунаҳои бо нукра чавхаронидашудаи он (InSb+Ag) муайян карда шудаанд. Маълум гардид, ки пайвастагии намуди A^3B^5 , дар намунаҳои антимониди индий (InSb) ва антимониди индийи бо нукра чавхаронидашуда (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 – Вокуниш (реаксия)-и бунёдӣ (элементарӣ) аз ҳисоби зарраҳои фаъол ва банди 11 – Асосҳои физикӣ-химиявии равандҳои технологияи химиявӣ)).

Саҳми шахсии доктараб. Саҳми муаллиф дар он асос меёбад, ки вобаста ба самти қор адабиёти илмиро таҳлил намудааст ва аз рӯи мавзӯи диссертасионӣ масъалагузорӣ карда, дастгоҳи ҷенкунии бузургҳои электрофизикӣ чамъ овардааст, қиматҳои таҷрибавии овардашуда ҷандин маротиба санҷида шуда, боварибахш мебошанд, натиҷаҳо ва таҳлилҳо дар маҷаллаҳо ва маводҳои конференсияҳои дохиливу хориҷи кишвар нашр гардидаанд.

Таъйиди диссертасия. Натиҷаҳои асосӣ аз рӯи мавзӯи қори диссертасионӣ дар конференсияҳои байналмилалӣ ва ҷумҳуриявӣ муҳокима ва нашр гардидааст.

Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-назариявӣ дар мавзӯи “Масъалаҳои мубрами илму маориф дар мавриди ҷаҳонишавӣ”, бахшида ба 75-солагии донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абӯабдуллоҳи Рӯдакӣ ва 30 - солагии истиқлолияти Ҷумҳурии Тоҷикистон (Кӯлоб - 21декабри 2019).

Конференсияи байналхалқии илмию амалӣ кимиёи ҳосилаҳои глитсерин: синтез, ҳосиятҳо ва ҷабҳаҳои истифодабарии онҳо. Донишгоҳи давлатии Данғара (2-3 декабр 2016).

Конфронси илми- назаряви «Нақши Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абӯабдуллоҳи Рӯдакӣ дар тайёр намудани мутахассисон» бахшида ба 70-солагии Донишгоҳ (Кӯлоб- 2015),

Конференсияи VI-уми байналмилалӣ: Асосҳои физика-химиявии ҳосил намудан ва таҳқиқи комплекси ҳосиятҳои нимнокилҳо, диэлектрикҳо ва маводҳои композитсионӣ. (Кӯлоб, 25-27 декабр-2014).

Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи “Проблемаҳои муосири физикаи нимнокилҳо” Кӯлоб, 17апрели 2012.

Интишори натиҷаҳои диссертасия. Аз рӯи натиҷаҳои тадқиқот 4 мақола, ки дар маҷаллаҳои тақризшавандаи ҚОА-и назди Президенти

Ҷумҳурии Тоҷикистон, 5 мақола дар маҷаллаҳои илмӣ дохили Ҷумҳурии Тоҷикистон, 9 адад фишурда ва мақолаҳо дар конференсияҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмиллалӣ нашр гардидааст.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия аз муқаддима, 4 боб, хулосаҳои таҳияшуда, 131 саҳифаи матнӣ асосӣ, 22 тасвири график, 15 ҷадвал ва рӯйхати сарчашмаҳои истифодашуда 173 номгӯй иборат аст.

МУНДАРИҶАИ АСОСИИ ҚОР

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

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

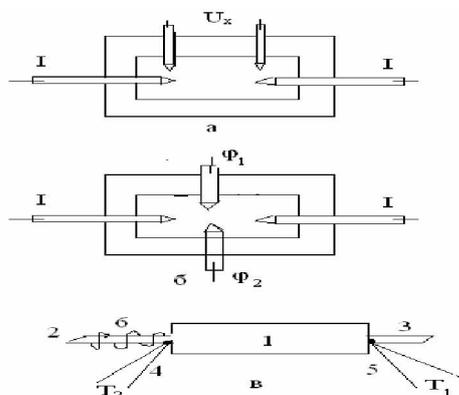
Дар қисмати дуюм маълумоти назариявӣ ва қорҳои тадқиқотии олимон, ки оид ба хосиятҳои асосии электрофизикии пайвастагиҳои намуди $A^{III}B^V$ дар ҳароратҳои баланд, дар ҳолати сахтӣ ва моеъгӣ гузаронидаанд, маълумот дода мешавад.

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 металлӣ 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 -4-М].

Боби дуюм (дастгоҳҳо ва усулҳои ҳисоб) таҳлили дастгоҳҳо ва усулҳои тадқиқотро 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 галваномагнитӣ 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 тадқиқотӣ: усулҳои тадқиқот 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, қоркарди гармоии намунаҳои

хосилкардашуда, тарзи иҷрои ин амалиёт ва мавқеи асосии оташдони электрикӣ истифодашаванда қайд гардидааст.

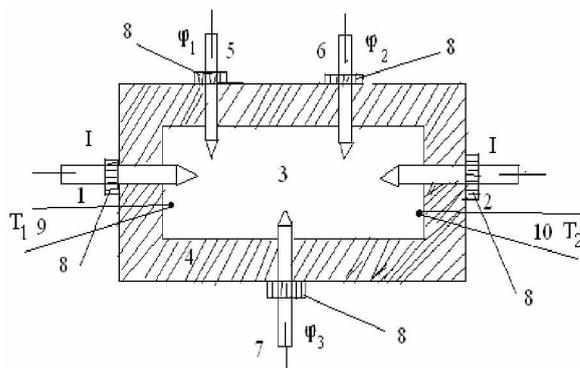
Вобаста ба ин, мо барои чен кардани коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, қэх-и гармой ва Холл дар ҳолати сахтӣ то ҳарорати гудозиш $T_{гуд.}$ қаппаки намунаи шаклҳои гуногундошта тайёр намудем, ки дар расмҳои 2 ва 3 нишон дода шудаанд.



