

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

диссертационного совета 6D. КОА - 010 на базе Таджикского национального университета по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 23 мая 2024 г., №5

О присуждении Баротову Намозкулу Иноятовичу ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.04- физическая химия

Диссертация **«Исследование физико-химических параметров легированных полупроводниковых материалов на основе антимонида индия»** по специальности 02.00.04 - физическая химия принята к защите 17 марта 2024 г., протокол №3, диссертационным советом 6D. КОА - 010 на базе Таджикского национального университета (734025, г.Душанбе, пр. Рудаки, 17; приказа ВАК при Президенте Республики Таджикистан от 03 июня 2019, №110).

**Соискатель** Баротов Намозкул Иноятович 1969 года рождения, в 2006 году окончил Кулябский государственный университет им. Абуабдулло Рудаки, ему была присвоена квалификация Физик (01.04.00). (Диплом ДТО № 0000880 от 30.06.2006). С 2009 по 2013гг являлся аспирантом Кулябского государственного университета им. Абуабдулло Рудаки.

Диссертация выполнена на кафедре общей и теоретической физики Кулябского государственного университета имени Абуабдулло Рудаки.

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

**Официальные оппоненты:** **Раджабов Умарали** - доктор химических наук, профессор кафедры фармацевтической и токсикологической химии Таджикского государственного медицинского университета им. Абуали ибни Сино.

**Бердиев Асадкул Эгамович** - доктор технических наук, профессор кафедры химии и биологии Российско-Таджикского Славянского университета, дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация:** Физико-технический институт им. С.У. Умарова при Национальной академии наук Таджикистана в своем положительном отзыве, утвержденным директором, д.ф.м., доцентом Зарифзода А.К. и подписанным заместителем директора по научной и учебной работе кандидатом физико-математических наук, доцентом Холмуродов Ф. и экспертом, зав. лаборатории физики кристаллов

кандидатом химических наук, Холовым А. отмечает: Полученные экспериментальные данные подтверждаются использованием апробированных электрофизических и термоэлектрических методик исследования; современными приборами для исследования; воспроизводимостью экспериментальных результатов в широком диапазоне температур; поиском и находкой новых высокоэффективных активных элементов для создания электронных приборов. Также, подтверждается публикацией результатов исследования в рецензируемых научных журналах. Диссертационная работа Баротова Намозкула Иноятовича на тему «Исследование физико-химических параметров легированных полупроводниковых материалов на основе антимонида индия», представленная на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.04 - физическая химия, является завершённой научно-квалификационной работой.

Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. В диссертационной работе цитирование оформлено корректно; ссылки на авторов и соавторов оформлены в соответствии с критериями, установленными ВАК при Президенте Республики Таджикистан. Диссертационная работа соискателя по объёму, теоретической и практической значимости, новизне отвечает всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.04 - физическая химия.

Соискатель имеет 22 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 15 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях - 7, изобретение – 1 и акт о внедрение - 1.

#### **Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

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

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

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

**[3-А]. Баротов Н.И.** Современные модели металлов и полупроводников в твердом и жидком состоянии. /Баротов Н.И., Ситамов С., Гафоров С., //Научно-медицинский журнал, Хатлонского

государственного медицинского университета, - Дангара, 2021.-№ 10 (2), - с. 136 – 140.

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

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

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

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

#### ***Патент:***

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

#### **Публикация в других изданиях:**

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

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

[10-А]. Штерн Ю.И., Гафоров С., Баротов Н.И., Собирова У. Электропроводность, термо-эдс и эффект Холла в антимониде галлия, легированного железом. /Штерн Ю.И., Гафоров С., Баротов Н.И.,

Собирова У.//, Вестник Курган-тюбинского государственного университета имени Носира Хусрава, научный журнал , 2/2 (54) - Бохтар-2018, -с. 46-47.

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

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

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

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

[15-А]. Айвазов А.А., Гафоров С., Баротов Н.И., Собирова У. Экспериментальное исследование электропроводность и термо-ЭДС в  $Bi$ -  $BiMn$ . / 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 - Куляб, 2014, с. 39-40.

[16-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.

[17-А]. Каримов С. К., Гафоров С., Баротов Н.И., Технологические процессы получения полупроводниковых материалов в космосе. / С.К. Каримов, С. Гафоров, Н.И. Баротов // VI-ая международная научно теоретическая конференция: «Физико- химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и

диэлектрических материалов». Рес. Таджикистан г. Куляб 25-27 декабря 2013 – Куляб, 2014 - с. 65-70.

