

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д.999.134.02 НА БАЗЕ ФГБОУ ВО «ДАГЕСТАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ И ФГБУН «ИНСТИТУТ ФИЗИКИ
им. Х.И.АМИРХАНОВА ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА
НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РФ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело №

решение диссертационного совета от 25.04.2018 г. протокол № 4/2018

О присуждении Гаджиеву Тимуру Мажлумовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Структурные, электрические, фотоэлектрические свойства кристаллов и пленок CuInSe_2 , полученных методами Бриджмена и двухзонной селенизации» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния принята к защите 21 февраля 2018 г., протокол № 2/2018 объединенным диссертационным советом Д.999.134.02 на базе ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет» Минобрнауки РФ (367000, РД, Махачкала, ул. М. Гаджиева 43-а, тел.: 8 8722 68 23 26, e-mail: dgu@dgu.ru) и ФГБУН «Институт физики им. Х.И. Амирханова ДНЦ Российской академии наук» (367003, РД, Махачкала, ул. М. Ярагского, 94, тел.: 8 8722 62 89 60, e-mail: dissovet_if_dgu@mail.ru), созданным 16 марта 2017 г, приказ № 209/нк.

Соискатель Гаджиев Тимур Мажлумович, 1970 года рождения, гражданин Российской Федерации. В 1992 году соискатель окончил Дагестанский государственный университет им. В. И. Ленина, Российская Федерация, с 1994 г. по настоящее время научный сотрудник ФГБУН «Институт физики им. Х.И.Амирханова ДНЦ РАН».

Диссертация выполнена в лаборатории «Оптические явления в

конденсированных средах» ФГБУН «Институт физики им. Х.И.Амирханова ДНЦ РАН».

Научный руководитель – Каллаев Сулейман Нурулисламович, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра РАН».

Официальные оппоненты:

Каргин Николай Иванович – доктор технических наук, профессор Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», директор Института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике НИЯУ «МИФИ», 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31, телефон: +7 (495) 788-5699, e-mail: NIKargin@mephi.ru

Матиев Ахмет Хасанович – доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры «Общей физики» ФГБОУ ВО «Ингушский государственный университет», 386001, Республика Ингушетия, г. Магас, проспект И.Б. Зязикова, 7, телефон: (8732) 22-38-65, e-mail: matiev-aldimet@yandex.ru

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», (РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, д. 44, e-mail: kozyrev@skgmi-gtu, rusozaeff@mail.ru) в своем положительном заключении, подписанном заведующим кафедрой физики ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» доктором физико-математических наук, профессором Созаевым В.А., заведующим кафедрой электронных приборов ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» доктором технических наук, профессором Козыревым Е.Н., утвержденном проректором по научной работе и инновационной деятельности Федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», доктором сельскохозяйственных наук, профессором Темираевым Р.Б. указала, что большинство результатов исследования являются оригинальными и получены впервые. В качестве объектов исследования использовались кристаллические и пленочные образцы трехкомпонентного соединения CuInSe_2 . Особое внимание было уделено исследованию морфологии поверхности, структурных характеристик, исследованиям температурных зависимостей проводимости и подвижности носителей заряда. Представлены важные результаты изучения фотопроводимости и фото ЭДС кристаллов и пленок CuInSe_2 . Основные результаты и выводы диссертации являются достоверными и обоснованными.

Представленную диссертационную работу можно отнести к разряду немногочисленных на сегодняшний день экспериментальных работ.

Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации.

Диссертационная работа Гаджиева Тимура Мажлумовича «Структурные, электрические, фотоэлектрические свойства кристаллов и пленок CuInSe_2 , полученных методами Бриджмена и двухзонной селенизации» выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, имеющую значение для физики полупроводников и фотоэнергетики. Диссертация «Структурные, электрические, фотоэлектрические свойства кристаллов и пленок CuInSe_2 , полученных методами Бриджмена и двухзонной селенизации» соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Гаджиев Тимур Мажлумович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Соискатель имеет 26 опубликованных работ, в том числе 5 статей в рецензируемых научных журналах, 5 статей в журналах входящих в перечень ВАК РФ, 14 в сборниках конференций и 2 патента РФ.

