

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Шарипова Аламшо Партоевича «Синтез и свойства антимионида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 – Материаловедение (в электротехнике)

1. Оценка актуальности темы диссертационного исследования.

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

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

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и практических рекомендации, сформулированных в диссертации.

В диссертационной работе Шарипова Аламшо Партоевича решены следующие научные задачи.

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

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

3. В интервале температур 10-325K исследованы изобарная теплоемкость соединений $A^{III}B^V$ (GaAs, GaSb). Определены стандартное значение энтальпии и энтропии указанных соединений. Рассчитана характеристическая температура Дебая в зависимости от температуры и решения точных составляющих теплоёмкость.

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

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

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

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

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

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

3. Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Соединения типа $A^{III}B^V$ (GaAs, GaSb) и твердые растворы на их основе GaAs-GaSb в твердом и расплавленном состоянии имеют высокую

термо-электрическую эффективность, что их можно рекомендовать в качестве положительных ветвей термоэлектрических материалов. Также соединений $A^{III}B^V$ имеют высокую воспроизводимость в интервале температур 250-750°K, что рекомендуются для создания терморезисторов и различных «Датчиков температур» («термодатчики»).

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

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

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

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

4. Достоверность и новизна научных положений, выводов и практических рекомендаций.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием современных методов исследования с применением системного и функционального анализа. Достоверность полученных результатов подтверждается также приведенными результатами экспериментальных исследований и сравнением некоторых полученных результатов с данными других исследователей, апробацией основных результатов, публикациями в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

Диссертантом проведена значительная по объёму экспериментальная работа, которая имеет как научную, так и практическую значимость.

5. Научная новизна исследования.

Диссертантом проведено комплексная исследование по разработке технологии получения поли- и монокристаллов полупроводниковых соединений в тройной системе Ga-As-Sb, как чистых, так и процессы легированных, а также исследования физико-химических,

термоэлектрических и термодинамических свойств в широком интервале температур, где:

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

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

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

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

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

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

6. Личной вклад соискателя в разработку научной проблемы, репрезентативность материалов, полученных в результате проведённых экспериментальных исследований.

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

6.2. Общие принципы построения и структура работы.

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

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

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

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

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

Четвертая глава технологические процессы синтеза и выращивания монокристаллов двойных соединений $GaAs$ и $GaSb$. Монокристаллы GaV^V выращивали в сконструированной нами двухзонной печи, температура печей которой стабилизировалась с высокой точностью до $\pm 2^\circ C$. Нами сконструирована двухзонная печь для синтеза и получения кристаллов GaV^V .

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

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

В течении 115-145 ч непрерывного процесса вырастили кристаллы GaV^V длиной 4-6 мм с размерами граней 1,5-2,5 мм. На основе серии

дебаеграмм порошков GaV^V и рентгенограмм качания монокристаллов соединений Ga V^V были вычислены параметры элементарной ячейки.

Диссертационная работа завершается общими выводами, списком цитированной литературы и приложением. Наряду с очевидно успехом в получении новых научных результатов диссертационная работа не лишена некоторых недостатков.

7. Замечания по диссертационной работе.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. В первой главе подглаву 1.5 не следовало бы разделить на более мелкие составляющие - 1.5.1-1.5.4.

2. Главу 2 диссертации (стр.36-64) можно было бы сократить без ущерба на основную структуру и вследствие этого на идейном концепции работы.

3. Приведённая на стр. 103, рис. 4.8 диссертации, а также и на стр. 15, рис. 5 автореферата приведённая диаграмма состояния разреза системы GaSb-GaAs образуют так называемую «петлю гистерезиса», физическую смысл которого не объясняется.

4. Из рис. 4.15, стр. 113 диссертации и рис. 8, стр. 17 автореферата исходит, что легирование хромом GaSb и GaAs в виде концентрации примесей указывает на повышение микротвёрдости с наклёпом намного превышает того же значение образцов после химической обработки. Но не объясняется механизм влияния этого изменения.

5. Диссертационная работа местами не лишена недостатками технического и грамматического характера.

Считаю необходимым отметить, что указанные замечания не снижает общей положительной оценки работы. Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, в котором поставлена и решена актуальная научная и практическая задача синтез и свойства антимонида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе.

8. Заключение.

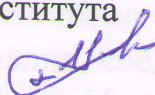
Диссертационная работа Шарипова А.П. на тему: «Синтез и свойства антимонида и арсенида галлия в твердой и жидкой фазе», является законченным научным исследованием, выполненным на высоком научном уровне с использованием различных физических методов исследования. Совокупность этих методов исследования свидетельствует о достоверности полученных результатов.

Учитывая вышесказанное, следует считать, что работа соискателя Шарипова А.П. соответствует паспорту специальности 05.02.01 - Материаловедение (в электротехнике) и соответствует требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание учёной степени кандидата наук «Положение о порядке присуждения учёных степеней» ВАК при Президенте Республике Таджикистан, утверждённым

постановлением Правительства Республики Таджикистан от 26.11.2016г., №505 и представляет собой специально подготовленную рукопись, содержащую совокупность научных результатов и положений, выдвигаемых для защиты, свидетельствующих о личном вкладе в науку, а её автор заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата технических наук по выше названной специальности.

Официальный оппонент:

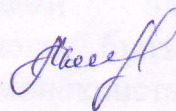
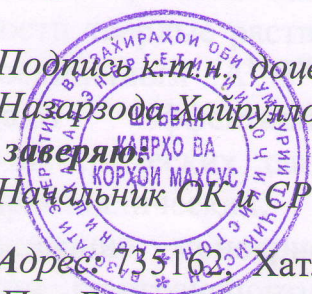
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Гидротехническое строительство и
общетехнические дисциплины» Института
энергетики Таджикистана



Назарзода Х.Х.

Подпись к.т.н., доцента
Назарзода Хайрулло Холназар

заверяю:
Начальник ОК и СР ИЭТ



Равшанова М.А

Адрес: 735162, Хатлонская область, Кушониёнский район.

Пгт. Бохтариён, ул. Н.Хусрава, 73.

Телефон: (+992) 918-74-85-22.

E-mail: nazarov-h2013@mail.ru