

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор Кулябского государственного
университета имени Абуабдуллох Рудаки,
доктор педагогических наук, профессор

Мирализода А.М.

« 2 » 2020 год

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кулябского государственного университета имени Абуабдуллох Рудаки по кандидатской диссертации Шарипова Аламшо Партоевича на тему: «Синтез и свойства антимонида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 - «Материаловедение (в электротехнике)»

В период подготовки диссертации соискатель Шарипов Аламшо Партоевич работал старшим преподавателем кафедры общей и теоретической физики, методики преподавания физики и технологии материалов, являлся заведующим кафедры общей физики, методики преподавания физики и технологии материалов Кулябского государственного университета имени Абуабдуллох Рудаки.

В 2005 году окончил факультет физики Кулябского государственного университета имени Абуабдуллох Рудаки по специальности «Учитель физики», а в 2010 году окончил очную аспирантуру названного университета.

Научный руководитель: Доктор химических наук (02.00.04 – физическая химия), профессор, Заслуженный деятель науки РТ, Деятель науки и техники РТ, академик инженерной академии РТ, академик филиала международной инженерной академии (РФ), академик инженерной академии Исламских государств **С.К. Каримов.**

На заседании кафедры общей и теоретической физики, методики преподавания физики и технологии материалов Кулябского государственного университета имени Абуабдуллох Рудаки была обсуждена кандидатская диссертация Шарипова Аламшо Партоевича на тему «Синтез и свойства антимонида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 - «Материаловедение (в электротехнике)» и принято следующее заключение:

Диссертация Шарипова А.П. «Синтез и свойства антимонида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе» является научно-квалификационной работой, в которой осуществлено решение проблемы, имеющее большое значение для развития теории физики и химии полупроводников.

В научном докладе отражены проблемы, которые связаны с дальнейшим развитием электронной физики и химии.

В процессе продолжительного научного исследования данной темы, диссертантом было доказано решение новых проблем в области физики и химии полупроводников на основе легирования и их роль в развитии современной электронной технологии.

Результаты проведенных экспериментов, их внедрение, публикации диссертанта дают основания утверждать, что физико-химические свойства полупроводников по данной теме исследованы и изучены достаточно.

Диссертация является научно-квалификационной работой, отвечающей требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **05.02.01 - «Материаловедение (в электротехнике)»** и соответствует требованиям п.8 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ и содержит решение актуальной задачи, имеющей существенное значение для точных наук.

Актуальность темы исследования. Развитие современной электронной техники требует постоянного целенаправленного поиска новых полупроводниковых материалов, имеющих разнообразное сочетание электрофизических, физико-химических, термоэлектрических, термодинамических и др. свойств в широком интервале температур, включая и жидкую фазу.

Перспективными классами полупроводниковых соединений являются двойные и тройные халькогениды галлия типа $A^{III}B^V$ и твердые растворы на основе двойных соединений такого типа. Прогноз их свойств показал, что полупроводники этих типов должны обладать эффективными сочетаниями электрофизических и термоэлектрических свойств, которые могут быть реализованы как на поликристаллических, так и на монокристаллических образцах. Выращивание монокристаллов для некоторых антимонидов и арсенидов галлия методом химической газотранспортной реакции, требует конструкции специальной аппаратуры и методики проведения процесса. Решение этой задачи на примере антимонидов и арсенидов галлия открывает более широкие перспективы получения монокристаллов полупроводниковых соединений методом «Сдвоенных печей» и «Химических газотранспортных реакций».

Для решения поставленных задач предъявляются все более высокие требования к получению новых полупроводниковых соединений, их кристаллов, имеющих различный состав и различные сочетания основных физических, физико-химических, теплофизических, термоэлектрических, термодинамических и других свойств. В связи с этим прилагаются значительные усилия по изысканию и изучению новых бинарных полупроводниковых соединений обладающих самими разнообразными свойствами, которые могли бы отвечать новым требованиям, предъявляемым современной наукой и техникой.