Список наиболее значительных работ:

1. Сафаралиев Г.К. Подвижность носителей заряда и термоэдс в кристаллах CuInSe_2 . / Г.К. Сафаралиев, Б.А. Билалов, **Т.М. Гаджиев** // Вестник Дагестанского государственного университета. Естественные науки. –2003. – №4. – С.5–7.
2. **Гаджиев Т.М.** Свойства пленок CuInSe_2 полученных методами селенизации и квазиравновесного осаждения. / **Т.М. Гаджиев**, А.А. Бабаев, Р.М. Гаджиева, Дж. Х. Магомедова, П.П. Хохлачев // Неорганические материалы. – 2008. –Т.44.– №12. – С.1436–1440.
3. **Гаджиев Т.М.** Влияние галлия на электрофизические свойства и фотоотклик пленок $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$. / **Т.М. Гаджиев**, А.А. Бабаев, Р.М. Гаджиева, Дж. Х. Магомедова, П.П. Хохлачев // Неорганические материалы.– 2012. – Т.48. – №3. – С.280–284.
4. **Гаджиев Т.М.** Установка и подбор технологических режимов получения тонких пленок $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$. / **Т.М. Гаджиев**, А.М. Асхабов, М.А. Алиев, Р.М. Гаджиева, П.П. Хохлачев // Вестник Дагестанского научного центра РАН. Естественные науки. – 2013.– №50. – С.13–18.
5. **Гаджиев Т. М.** Установка для термодиффузионного синтеза многокомпонентных полупроводниковых соединений / **Т. М. Гаджиев**, С. Н. Каллаев, Р. М. Гаджиева, М. А. Алиев, А. Р. Алиев // Приборы и техника эксперимента. – 2016. – № 2. – С. 146–151.
6. Пат. 2354006 Российской Федерации, МПК H01L31/18/ Способ получения тонкой пленки диселенида меди и индия CuInSe_2 / Билалов Б.А., Гаджиев Т.М., Сафаралиев Г.К.; заявитель и патентообладатель ООО «АККОРД». – 2007139207/28; заявл. 22.10.2007.; опубл. 27.04.2009, Бюл. №12.–5с.

7. Пат. 116614 Российской Федерации, МПК F27B5/04/ Вакуумная трубчатая печь, / Гаджиев Т.М., Гаджиева Р.М., Арсланов Р.К., Куруцов М.Г., Зубаилов И.Г.; заявитель и патентообладатель Гаджиев Т.М. –2011151922/02; заявл.19.12.2011; опубл. 27.05.2012, Бюл. №15.–5с.

На автореферат поступили 6 отзывов:

Отзыв Романовой Оксаны Борисовны, кандидата физико-математических наук, научного сотрудника Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН и Аплеснина Сергея Степановича, доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН. Отзыв положительный, имеется замечание: к сожалению, в работе не представлены исследования магнитной структуры, которые необходимы для полноты исследования.

Отзыв Алтухова Виктора Ивановича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры транспортных средств и процессов ИСТиД (филиал) СКФУ в г. Пятигорске. Отзыв положительный, замечаний нет.

Отзыв Торопова Алексея Акимовича, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. Отзыв положительный, замечаний нет.

Отзыв Гасумянца Виталия Эдуардовича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Санкт-Петербургского политехнического университета им. Петра Великого. Отзыв положительный, имеются замечания:

1. В автореферате приводятся и обсуждаются данные о подвижности носителей заряда в образцах с различным уровнем и типом легирования, однако автор не указывает, каким образом были получены эти данные, учитывались ли при расчете значений подвижности значения Холл-фактора, возможное влияние наличия в образцах нескольких типов носителей заряда и другие особенности энергетического спектра.

2. По моему мнению, не достаточно обоснованным является выделение на рис. ба двух участков температурной зависимости электропроводности с различными значениями энергии активации (0,009 и 0,012 эВ), поскольку указанные энергии слишком близки и достаточно узкий температурный диапазон, соответствующий большему значению энергии активации, может являться просто переходной областью к третьему участку с $E_a=0,022$ эВ.

Отзыв Каневского Владимира Михайловича, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН. Отзыв положительный, замечаний нет.

Отзыв Кармокова Ахмеда Мацевича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры электроники и информационных технологий ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова». Отзыв положительный, замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью данных ученых и сотрудников организации (в соответствии с пп. 22, 24 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденный Постановлением Правительства России от 24.02.2013 г., № 842), а также имеющимися у них научными публикациями по теме диссертации и способностью определить научную и практическую ценность исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- усовершенствована технология выращивания кристаллов CuInSe_2 трехзонным методом Бриджмена. Разработан метод получения пленок CuInSe_2 (патент RU № 2354006), создана установка, предназначенная для проведения процессов термодиффузионного синтеза в потоке газа-носителя реакционной компоненты (селенизации) (патент RU № 116614) и получены пленки CuInSe_2 ;
- показано, что вольтамперные характеристики структур In/кристалл p- CuInSe_2 и In/пленка p- CuInSe_2 при $T = 300$ К имеют диодный тип. Напряжение отсечки структур In/кристалл p- CuInSe_2 $U_c = 0,95$ В, коэффициент выпрямления $\beta = 1,4$ и для структур In/пленка p- CuInSe_2 $U_c = 0,445$ В, коэффициент выпрямления