Расми 2. 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 термopараҳои 1-уму 2-юм ва меҳи печдори 5 ва 6-ро иваз намоем. Агар намуна шакли росткунҷаро дошта бошад, зондҳои 1-ум ва 2-юм ҷараёни барқро ва 5-уму 6-ум потенциалро қабул мекунанд.



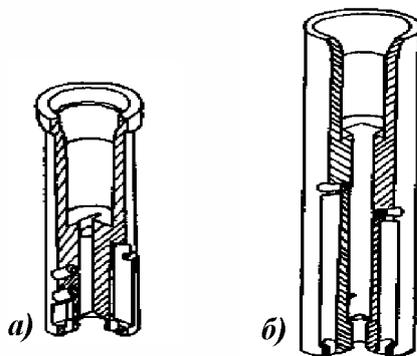
Расми 3. Нақшаи технологияи қаппаки намуна барои чен кардани бузургҳои электрикгузаронӣ, қэх-и гармой ва Холл дар ҳолати сахтӣ.

Дар ҳамбастагӣ бо ин барои чен кардани бузургҳои дар ҳароратҳои баланд (то 1300 – 1500 К), мо аз ячейкаи керамикии тамғаи ГМ, ки аз маводи Al_2O_3 сохта шудааст, истифода намудем (расми 4).

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 қэҳ-и гармоӣ дар як вақт дар давоми як таҷриба гузаронида шуданд.

Барои герматизатсия намудани ячейка, тамосҳо бо графит маҳкам карда шуда, бо хамираи маҳсули дар асоси окиси алюминий тайёршуда, ки дар ҳароратҳои баланд тобовар мебошад, молида маҳкам карда шуданд [4-А, 8-А].



Расми 4. Нақшаи ячейкаҳо барои чен кардани бузургиҳои электрофизикӣ: а – ячейкаи У-1 – барои чен кардани электрикгузаронӣ 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 цилиндрикиро дорад.

Баъди коркарди термикӣ ин ячейка имконият фароҳам овард, ки бузургиҳои электрофизикии намунаҳои антимониди индӣ ва антимониди индӣ бо нукра 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, термopараҳои 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 санчидашуда, ки қиматҳояшон дар адабиёт оварда шудааст, гузаронидем. Муқоисаи қиматҳои ҳисобкардаи мо ба қиматҳои маълум мувофиқат мекард. Баъд бузургиҳои электрофизикии пайвастагии антимониди индӣ ва намунаҳои антимониди индӣ бо нукра 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 пайвастагиҳои нимноқилӣ, ки пай дар пай як даври технологиро ташкил менамоянд, дохил мешавад. Барои баъзе аз пайвастагиҳо 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 омаданаш мумкин аст. Ин равандҳоро ба ду гурӯҳи калони асосӣ ҷудо намудан мумкин аст.

Яқум, ин раванд ба синтез, дуҷум ба ҷудошавии пайвастигии синтезшуда аз муҳити онро ихотақунанда алоқаманд аст. Аз рӯи тартиби коида 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 шуданаш мумкин аст.

Барои ҳосил намудани пайвастигии антимолиди индий ва намунаҳои ҷавҳаронидашуда аз усули машҳури якҳароратаи бевосита полош (синтез)-ро истифода намудем. Пайвастагӣ ва намунаҳо мувофиқан бо таркиби стехиометрӣ ва интиҳоби ғоизи ҷавҳарӣ аз ҳамбастагии индийи 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 ғоиз, m_H – массаи намуна бо граммҳо гирифташуда, m_A , m_B – массаи атомӣ (молярӣ)-и мувофиқ ба компонентҳои А ва В мебошанд.

Намунаи антимолиди индий (*InSb*) ба миқдори $5 \cdot 10^{-3}$ кг (бо барқашии аниқ то саҳеҳии $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ кг) гирифта шуд. Полоши намунаи антимолиди индий 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 индий ($T_{гуд.} = 796\text{K}$) баланд намудем ва ба муҳлати як соат дар ҳамин ҳарорат онро нигоҳ доштем [1-М -4-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 яқчинса, дар шакли сабика ҳосил намудем. Аз ин сабика мо намунаҳоро

дар шакли росткунҷаи геометрӣ буридем, ки андозаҳои 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 антимониди индӣ бо нукра чавҳаронидашуда (InSb+Ag) мо «Дастгоҳи универсиалӣ барои тоза кардани металлҳои ранга, синтез ва ҳосил ҳосил намудани кристаллҳои пайвастагиҳои нимноқилӣ»-ро [5-А] коркард намудем ва намунаҳои антимониди индӣ 0,1% масс.; 0,2% масс.; 0,3% масс.; 0,4% масс.; 0,5% масс. Ag бо нукра чавҳаронидашударо полош намудем. Намунаҳои антимониди индӣ бо нукра чавҳаронидашуда (InSb+Ag)-ро бо тарозуи электронии рақамӣ бо баркашии аниқ $5 \cdot 10^{-3}$ кг (то саҳеҳии $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ кг) баркашидем.

Бо вучуди 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 молибден.

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

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

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

Ҷадвали 1.