Степень изученности проблемы. В связи с расширением области технического применения полупроводников и необходимостью совершенствования технологии их производства также повысился интерес к глубокому и всестороннему изучению их физико-химических свойств в широком диапазоне температур, включая и жидкую фазу. Большой интерес к изучению

свойств расплавов в последнее время существенно повысился и потому что жидкие полупроводники нашли широкое применение в качестве материалов для высокотемпературных датчиков температуры, переключателей, термоэлементов и т.д.

В связи с этим термин «жидкие полупроводники», «расплавы полупроводников», твердо вошли в физику и технику полупроводников, в связи с чем, за последнее годы наблюдается повышенный интерес к структурно – неупорядоченным системам. При исследовании структурно – неупорядоченных систем обнаружилось новые физические явления, иногда имеющие фундаментальное значение для теории твердого тела в целом. Например, локализация электронных состояний в случайном поле разупорядоченной атомной решетки, электронный перенос в предельном случае особо сильного рассеяния, т.е. при длинах свободного пробега порядке межатомного расстояния, прыжковый механизм электронной проводимости и т.п.

К перечисленным проблемам следует добавить и вопросы методологического плана. Дело в том, что современная теория неупорядоченных систем не позволяет достоверно предсказывать абсолютные значения физических свойств жидких полупроводников, и зачастую пользуются соотношениями, заимствованными из теории кристаллических полупроводников, основываясь на представленных о сохранении зонного характера энергического спектра носителей. Однако границы применимости подобного приближения совершенно, не очевидны. Следует лишь указать, что волновой вектор в неупорядоченных системах с сильным рассеянием уже не являются хорошим квантовым числом и можно ожидать, что эффективная масса носителей будет переменной величиной при переходе от одного физического свойства к другому.

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

Задачи исследования:

1. Создание специальной установки сдвоенных тиглей для выращивания монокристаллов методом газотранспортных реакций.
2. Исследование фазовых равновесий с целью поиска новых полупроводниковых соединений группы $A^{III}-B^V$ - соединений, впервые синтезированных в данной работе.
3. Разработка оптимальных условий синтеза и выращивания монокристаллов бинарных антимонидов и арсенидов галлия и твердых растворов на их основе.
4. Исследование электрофизических, физико-химических, термодинамических свойств бинарных антимонидов и арсенидов галлия в широком интервале температур, включая и жидкую фазу.
5. Исследование легированных соединений $A^{III}B^V$ и изучение их электрофизических и термоэлектрических свойств.

6. Выяснение областей практического применения двойных и новых тройных антимонидов и арсенидов галлия в электронной технике.

7. Исследование кинетических параметров в зависимости от состава твердых растворов в системе GaAs-GaSb с целью получения материалов с высокой термоэлектрической эффективностью.

Научная новизна работы заключается в том что, в ней впервые проведены комплексные исследования методов синтеза, получения кристаллов полупроводниковых простых двойных соединений типа $A^{III}B^V$, процессов их легирования, а также широкого круга их физических, физико-химических и термодинамических свойств для твердых и расплавленных соединений;

- впервые исследованы фазовые равновесия в системах Ga-As и Ga-Sb и твердые растворы на их основе;

- доказана индивидуальность существования соединения GaAs и GaSb в системах Ga-As и Ga-Sb;

- показано, что в системах GaAs и GaSb образуются непрерывный ряд твердых растворов;

- разработан комплекс аппаратуры («Двухтемпературной печи» для синтеза и получения кристаллов $A^{III}B^V$ методом «Химических газотранспортных реакций»);

- впервые исследована температурная зависимость теплоемкости соединений $A^{III}B^V$;

- определены отдельные ее составляющие и установлены пределы экспериментального закона температурной зависимости теплоемкости в соединениях $A^{III}B^V$;

- рассчитаны термодинамические функции этих соединений;

- определен вклад составляющих теплопроводности в общую теплопроводность соединения типа $A^{III}B^V$;

- рассчитаны температурные зависимости коэффициентов термоэлектрической добротности и показана их перспективность применения.

Эти параметры в значительной мере определяют кинетику и морфологию роста кристаллов различной физико-химической природы. Поэтому наличие такой корреляции позволяет регулировать процессы роста и осуществлять направленный синтез кристаллов бинарных и тройных халькогенидов галлия из расплава.