$$\beta = 1,73;$$

- показано, что не зависимо от типа проводимости в кристаллах и пленках CuInSe_2 в интервале температур $77 \leq T \leq 300$ К температурная зависимость электропроводности $\sigma_{p,n}$ имеет активационный характер. По тангенсам углов наклона зависимости $\ln \sigma \sim f(10^3/T)$ для кристаллов CuInSe_2 вычислены энергии активации $\Delta E_{1p} = 0,009$ эВ, $\Delta E_{2p} = 0,012$ эВ, $\Delta E_{3p} = 0,022$ эВ для p-типа и $\Delta E_{1n} = 0,005$ эВ, $\Delta E_{2n} = 0,022$ эВ для n-типа. Для пленок, полученных при $T_{\text{ссл.}} = 360^\circ\text{C}$ имеем $\Delta E_1(360) = 0,005$ эВ; при $T_{\text{ссл.}} = 380^\circ\text{C}$ имеем $\Delta E_1(380) = 0,005$ эВ и $\Delta E_2(380) = 0,082$ эВ и при $T_{\text{ссл.}} = 400^\circ\text{C}$ имеем $\Delta E_1(400) = 0,082$ эВ, $\Delta E_2(400) = 0,32$ эВ;

- установлено, что максимальные значения подвижности в кристаллах CuInSe_2 $\mu_n = 260$ $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{c}$ и $\mu_p = 120$ $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{c}$ наблюдаются при температурах $T_n = 120$ К и $T_p = 150$ К, ниже и выше которых имеют место участки с уменьшением значений. На температурную зависимость подвижности носителей заряда в области $100 \leq T \leq 300$ К в кристаллах оказывает влияние рассеяние на тепловых колебаниях атомов или ионов кристаллической решетки и на атомах или ионах собственных дефектов. Значения подвижности при комнатной температуре всех исследованных пленочных образцов меньше, чем в объемных кристаллах CuInSe_2 и достигают максимума 16 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{c}$ в образцах, полученных при $T_{\text{ссл.}} = 400$ $^\circ\text{C}$.

Значимость исследования обоснована тем, что:

- трехзонный метод Бриджмена позволяет получать однородные, гомогенные, малодефектные кристаллы CuInSe_2 стехио-и нестехиометрического состава;
- в кристаллах CuInSe_2 стехиометрического состава имеют место дефекты: вакансии меди (V_{Cu}^{-0}), вакансии индия (V_{In}^{-0}) и медно-индиевые антиструктурные дефекты ($\text{Cu}_{\text{In}}^{-0}$), а в кристаллах с недостатком селена дефекты типа вакансия селена (V_{Se}^{+0}) и медь в междоузлии ($\text{Cu}_i^{0/+}$);
- в кристаллах стехиометрического состава оптическая ширина запрещенной зоны (с учетом $\partial E_g/\partial T$ при $T = 0$) составляет величину $\Delta E_g = 1,025$ эВ, что близко к теоретическому значению ($\Delta E_{g \text{ теор.}} = 1,04$ эВ);

- метод селенизации в потоке газа-носителя (азот) реакционной компоненты (селен) и двухзонная высоковакуумная термодиффузионная установка, которые обеспечивают синтез пленок CuInSe_2 с близкими физическими свойствами к кристаллическим образцам;
- в области температур селенизации $300 \leq T_{\text{сел.}} \leq 380^\circ\text{C}$ пленка CuInSe_2 формируется с образованием центров селенизации, представляющих из себя микроскопические образования соединения Cu_2Se и In_2Se_3 . При температурах селенизации $T_{\text{сел.}} = 400^\circ\text{C}$ формируется поликристаллическая фаза с дырочным типом проводимости.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что представлена технология выращивания кристаллов CuInSe_2 трехзонным методом Бриджмена, разработана методика и создан опытный образец экспериментальной высоковакуумной термодиффузионной установки, предназначенной для получения многокомпонентных полупроводниковых материалов с участием газа-носителя реакционной компоненты. Полученные результаты комплексных исследований кристаллов и пленок CuInSe_2 могут быть использованы при разработке технологии создания фотопреобразовательных устройств.

Оценка достоверности результатов исследования подтверждается использованием быстродействующего оборудования и современных приборов, тщательностью проведения экспериментов и учетом погрешностей, согласием с имеющимися экспериментальными данными других авторов, опорой на современные физические представления.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задачи исследования, участие в экспериментах, выборе основных методов исследований, анализе и окончательной интерпретация полученных результатов, написание научных статей, формулировка защищаемых положений и выводов диссертации.

На заседании 25.04.2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Гаджиеву Тимуру Мажлумовичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали:

за присуждение учёной степени 18, против присуждения учёной степени 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета,
д. ф.-м. н.



М. Х. Рабаданов

Учёный секретарь
диссертационного совета
д. ф.-м. н.

А. Р. Алиев