[18-А]. Каримов С. К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Механизм формирования неоднородности в INSb. /С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов** //, VI-ая международная научно-теоретическая конференция: «Физико-химические основы получения комплекса свойств полупроводниковых, композиционных и диэлектрических материалов». Республики Таджикистан г. Куляб 25-27 декабря 2013 – Куляб, 2014. - с. 82-85.

[19-А]. Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Применение м-модели к описанию расплава антимонида индия. /Гафоров, **Н.И. Баротов** //Материалы республиканская научно-теоретическая конференция «Актуальные проблемы науки и образования в условиях глобализации» в честь 75-летия Кулябского государственного университета имени А. Рудаки, (часть 1) - Куляб, 2020 - с. 133-138.

[20-А]. Каримов С. К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Исследование электрофизических свойств в расплавах халькогенидов серебра. //С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов** //, Материалы республиканская научно-теоретическая конференция «Актуальные проблемы науки и образования в условиях глобализации» в честь 75-летию Кулябского государственного университета имени Абуабдулло Рудаки, (часть 1) – Куляб, 2020 - с. 22-26.

[21-А]. Каримов С.К., Гафоров С., **Баротов Н.И.**, Ситамов С. Обоснование металлизации жидкого антимонида индия. /С.К. Каримов, С. Гафоров, **Н.И. Баротов**, С. Ситамов. //Материалы международной научно-практической конференции ГОУ Хатлонского государственного медицинского университета (1-я годовичная), посвященной «Годом развития села, туризма и народных ремёсел (2019-2020.)», 25 декабря 2020 - Дангара, с. 359-364.

[22-А]. **Н.И. Баротов**, С.К. Каримов, С. Гафоров, С. Ситамов. Электрофизические свойства антимонида индия и антимонида индия легированного серебром. /**Н. И. Баротов**, С.К. Каримов, С. Гафоров, С. Ситамов. //Материалы международной научно-практической конференции ГОУ Хатлонского государственного медицинского университета (1-я годовичная), посвященной «Годом развития села, туризма и народных ремёсел (2019-2020.)», 25 декабря 2020 - Дангара, 2015 - с. 276-278.

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

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- от Бузаевой Марии Владимировна, д.х.н., заведующей кафедрой «Химия и технологии композиционных материалов» Федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский Государственный технический университет». Отзыв положительный.

- от Глотовой Ирины Анатольевны, Академик Академии Естествознания Академик Международной Академии Холода д.т.н, профессор кафедры хранения и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I». Отзыв положительный.

- от Звягина Алексея Алексеевича, к.х.н, доцента кафедры химии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I». Отзыв положительный.

- от Хакимова Искандара Бозоровича, к.т.н., дотцент, проректор по инновации, цифровизации и международной связи Институт технологий и инновационного менеджмента в городе Куляб кафедры электроники физико-технического факультета ГОУ «ХГУ им. академика Б. Гафурова». Имеются замечания:

1. Несказанно что почему для комплексного синтеза исследования выбрали однотемпературной метод?
2. В автореферате следовало бы дат диаграмму состояния антимонида индия и принципиальные схемы аппаратуры которые использовались для проведение эксперимента.
3. В тексте автореферата и диссертации встречаются некоторые грамматические ошибки.

- от Сафарова Шохина Рустамович, к.т.н, зав. кафедрой методики преподавания физика Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава.

Имеются замечания:

1. В диссертации и в автореферате в научной новизне и положениях, выносимых на защиту, недостаточно отражены результаты по применению данного соединения в электронной промышленности и в народном хозяйстве.
2. В автореферате следовало бы дат диаграмму состояния системы In-Sb.
3. В тексте автореферата и диссертации встречаются некоторые грамматические ошибки.
4. В списке литературы приходится большинство литературы давних времён. Было бы уместно диссертантом включении современные литературы.

- от Рахимова Ф.А к.т.н. (по специальности 02.00.04-физическая химия) учёный секретар ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий» НАН Таджикистана

Отзыв положительный.