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

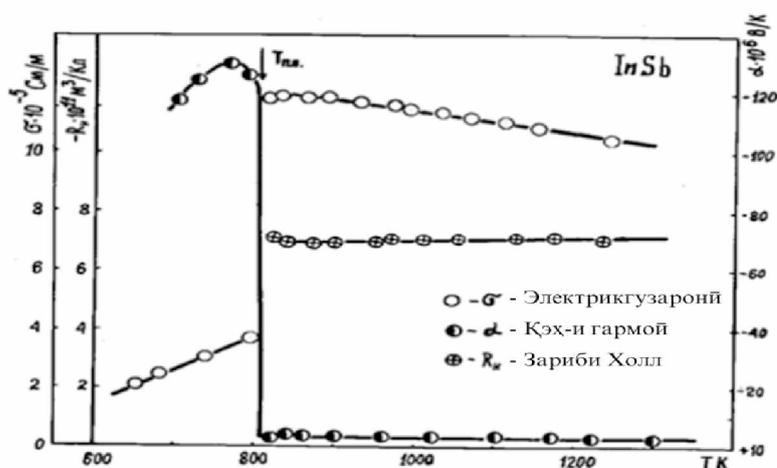
Ҳарорат T, К	Электрикгузаронӣ $\rho, \sigma \cdot 10^{-5}, \text{См} \cdot \text{м}^{-1}$	Ҳарорат T, К	Қэҳ-и гармоӣ, $\alpha \cdot 10^6, \text{В} \cdot \text{К}^{-1}$	Ҳарорат T, К	Коэффитсиенти Холл, $R_H \cdot 10^6$
365	0,35	706	-108,90	703	5,29
419	0,36	727	-114,90	737	4,83
450	0,40	788	-121,00	774	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				

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

Натиҷаҳои таҷрибавии ҳосилкардашуда (ҷадвали 1), ё ин ки вобастагии ҳароратии коэффитсиентҳои электрригузаронӣ, қэҳ-и гармӣ ва Холл ба тарзи графикӣ дар расми 6 тасвир ёфтааст.

Чӣ тавре ки аз расми 6 дида мешавад, электрригузаронии антимониди индий дар наздикии ҳарорати ғудозиш қимати ба $\sim 39,70 \cdot 10^3$ См/м баробар дошта, ҳангоми гузариши фазагӣ ба ҳолати моеъгӣ яқбора афзудани қимати он мушоҳида гардида, ба $\sim 12 \cdot 10^5$ См/м баробар мешавад.

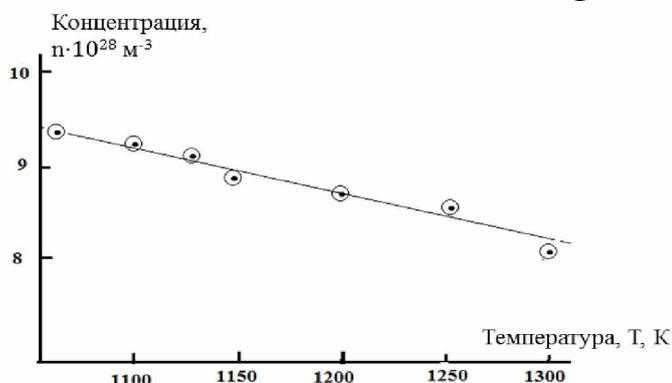


Расми 6. Вобастагии ҳароратии коэффитсиентҳои электрригузаронӣ, қэҳ-и гармӣ ва Холл барои InSb дар ҳароратҳои баланд.

Ин қимати мутлақ аз табиати металлӣ доштани пайвастигии 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, 6-М-13-М] овардашуда хуб мувофиқат мекунад. Агар тағйирёбии бузургҳои муқарраршударо дар фазаи моеъӣ дида бароем, ҳангоми баланд шудани ҳарорат дар пайвастигии InSb ягон тағйироти назаррас ба амал намеояд, ба ғайр аз он, ки ҳангоми гарм кардани дилхоҳ моеъ вучуд дорад: сушт шудани таъсири мутақобилаи байни молекулаҳо, афзоиши масофаи байнимолекулавӣ, афзоиши адади чойҳои ҳолӣ ва ғайраҳо. Дар ҳудуди ҳарорати дида баромадашуда, дар ҳолати моеъгӣ пайвастигии InSb нисбатан устувор мебошад. Ҳангоми идомаёбии гармидихӣ 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 ~ 1250 К камшавии қимати коэффитсиенти қэҳ-и гарморо бо аломати мусбати зарядҳо мушоҳида намудем. Қимати ададии қэҳ-и гармой баъди гудозиш фавран ба $\sim 3,1 \cdot 10^{-6}$ 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.

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 ченкунии 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.



Расми. 7. Вобастагии концентратсияи ҳомилони заряд аз ҳарорат барои пайвастигии InSb дар ҳолати моеъгӣ.

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 пайваستاгии InSb дар ҳолати моеъгӣ дар расми 7 оварда шудааст.

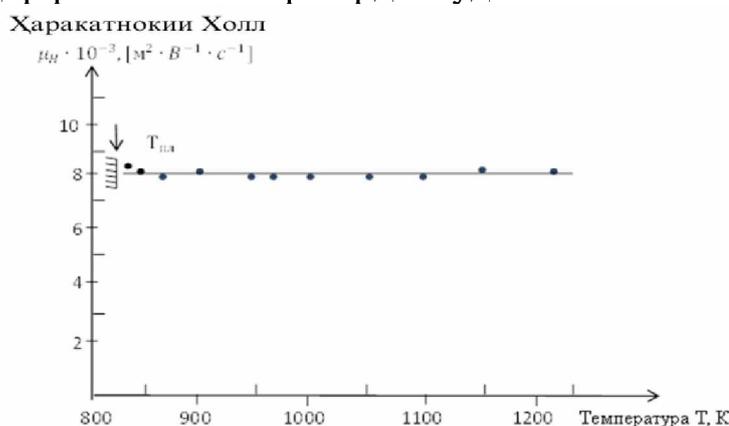
Чӣ хеле ки аз расми 7 дида мешавад, концентратсияи ҳомилони заряд баъди гузариш якбора қимати тартиби 10^{28} м^{-3} -ро соҳиб шуда, ҳангоми зиёдшавии ҳарорат камшавии ин бузургӣ мушоҳида мешавад.

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

Бо назардошти пешниҳоди Н.Мотт [1-М -4-М, 9-М-13-М] агар гузаронандагии электронӣ дар наздикии E_c ба вучуд 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:

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

Графики вобастагии ҳароратии ҳаракатнокии Холл барои ҳолати моеъгии InSb дар расми 8 тасвир карда шудааст.



