

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.076.02  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Х.М. БЕРБЕКОВА», МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 09.06.2016 г. № 2

О присуждении Ахмедову Ахмеду Кадиевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Структура и свойства прозрачных проводящих слоев на основе оксида цинка, полученных методом магнетронного распыления нестехиометричных мишеней» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния принята к защите 06.04.2016 г., протокол № 8, диссертационным советом Д 212.076.02 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» Министерства образования и науки РФ, 360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, созданного приказом № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Ахмедов Ахмед Кадиевич, 1962 года рождения, в 1983 г. окончил ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный университет», с 01.10.1983 по 01.12.1986 – инженер-электрик лаборатории микроэлектроники махачкалинского приборостроительного завода, с 01.12.1986 по 01.12.1987 – заместитель начальника лаборатории

микроэлектроники махачкалинского приборостроительного завода, с 01.12.1987 по 01.10.1991 – младший научный сотрудник института физики Дагестанского филиала АН СССР, с 01.10.1991 по 01.12.1992 – заместитель начальника НПК «Микроэлектроника», с 01.12.1992 по 01.02.1998 – главный инженер АО «Микроэлектроника», с 01.09.1998 по 01.04.2001 – научный сотрудник института физики ДНЦ РАН, с 01.04.2001 работает старшим научным сотрудником института физики ДНЦ РАН.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт физики им. Х.И.Амирханова Дагестанского научного центра Российской академии наук»

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Ведущий научный сотрудник Абдуев Аслан Хаджимуратович, центр высоких технологий и наноструктур, ФГБУН «Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра Российской академии наук»

Официальные оппоненты:

1. Высикайло Филипп Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ОАО «Московский радиотехнический институт РАН»;

2. Палчаев Даир Каирович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем лазерных и информационных технологий Российской академии наук (ИПЛИТ РАН), - филиал Федерального государственного учреждения ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Шатура - в своем положительном заключении, подписанными и.о. директора ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН доктором физико-математических наук В.М. Каневским и заведующим

лабораторией наноструктур и тонких пленок ИПЛИТ РАН - филиала ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, доктором физико-математических наук О.А. Новодворским, указала, что «...диссертационная работа по актуальности поставленных задач, уровню их решения, научной новизне полученных результатов, безусловно удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842), а ее автор, Ахмедов Ахмед Кадиевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

**Соискатель имеет 20 опубликованных работ по теме диссертации, из них – 12 статей в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ, а также 5 патентов**

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

1. Абдуев, А. Х. Влияние алюминия на механизм роста слоев ZnO:Al / А. Х. Абдуев, А. Ш. Асваров, А. К. Ахмедов, Е. М. Зобов, А. Н. Георгобиани, Ш. О. Шахшаев // Известия вузов. Материалы электронной техники. – 2004. – № 2. – С. 34.
2. Абдуев, А. Х. Механизмы синтеза слоев оксида цинка методом магнетронного распыления / А. Х. Абдуев, А. Ш. Асваров, А. К. Ахмедов, Е. М. Зобов, В. А. Миляев, М. И. Штанчаев. – Москва: Препринт Института общей физики РАН, 2004. – 17 с.
3. Abduev, A. Kh. ZnO layers growth mechanism / A. Kh. Abduev, A. K. Akhmedov, A. Sh. Asvarov, I. K. Kamilov, S. N. Sulyanov // NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry. – 2005. – № 194. – P.15.
4. Abduev, A. Kh. The improved method of synthesis of high-density Ga-doped ZnO ceramics / A. Kh Abduev, A. K. Akhmedov A. Sh. Asvarov // International Conference on Advances in Solidification Processes. – Stockholm, 2005 – P. 15.

5. Abduev, A. Kh. The structural and electrical properties of Ga-doped ZnO and Ga, B-codoped ZnO thin films: The effects of additional boron impurity / A. Kh. Abduev, A. K. Akhmedov, A. Sh. Asvarov // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. – 2007. – № 91. – P. 258.

6. Abduev, A. Kh. Investigations of synthesis mechanisms of ZnO thin films in DC magnetron sputter processes / A. Kh. Abduev, A. K. Akhmedov, A. Sh. Asvarov, S. N. Sulyanov S // *Journal of the Korean Physical Society*. – 2008. – № 53(1). P. – 59.

7. Абдуев, А. Х. Влияние температуры роста на свойства прозрачных проводящих пленок ZnO, легированных галлием / А. Х. Абдуев, А. К. Ахмедов, А. Ш. Асваров, А. А. Абдуллаев, С. Н. Сульянов // *Физика и техника полупроводников*. – 2010. – № 44(1). – С. 34

8. Asvarov, A. Effects of a high humidity environment and air anneal treatments on the electrical resistivity of transparent conducting ZnO-based thin films / A. Asvarov, A. Abduev, A. Akhmedov, A. Abdullaev // *Physica Status Solidi C*. – 2010. – № 7(6). – P. 1553.

9. Абдуев, А. Х. Влияние состава керамических мишеней на структуру и проводимость слоев ZnO, легированных галлием / А. Х. Абдуев, А. Ш. Асваров, А. К. Ахмедов, А. А. Абдуллаев, Б. А. Билалов, Г. К. Сафаралиев // *Вестник дагестанского научного центра*. – 2010. – № 37. – С. 17.

10. Abduev, A. The formation of nanoparticles, ceramics, and thin films of ZnO in the environment of zinc vapor. Abduev, A., Akhmedov A., Asvarov A. // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2011. – № 291. – P. 012039.