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

- исследованы фазовые равновесия в системах Ga-As и Ga-Sb;

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

- разработана новая разновидность метода химических транспортных реакций, позволившая получить монокристаллы соединений типа $A^{III}B^V$;
- определена температурная зависимость теплоемкости, определены отдельные ее составляющие части и установлены пределы экспоненциального закона температурной зависимости теплоемкости в соединениях $A^{III}B^V$. По данным теплоемкости рассчитана температурная зависимость термодинамических функций этих соединений;
- рассчитаны некоторые характеристики колебательного спектра атомов тройных соединений $A^{III}B^V$;
- по температурным зависимостям физико-химических, электрофизических свойств соединений $A^{III}B^V$ сделано заключение о том, что не наблюдаются радикальные изменения в характере химической связи и структуре ближнего порядка при плавлении и дальнейшем нагреве расплавов данных соединений;
- выявлен вклад составляющей теплопроводности (электронной, биполярной и молярной) в общей теплопроводности бинарных и сложных халькогенидов галлия в зависимости от температуры;
- рассчитаны температурные зависимости коэффициента термоэлектрической эффективности (добротности) данных соединений, по которым сделаны предложения об их практическом применении;
- показано, что при легировании изученных халькогенидов галлия можно регулировать их электрофизические свойства путем компенсации носителей заряда;
- установлены экспоненциальные законы температурной зависимости подвижности носителей заряда и механизм их рассеяния.

Практическая значимость работы определяется следующими положениями:

- создана установка для выращивания монокристаллов методами двойных тиглей и газотранспортной реакции;
- усовершенствована аппаратура для выращивания кристаллов двойных и тройных халькогенидов галлия методом химических транспортных реакций;
- разработаны оригинальные конструкции ячейки для измерения электропроводности, коэффициентов термо-эдс и коэффициента Холла твердых и жидких полупроводников при высоких температурах;
- изучены фазовые диаграммы, которые позволяют осуществлять направленный синтез и легирование двойных и тройных халькогенидов галлия;
- исследование комплекса теплофизических свойств бинарных и тройных халькогенидов галлия, может быть использован при проектировании установок для выращивания соответствующих монокристаллов;
- определены соединения $A^{III}B^V$ и твердые растворы на их основе, являющиеся перспективными полупроводниковыми материалами для использования в качестве термоэлектрогенераторов и термодатчиков;
- внедрен ряд материалов в производство, о чем прилагаются соответствующие акты и заключения.

Диссертационная работа Шарипова А.П. «Синтез и свойства антимо-нида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе» по своей актуальности, достоверности научных результатов, научной и практической значимости соответствует всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.02.01 - «Материаловедение (в электротехнике)»**.

Автор диссертации достоин присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.02.01 - «Материаловедение (в электротехнике)»**.

Основные содержание и результаты исследования отражены в следующих публикациях:

А. Статьи, опубликованные в изданиях из перечня ведущих рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

1. Каримов С.К. Некоторые электрофизические свойства твердых растворов системы GaSb-GaAs / С.К. Каримов, А. Шарипов // Вестник ТНУ. - Душанбе: «Сино», 2013. -№1/1(102). –С.119-124.

2. Каримов С.К. Некоторые физико-химические свойства соединения типа $A^{III}B^V$, легированного хромом (Cr) / С.К. Каримов, А. Шарипов // Вестник ТНУ. –Душанбе: «Сино», 2014. -№1/2(130). –С.74-77.

Б. Патенты.

3. «Датчик температуры» (Температурный датчик) для измерения температуры почвы перед посевом семян сельхозкультуры / С.К. Каримов, С.Г. Гафоров, Н.И. Баротов, А.П. Шарипов // Малый патент РТ, №ТJ 623 от 24.07.2014г.

4. «Двухзонная (двухтемпературная) печь» для синтеза и получения монокристаллических полупроводниковых соединений методом «химических газотранспортных реакций» / С.К. Каримов, С.Г. Гафоров, А.П. Шарипов // Малый патент РТ, № TJ 668 от 06.01.2015г.