Расми 8. Вобастагии ҳароратии ҳаракатнокии Холл дар пайваستاгии InSb дар ҳолати моеъгӣ

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 чараён электронҳоянд. Агар диққатамонро ба он чалб намоем, ки гузаронандагӣ бо ёрии электронҳои барангехтаи канорӣ ба вучуд омада бошад [12-М-19-М], онгоҳ бо истифода аз модели электрони Андерсон ба ибораи он, ки функсияҳои фазаҳои атомӣ тасодуфианд ва модели сечузъаи 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 – пахноии 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 антимиониди индий (InSb)-и моеъ ҳолати дученакагӣ хангоми $a = 3\text{Å}$ будан $z = 4$ ҷой дорад.

Ҷадвали 2.

Баъзе бузургҳои антимиониди индий дар ҳолати моеъгӣ

Ҳарорат Т,К	Гармигузарон $\frac{\chi_{эл.}}{Вт \cdot град}$	Ҳарорат Т,К	Харакатнокии Холл $\mu_H \times 10^4, м^2/В \cdot сек$	Ҳарорат Т,К	Концентрация, $n_{эксп} \times 10^{-28}, м^{-3}$	Ҳарорат Т,К	Радиуси кураи Ферми, $k_F \times 10^{10}, м^{-1}$	Дарозии роҳи давиши озод $L, \text{Å}$	Массаи эффактивӣ, $m^* \times 10^{28}, кг$	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 $0.8 \div 0.76 \frac{см^2}{В \cdot с} = 1 \frac{см^2}{В \cdot с}$ 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 $3,5 \frac{см}{м}$ баробар аст.

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

Ҳисобкуниҳо ва коркарди омории маълумотҳои таҷрибавии бо истифода аз барномаҳои компютери «Excel» ва «Corel draw» иҷро гардиданд. Баробариҳои ҳосилшуда ба наздикшавандагии мустақими коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ $\sigma = 9,55 - 2,7 \cdot 10^{-3}T$, қэҳ-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 индий мувофиқат мекунанд. Мувофиқи [1-АМ-4-М, 12-М-19-М] вобаста ба табиати металии гузаронандагӣ ва консентратсияи баланд барои муайян намудани сатҳи Фермӣ аз формулаи зерин истифода бурдем:

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

Дар ҳароратҳои баланд ҳангоми зиёд будани энергияи электронҳо ва фарқи $E - \mu > 2kT$ будан, формулаи тақсими Ферми – Дирак ба формулаи классикии тақсими 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 қураи Ферми 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:

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

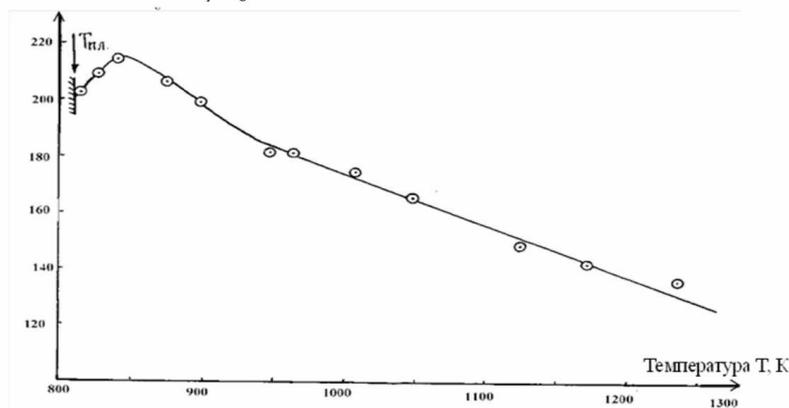
Натиҷаҳо оид ба дарозии давиши роҳи озод λ , ки дар қадвали 2 оварда шудааст, доимӣ ҳисобидан мумкин аст ва $\lambda = 7,2 \pm 0,6 \text{ \AA}$ мешавад.

Нисбати массаи эффективӣ аз массаи оромии электрон ба таври графикӣ дар расми 9 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:

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

Ҳисобқуноҳои 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.

Вобастагии массаҳо m^*/m_0 .



Расми 9. Вобастагии нисбати массаҳо дар антимиониди индийи моеъ

Барои нимноқилҳо ва металлҳои таназулёфта $\mu_\alpha = \mu_H$ ҳисобида мешавад [12-М-19-М]. Тибқи маълумоти мо дар ҳудуди $\pm 0,1 \cdot 10^{-4} \text{м}^2/(\text{Вс})$ ҳаракатнокии дрейфӣ ва Холл мувофиқат мекунад. Ҳаракатнокии Холл кунҷи Холлро муайян намуда, ба ҳаракати дрейфӣ мутаносиб мебошад: $\mu_H = r\mu_\alpha$ ва ҳангоми доимӣ будани вақти релаксатсия ($\tau = \text{const}$) 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 параболӣ 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:

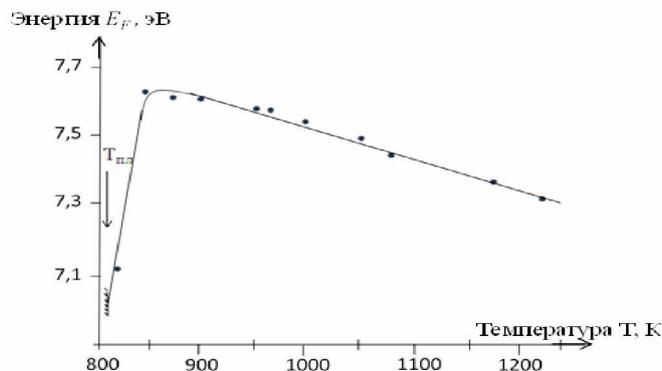
$$E_F = \frac{\pi^2 \cdot k^2 T}{3e\alpha}. \quad (9)$$

Натиҷаҳои ҳисобкардашуда дар ҷадвали 3 оварда шудааст.