Выбор официальных оппонентов и оппонировающей организации обусловлен тем, что они обладают необходимой квалификацией по специальности 02.00.04 - физическая химия.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- поиск новых материалов с высокоэффективными термоэлектрическими параметрами в твёрдой и жидкой фазах, и совершенствование путём легирования, а также термообработкой и совместного сплавления исходных компонентов является основной проблемой электронной техники.
- применение полупроводниковых соединений и твёрдых растворов на их основе, легирование соединений в качестве активных материалов в современной технике сделает эту задачу перспективной.
- поиск новых материалов с большими термоэлектрическими параметрами в твёрдой и жидкой фазах путём легирования, термообработки, совместного сплавления исходных компонентов является основной проблемой в электронной технике.
- применение полупроводниковых соединений и твёрдых растворов на их основе, легированные материалы в качестве активных материалов в современной технике сделают эту задачу более перспективной.
- исследована электропроводность и коэффициентов термо-эдс и Холла в полупроводниковых материалах при низких и средних температурах с применением разработанного держателя является важным для исследования физико-химических свойств материалов.
- показана схема измерительной ячейки для исследования электропроводности, коэффициентов термо-эдс и Холла металлов и полупроводников в жидкой фазе и технологический подход, операция и процесс синтеза к подготовке образцов для измерения.
- разработана установка и представлены метод синтеза, подготовки образцов антимонида индия и легированного серебром к измерению.
- впервые синтезированы образцы антимонида индия с содержанием серебра и получены температурные зависимости коэффициентов электропроводности, термо-эдс и Холла.
- на основе экспериментальных данных рассчитаны подвижность и концентрация носителей заряда, энергия активации и др.
- доказано, что легирующее соединение  $\text{InSb}$  с содержанием 0,1%  $\text{Ag}$  имеет высокое значение коэффициента термо – эдс, которые могут играть важную роль для изготовления термодатчиков.

### **Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

Рассматривается проведённый количественный анализ применимости теоретических моделей М. Катлера, Н. Ф. Мотта, Андерсона и др. описывающих физические свойства исследованных расплавов полупроводников, а также веществ с подобной физико-химической природой. Полученные количественные данные по изученным физико-химическим свойствам полупроводников представляют интерес для разработчиков аппаратуры электронной техники и технологов при создании и эксплуатации электронного оборудования. Получен большой объём экспериментальных данных высокой точности, надежности по электропроводности, термо-эдс и эффекта Холла чистого антимонида индия (InSb), легированного серебром (InSb+Ag), результаты, которых можно рекомендовать для использования в электронной промышленности.

Предложены методика одновременного измерения коэффициентов электропроводности, термо-эдс и Холла в широком диапазоне температур, которая позволяет сэкономить материал ячейки, исследуемое вещество и время для подготовки ячейки к измерениям. Вместо разовых измерительных ячеек, предлагается их использование как многоразовых, естественно после обработки с применением специальных приёмов и ячейка будет готова к новому измерению.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

- впервые синтезированы образцы антимонида индия с содержанием серебра (InSb+Ag) и получены температурные зависимости важных электрофизических параметров, такие как: электропроводность, термо-эдс и Холла.
- 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.
- впервые сделан количественный анализ исследованных свойств веществ на основе различных моделей, предложенных Н. Моттом, М. Катлером и классической теорией свободных электронов.
- 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



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

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- полученные экспериментальные данные подтверждаются использованием электрофизических и термоэлектрических методик исследования;
- на основе полученных экспериментальных данных следует сделать заключение о применимости представленных материалов в современных электронных приборах;
- проведенные повторные измерения подтверждают воспроизводимостью экспериментальных результатов в широком диапазоне температур;
- представлены новые высокоэффективные материалы, применяемые как активных элементов для создания термоэлементов, термогенераторов.

**Личный вклад соискателя состоит в** создании технологического процесса синтеза и сборке установки для измерения коэффициентов термо-эдс, электропроводность и Холла, анализ литературных данных и их сопоставлении, написание научных статей выполненное в соавторстве, постановка задач исследования, получении экспериментальных данных, анализе и обобщении результатов, формулировке основных выводов диссертации, внедрении результатов исследования в народном хозяйстве и получении авторского свидетельства.

На заседании **23 мая 2024** года диссертационный совет принял решение присудить Баротову Намозкулу Иноятовичу учёную степень кандидата химических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 4 доктора наук по профилю рассматриваемой диссертации 02.00.04 – Физическая химия, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовали «за» 11, «против» - нет, недействительных бюллетеней - нет.

**Зам. председатель** диссертационного совета 6D. КОА - 010 при Таджикском национальном университете,  
д.х.н., профессор



Рахимова М.

**Ученый секретарь**  
диссертационного совета 6D. КОА - 010  
при Таджикском национальном университете,  
д.х.н., профессор

Раджабзода С.И.

23 мая 2024