5. Держатель образца «для исследования электрофизических параметров полупроводниковых соединений при низких температурах» С.К. Каримов, С.Г. Гафоров, А.П. Шарипов // Малый патент РТ, № TJ 918 от 23.07.2018г.

В. Статьи, опубликованные в других изданиях и журналах:

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

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

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

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

10. Каримов С.К. Установка для комплексного исследования электрофизических и термоэлектрических свойств металлов и полупроводников в широком диапазоне температур / С.К. Каримов, С.Г. Гаффоров, Н.И. Баротов, А. Шарипов // Кулябский Филиал технологического университета (22-24 апреля 2010 г.). -Куляб, 2010. -С.68-70.

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

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

Г. Статьи в материалах конференций.

13. Каримов С.К. Теплопроводность и термодинамические свойства соединения типа $A^{III}B^V$ / С.К. Каримов, А. Шарипов // Материалы науч.-практ. республ. конф. к 20-летию Дня независимости Республики Таджикистан: «Истиклолият таҳкимбахши давлати ҳуқуқбунёд» (29-30.06.2011г., Курган-тюбинский госуниверситет). -Курган-тубе, 2011. -С.132-137.

14. Каримов С.К. Электрофизические свойства антимонида галлия (GaSb), легированного хромом (Cr) / С.К. Каримов, С.Г. Гаффоров, Н.И. Баротов, А.П. Шарипов // Материалы Междунар. науч.-теорет. конф. «Философия, естественные и математические науки и образование: проблемы и перспективы, посв. 15-летию Дня национального согласия и 50-летию со дня рождения доктора физико-математических наук, академика АПСН РФ, профессора Абдулхая Комили. -Курган-тубе: Кургантюбинский госуниверситет, 2012. -С.154-161.

15. Каримов С.К. Некоторые физико-химические свойства соединения типа $A^{III}B^V$, легированного хромом (Cr) / С.К. Каримов, А. Шарипов // Материалы научно-практической республиканской конференции «Вклад науки в инновационном развитии регионов Республики Таджикистан» (Кулябский филиал Технологического университета Таджикистана). -Душанбе, 2012. -С.123-129.

16. Кольцов В.Б. Некоторые физические свойства чистых и легированных GaSb, GaSb+Cr, GaSb+GaAs / В.Б. Кольцов, С.Г. Гафоров, Н.И. Баротов, А. Шарипов // Кулябский государственный университет имени Абуабдуллох Рудаки (25-27.12.2013г.). -Куляб, 2013. -С.6-7.

17. Каримов С.К. Некоторые электрофизические свойства соединения GaB^V (B^V -As, Sb) / С.К. Каримов, А. Шарипов // Материалы VI-ой Международной научно-теоретической конференции «Физико-химические основы получения и исследования комплекса свойств полупроводниковых композиционных и диэлектрических материалов» // Кулябский государственный уни-

верситет имени Абуабдуллох Рудаки (25-27.12.2013г.). –Куляб, 2013. -С.52-54.

18. Каримов С.К. Наука и техника. Наука в производстве (изобретение) / С.К. Каримов, С. Гафоров, Н.И. Баротов, А. Шарипов // Вестник КГУ имени А. Рудаки. –Душанбе: Имперал-групп, 2014. -№1(10). -С.38-44.

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

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

Заключение принято на заседании кафедры общей и теоретической физики, методики преподавания физики и технологии материалов Кулябского государственного университета имени Абуабдуллохи Рудаки.

Присутствовало на заседании 41 человек. Результаты голосования: «за» - 41, «против» - нет, «воздержавшиеся» - нет, протокол №10 от 26 декабря 2019 года.

Председательствующий,

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики, методики преподавания физики и технологии материалов Кулябского государственного университета имени Абуабдуллохи Рудаки, кандидат физико-математических наук, доцент:

Гаффоров С.Г.

Секретарь заседания,
ст. преподаватель

Акрамова Р.Я.

Подписи к.ф.-м.н., доц. Гаффорова С.Г. и Акрамовой Р.Я. «заверяю».

Начальник ОК и СП КГУ им. А. Рудаки

Амиров Ф.