Чӣ хеле ки дида мешавад, қимати энергияи Ферми 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 10) танҳо дар ҳароратҳои 810-850К мувофиқат ба мазмуни назариявӣ мушоҳида мешавад.



Расми. 10. Вобастагии ҳароратии энергияи Ферми 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 кэҲ-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.

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

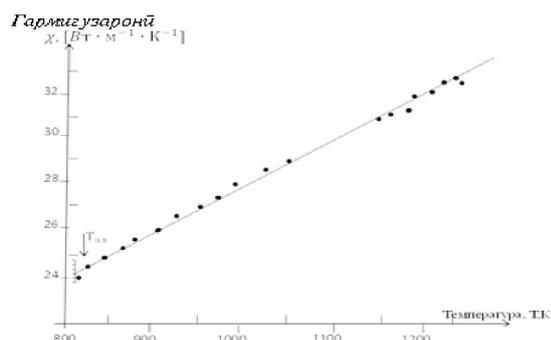
Ҷадвали 3.

Баъзе аз бузургиҳои антимиониди индий дар ҳолатҳои сахтӣ ва моеъгӣ

Ҳарорат Т, К	Харакатнокии $\mu_{\alpha} \cdot 10^{-4}, \text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	Энергия Фермӣ $E_F, \text{эВ}$	КэҲ-и гармӣ $\alpha_{\text{расч}} \cdot 10^6, \text{В}/\text{К}$	Масоҳати Фермӣ $S_F \cdot 10^{20}, \text{м}^2$	Ҳарорат Т, К	Диффузия $D \cdot 10^6, \text{м}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$
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

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 11).



Расми 11. Вобастагии ҳароратии гармигузаронии InSb.

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

Бо вуҷуди ин, қайд кардан лозим аст, ки якбора баъди ғудохта шудан маълумот оид ба коэффитсиенти қэх-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.

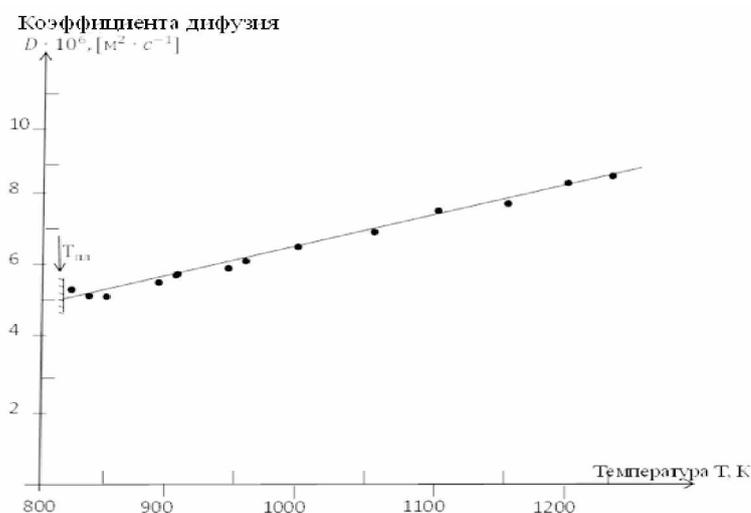
Ҳамин тавр, коэффитсиенти Холл ғайримуқаррарӣ мебошад, чунки барои муайян кардани аломати зарядҳо дар ин ҷо аломати қэх-и гармоӣ хизмат мекунад [1-М -4-М, 12-М-19-М]. Дар тафовут аз металлҳои кристаллӣ, ҳангоми доимӣ будани коэффитсиенти Холл, бо афзоиши ҳарорат коэффитсиенти қэх-и гармоӣ дар антимониди индӣи моеъ кам мешавад. Ба ақидаи мо, дар ин ҳолат таъсири мутақобилаи электроно-ионӣ пурзӯр мегузарад, ки дар натиҷаи ин ҳаракатнокии зарядҳо ва электрикгузаронии ғудохта 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 қори 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 металлҳои концентратсияи ҳомилони заряд ба 10^{23}см^{-3} баробар аст, он гоҳ ҳисобкуниҳо 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 ғудохтаҳои элементарӣ масъалаи омехташавӣ (диффузия) ва худомехташавӣ низ нақш мебозад. Вобаста ба ин коэффитсиенти омехташавӣ дар металлҳои моеъ ва нимқилҳо метавонад ду нуқтаи назар тавачҷухро ҷалб намояд. Якум, масъалаи омехташавӣ дар ғудохтаҳо 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 ғудохтаҳои электронӣ интиҳоб намоем, вагарна ҳалли таҷрибавии масъала ба монанди ҷиддӣ бурда мерасонад.

Аз ҳисоби табиати микроскопии зарраҷаҳои омехташуда барои ҳаракати микроразраҳо 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 қонунияти муайяне мавҷуд аст (расми 12).

Чӣ хеле ки аз расми 12 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 12. Вобастагии ҳароратии коэффитсиенти омехташавӣ аз ҳарорат барои антимониди индий InSb дар ҳолати моеъгӣ

Чунин тамоил ба ташкилшавии комплекси заррачаҳои 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 $2 \div 3 \cdot 10^{-9} m^2/s$, 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 расонданишон мукин аст. Бинобар ин, ба гумони мо, номувофиқии қимати ададии антимониди индий (InSb)-и моеъ ба кластер ташкилшавӣ алоқаманд мебошад. Дар кори [7-М] нишон дода шудааст, ки ташкилшавии кластерҳо боиси қисман кандашавии бандҳои байниатомии заррачаҳо мегардад. Минтақаи каниши кластериро ҳамчун минтақаи нуқсони ба худ хоси динамикӣ дида баромадан мумкин аст. Парешхурии ҳомилони чараёнгузаронро ба ҳисоб гирифта, хангоми гудозиш ҷаҳиши 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:

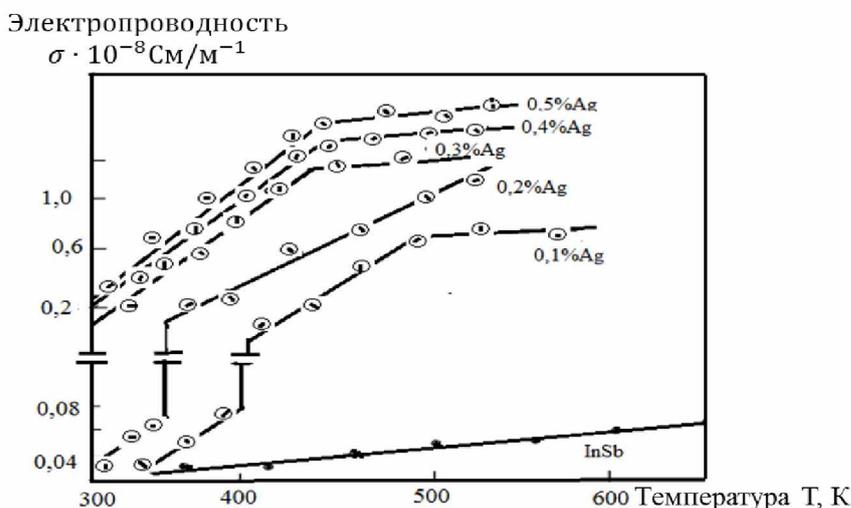
$$\left(\frac{\sigma_M}{\sigma_C}\right)_{T_{гуд.}} = S_M - S_P \quad (12)$$

мешавад, ки дар инҷо S_M — вобастагии адади квантҳои дар байни кластерҳо дохилшаванда, дар воҳиди масоҳат барои металли моеъ, хангоми ҳарорати гудозиш $T_{гуд.}$ 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 $S_{ж} - S_{р} = 12,5$ мешавад. Аз муқоисаи маълумот барои моеъҳои дучанда ва натиҷаҳои ҳосилнамуда барои моеъҳои сода мебарояд, ки дар ҳарорати гудозиш нисбати электрикгузарониҳо $\left(\frac{\sigma_{м}}{\sigma_{с}}\right)$ барои нимноқилҳои металлшаванда нисбат ба металлҳои содаи оддӣ хеле калон аст. Дар мисоли In: $(\rho_{ж}/\rho_{ТВ}) = 2,18$, барои Sb, $(\rho_{ж}/\rho_{ТВ}) = 0,61$.

Дар қисмати дуюми боби мазкур коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холлро таҷрибавӣ дар намунаҳои антимониди индий 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-19-М].

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



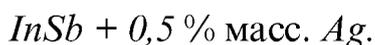
Расми 13. Вобастагии ҳароратии электрикгузаронии антимониди индийи 0,1 % масс., 0,2 % масс., 0,3 % масс. , 0,4 % масс., 0,5 % масс. бо нуқра чавҳаронидашуда

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. 13).

Чунин менамояд, ки дар ҷараёнгузаронии антимониди индий ба ғайр аз ҳомилони ҳоси 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:

$\Delta E_g^\sigma = 0,047$ 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 + 0,3 % масс. Ag;
$\Delta E_g^\sigma = 0,027$ эВ;	InSb + 0,4 % масс. Ag;

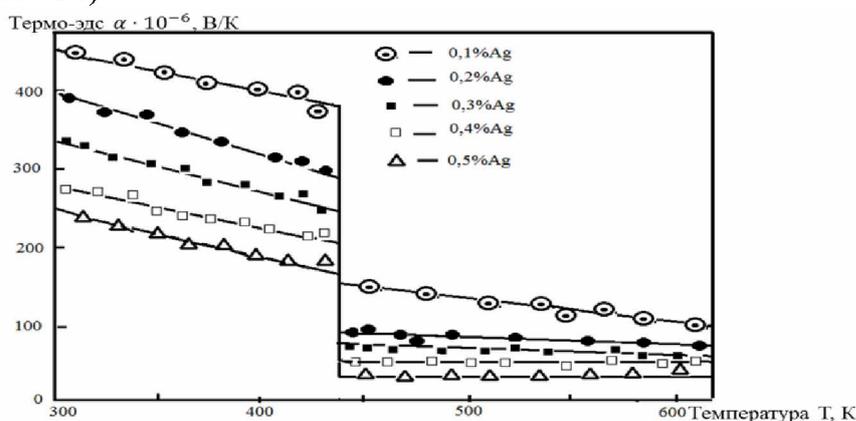
$$\Delta E_g^\sigma = 0,025 \text{ эВ};$$



Бо илова намудани нукра васеъгии зонаи манъкунанда кам мешавад. Чӣ хеле аз расми 14 дида мешавад, вобастагии ҳароратии коэффитсиентҳо кэҳ-и гармой ва Холл байни ҳам сифатан мувофиқат мекунад. Ченкуниҳои коэффитсиенти кэҳ-и гармой (α) нишон медиҳад, ки намунаҳои InSb-и бо нукра чавхаронидашуда 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 кэҳ-и гармой кам мешавад ва баъд тақрибан доимӣ мемонад (рас. 14).



Расми 14. Вобастагии ҳароратии кэҳ-и гармоии антимониди индийӣ бо нукра чавхаронидашуда

Чӣ хеле ки дида мешавад, таркиби InSb+0,1% масс. Ag нисбат ба InSb+0,2 % масс. Ag, InSb + 0,3 % масс. Ag, InSb+0,4 % масс. Ag, InSb+0,5 % масс. Ag коэффитсиенти нисбатан хуби кэҳ-и гармой 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 $\sim 350 \text{ К}$ қимати ададии α тақрибан ба $200\text{-}300 \frac{\text{мкВ}}{\text{К}}$ баробар

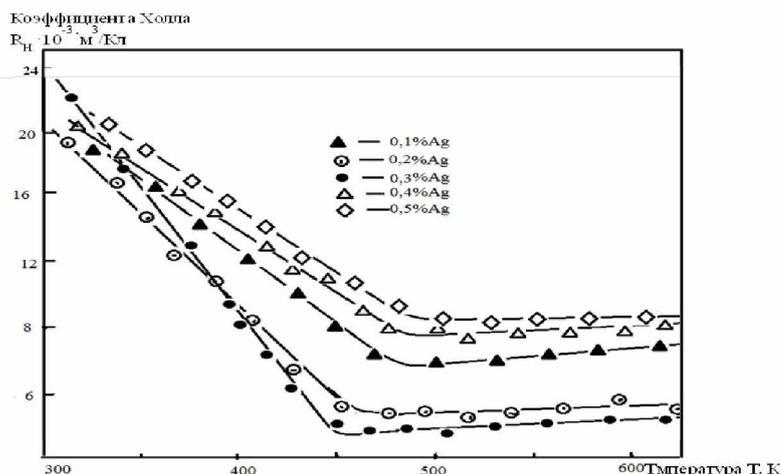
мешавад ва ҳангоми баландшавии ҳарорат то 450 К камшавии қимати кэҳ-и гармой мушоҳида мегардад. Ҳангоми 500К шудани ҳарорат қимати кэҳ-и гармой ба $4\div 6 \text{ мкВ/К}$ баробар шуда, бо зиёд шудани ҳарорат тақрибан доимӣ мондани ин қимат мушоҳида мегардад.

Дар расми 14 натиҷаҳои таҷрибавие, ки ба вобастагии ҳароратии кэҳ-и гармоии намунаҳои антимониди индийӣ бо нукра 0,1 % масс., 0,2 % масс., 0,3 % масс., 0,4 % масс. ва 0,5 % масс. чавхаронидашуда тааллуқ

доранд, оварда шудааст. Коэффитсиенти қэх-и гармой аломати манфӣ дорад. Бо афзудани фоизи нукра дар антимониди индий қимати ададии қэх-и гармой кам мешавад. Дар айни ҳол хангоми афзудани ҳарорат коэффитсиенти қэх-и гармой аз ҳароратҳои 500К то 600К тақрибан доимӣ мемонад.

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

Ченкуниҳои коэффитсиенти Холл нишон медиҳад, ки дар ҳудуди ҳароратҳои 300-450 К бо баландшавии ҳарорат камшавии R_H мушоҳида мегардад (расми 15). Қимати ададии доимии Холл R_H дар ҳароратҳои 300 К тақрибан $2,2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3/\text{Кл}$ -ро ташкил медиҳад. Дар ҳароратҳои $\sim 450\text{К}$ доимии Холл барои ҳамаи намунаҳо қимати камтарин мегирад ва хангоми афзоиши ҳарорат тақрибан доимӣ мемонад. Аз натиҷаҳои таҷрибавии $R_H(T)$, $\alpha(T)$ ва $\sigma(T)$ баъзе бузургҳои асосии физикӣ, ба монанди энергияи фаъл, консертатсия ва ҳаракатнокии ҳомилони заряд, вобастагии ҳаракатнокиҳо, гармигузаронӣ ва дигарҳо ҳисоб карда шуданд.



Расми. 15. Вобастагии ҳароратии коэффитсиенти Холл барои антимониди индийи бо нукра чавҳаронидашуда

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

Коэффитсиентҳои қэх-и гармой ва Холл якдигарро пур мекунанд.

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

Баъзе бузургиҳои антимониди индий бо нукра ҷавҳаронидашуда дар ҳарорати 300K

№, п/п	Таркиби намунаҳо	Концентратсия $n \cdot 10^{20}, \text{см}^{-3}$	Ҳаракатноқӣ 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 манъукунанда $E^{\sigma}, \text{эВ}$
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

Хулоса

Дар ҷамъбаст кайд менамоем, ки аввалин маротиба намунаҳои антимониди индий бо нукра 0,1 % масс. то 0,5 % масс. ҷавҳаронидашуда полош (синтез) карда шудааст ва вобастагии ҳароратии бузургиҳои асосии электрофизикии ин намунаҳо, аз ҷумла коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холл ҳисоб карда шудаанд. Дар асоси маълумоти таҷрибавӣ концентратсия ва ҳаракатнокии зарядҳо ҳисоб карда шуд. Аввалин маротиба таҳқиқи муштаракӣ ҳосиятҳои электрофизикии коэффитсиентҳои электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва Холл дар намунаҳои антимониди индий ҷавҳаронидашуда гузаронида шудааст.

Аввалин маротиба таҳқиқи ҳосиятҳои намунаҳо дар асоси моделҳои гуногуни муосири пешниҳодкардаи М. Катлер ва назарияи классикии электронҳои озод таҳлили миқдорӣ карда шудааст. Дар асоси таҷриба ва ҳисобкуниҳои натиҷаҳо маълум карда шудааст, ки пайваستاҳои гурӯҳи A_3B_5 -ро дар ҷузъияти антимониди индий ва ҳолати бо нукра ҷавҳаронидашудаи он дар ҳолати сахтӣ ҳамчун нимметалл ва дар ҳолати гузариш аз ҳолати сахтӣ ба моеъгӣ ҳамчун нимметалл-металл гурӯҳбандӣ намудан мумкин аст.

Дар асоси таҷриба ва ҳисобкуниҳои натиҷаҳои ба даст овардашуда доир ба намунаҳои ҷавҳаронидашудаи антимониди индий, чунин ҷамъбаст менамоем, ки электрикгузаронии антимониди индий ҷавҳаронидашуда нисбати пайвастагии тозаи он баландтар аст. Намунаи ба миқдори 0,1 % масс. бо нукра (Ag) ҷавҳаронидашудаи пайвастагии антимониди индий (InSb)-ро дар асоси кимати баланди қэҳ-и гармоӣ доштани ҳамчун элементи ҷаъоли датчикҳои ҳароратӣ истифода намудан мумкин аст.

**ФЕХРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ ДАРЁФТИ
ДАРАЧАИ ИЛМӢ АЗ РӮӢИ МАВЗӢИ ДИССЕРТАТСИЯ**

*Мақолаҳои дар маҷцалаҳои илмӣ тавсияшудаи КОА-и назди
Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашршуда:*

- [1-М]. Баротов Н.И., Антимонида индия легированного серебром. / **Н.И. Баротов** // Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, № 2. - Душанбе, 2021. – с. 196-206.
- [2-М]. Баротов Н.И, Гафоров С. Применение М-модели к описанию жидкого антимонида индия. / **Н.И. Баротов, С.Гафоров**, //Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, № 3 - Душанбе, 2021, с. 224-234
- [3-М]. Баротов Н.И., Ситамов С., Гафоров С. Современные модели металлов и полупроводников в твердом и жидком состоянии. / **Н.И. Баротов, С. Ситамов, С. Гафоров**, // Симург - Научно медицинский журнал, Хатлонского государственного медицинского университета, № 10 (2), 2021 - Душанбе, 2021 - 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.

Ихтироот:

- [5-М]. Каримов С.К, **Баротов Н.И.**, Дастгоҳи универсиалӣ барои тоза кардани металлҳои ранга, синтез ва ҳосил кардани кристаллҳои пайвастагиҳои нимноқилӣ. Патент:ТҶ.№710. МПК С30 В13/06; С30 В13/16. / С.К. Каримов, **Н.И. Баротов**, //Дар феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон, арзномаи №1400905, нахустпатент аз 16 июли с. 2015, тахти рақами ТҶ.№710. МПК С30 В13/06; С30В13/16 дода шудааст.

*Мақолаҳои дар дигар маҷцалаҳои илмӣ,мавдҳои конференсияҳои
байналӣ ва ҷумҳуриявӣ нашршуда*

- [6-М]. **Н.И. Баротов**, С. Гафоров. Физико-химические свойства соединений антимонида индия и антимонида индия легированного серебром. /**Н.И. Баротов**, С. Гафоров// Наука и технология XXI века, 2020 / №2(1). – С. 48-55.
- [7-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.
- [8-М]. Каримов С.К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Барическая зависимость магнетосопротивления InSb в условиях всестороннего сжатия. / С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов** //, Вестник Курган-тюбинского

государственного университета имени Носира Хусрава, 2/2 (54) – Бохтар, 2018. - с. 27-28.

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

[10-М]. Ситамов С., Баротов Н.И., Холов Ш.И.. 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.

[11-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, - Кулоб, 2014, - с. 6-8.

[12-М]. Айвазов А.А., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Собирова У. Экспериментальное исследование электропроводность и термо-ЭДС в Bi-BiMn. / 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 – Кулоб, 2014, - с. 39-40.

[13-М]. Штерн Ю.И., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Собирова У. Электропроводность, термо-ЭДС и эффект Холла в антимиониде галлия легированного железом. / Ю.И. Штерн, С. Гафоров, **Н.И. Баротов**, У. Собирова // VI-я международная научно теоретическая конференция: «Физико- химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов». Рес. Таджикистан, г. Куляб 25-27 декабря 2013 – Кулоб, 2014, - с. 41-44.

[14-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, - Душанбе, 2014 - с. 65-70.

[15-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, Душанбе «Бухоро» 2014, с. 82-85.

[16-М]. Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Применение м-модели к описанию расплава антимонида индия. / С. 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.

[17-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-летия Кулябского государственного университета имени Абуабдулло Рудаки, (часть 1), Куляб-2020,- с. 22-26.

[18-М]. С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н. Баротов**, С. Ситамов. 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.

[19-М]. **Баротов Н.И.**, Каримов С.К., Гафоров С., Ситамов С.. 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 - с. 276-278.

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÷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.

Аннотатсия

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

Калидвожаҳо: антимониди индӣ, чавҳаронидашуда, синтез, усулҳои технологӣ, усулҳои тадқиқотӣ, электрикгузаронӣ, қэҳ-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 – нукра вобаста ба ҳарорат ва концентратсияи зарибҳои Холл, қэҳ-и гармоӣ, электрикгузаронӣ, ҳаракатнокии заряд, концентрация ва дигар бузургҳои физикӣ ва химиявӣ барои тарҳрезии дастгоҳҳои электронӣ баррасӣ карда мешаванд. Ба ин мақсад дар рисола объекти таҳқиқот пайвастагиҳои антимониди индӣ ва ҳолати чавҳаронидашудаи он бо нукра интиҳоб карда шудаанд. Бо мақсади ҷустуҷӯи маводи нави фаъол намунаҳои антимониди индӣ бо илова кардани нукра ба андозаи аз 0,1÷0,5 % масс. Ag омӯхта шуданд. Дар ин намунаҳо бори аввал вобастагии ҳароратии электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва коэффиенти Холл омӯхта шуданд. Маълумотҳои таҷрибавӣ ба таври графикӣ тасвир карда шудаанд. Намунаҳои антимониди индӣ бо иловаи нукра бори аввал синтез карда шуда, вобастагии ҳароратӣ бузургҳои муҳимми электрофизикӣ, монанди электрикгузаронӣ, қэҳ-и гармоӣ ва зароби Холл ба таври таҷрибавӣ омӯхта шуданд. Дар асоси маълумотҳои таҷрибавӣ концентрация ва ҳаракатнокии зарядҳо, энергияи активатсия, гармигузаронӣ ва дигар бузургҳо ҳисоб карда шудаанд.

Натиҷаҳои тадқиқот нишон медиҳанд, ки пайвастагиҳои антимониди индӣ 0,1 % масс. бо нукра чавҳаронидашуда нисбатан қэҳ-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.