11. Асваров, А.Ш. Влияние легирования алюминием на характеристики прозрачных электродов на основе оксида цинка / А. Ш. Асваров, А. Х. Абдуев, А. К. Ахмедов, А. А. Абдуллаев // *Перспективные материалы*. – 2011. – № 13(2). – С. 826.

12. Abduev, A. Preferred oriented ZnO films growth on nonoriented substrates by CVD / A. Abduev, A. Akhmedov, A. Asvarov, A. Omaev A. // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2012. – № 345(1). – P. 12046.

13. Asvarov, A. Mechanoactivated preparation of ZnO - Zn cermet powder / A. Asvarov, A. Abduev, A. Akhmedov // "Advanced Metals, Ceramics and Composites" The 12th China-Russia Symposium on Advanced Materials and Technologies. – Kunming, China, 2013. – № I, – P. 320.

14. Абдуев, А. Х. Мишени на основе ZnO для магнетронного формирования прозрачных электродов / А. Х. Абдуев, А. Ш. Асваров, А. К. Ахмедов, Е. М. Зобов, М. Е. Зобов, С. П. Крамынин // Вестник Дагестанского научного центра. – 2014. – №53. – С. 22.

15. Абдуев, А. Х. Прозрачные проводящие тонкие пленки на основе ZnO, полученные магнетронным распылением композитной мишени ZnO:Ga – C / А. Х. Абдуев, А. К. Ахмедов, А. Ш. Асваров // Письма в ЖТФ. – 2014. – № 40(1). – С. 71.

16. Абдуев, А. Х. Изменение структуры и стехиометрии керамики оксида цинка в процессе спекания в открытой атмосфере / А. Х. Абдуев, А. Ш. Асваров, А. К. Ахмедов, М. Е. Зобов, С. П. Крамынин // Письма в ЖТФ. – 2015. – № 41(3). – С. 42.

17. Abduev, A / A. Abduev, A. Akhmedov, A. Asvarov, A. Chiolerio // A Revised Growth Model for Transparent Conducting Ga Doped ZnO Films: Improving Crystallinity by Means of Buffer Layers // Plasma Processes and Polymers. – 2015.- Vol. 12, № 8. P. 725.

#### Патенты

1. Пат. 2280015 Российская Федерация, МПК С 04 В 35/00, С 04 В 35/628. Способ синтеза керамики / Абдуев А. Х., Абдуев М. Х., Асваров А. Ш., Ахмедов А. К., Камиров И. К.; заявитель и патентообладатель ОАО Полема. – № 2004105169/03; заявл. 20. 02. 2004; опубл. 20. 07. 2006, Бюл. № 20. – 4с.

2. Пат. 2307713 Российская Федерация, МПК В 05 D 1/02. Способ нанесения оксидных пленок / Абдуев А. Х., Абдуев М. Х., Асваров А. Ш., Ахмедов А. К., Камиров И. К.; заявитель и патентообладатель ОАО Полема.

– № 2004121656/12; заявл. 14. 07. 2014; опубл. 10. 10. 2007, Бюл. № 28. – 4с.

3. Пат. 2439454 Российская Федерация, МПК F 27 В 3/04, F 27 В 5/04, С 04 В 35/64. Печь для термообработки / Абдуев А. Х., Абдуев М. Х., Асваров А. Ш, Ахмедов А. К., Камиров И. К.; заявитель и патентообладатель Учреждение Рос. Акад. Наук Институт физики им. Х. И. Амирханова Дагестанского научного центра РАН. – № 2010101034/02; заявл. 15. 01. 2010; опубл. 10. 01. 2012, Бюл. № 1. – 8с.

4. Пат. 2491252 Российская Федерация, МПК С 04 В 35/453. Способ изготовления мишени на основе оксида цинка» /Абдуев А. Х., Абдуев М. Х., Асваров А. Ш., Ахмедов А. К., Камиров И. К.; заявитель и патентообладатель Учреждение Рос. Акад. Наук Институт физики им. Х. И. Амирханова Дагестанского научного центра РАН. – № 2011146090/03; заявл. 14. 11. 2011; опубл. 27. 08. 2013, Бюл. № 24. – 7с.

5. Пат. 2568554 Российская Федерация, МПК С23С 14/35, С 04 В 35/453. Мишень для ионно-плазменного распыления / Абдуев А. Х., Абдуев М. Х., Асваров А. Ш, Ахмедов А. К., Камиров И. К.; заявитель и патентообладатель Учреждение Рос. Акад. Наук Институт физики им. Х. И. Амирханова Дагестанского научного центра РАН. – № 2013135515/02; заявл. 30. 07. 2013; опубл. 20.11. 2015, Бюл. № 32. – 5с.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. от доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией макрокинетики неравновесных процессов Научного центра волновых исследований ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН (г. Москва) **Г.А. Шафеева**. Отзыв положительный, замечаний нет.;

2. от доктора технических наук, профессора, первого заместителя зав.каф. №67 «Физика конденсированных сред», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (г. Москва) Н.И. Каргина. Отзыв положительный, имеется замечание: «..., предполагая существование

на поверхности роста динамической нестехиометричной фазы  $ZnO_{1-x}$ , было бы желательно привести расчеты, определяющие границы ее существования. На мой взгляд, в работе также недостаточно отражены аспекты, связанные с зарождением слоев на ориентированных и неориентированных подложках при синтезе слоев методом магнетронного распыления»;

3. от доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана (г.Москва) **Панфилова Юрия Васильевича**. Отзыв положительный, в качестве замечания по автореферату отмечено: «...отсутствие информации о статистической обработке результатов экспериментальных исследований - на графиках отмечены только точки и не указан разброс полученных величин»;

4. от доктора физико-математических наук, профессора, начальника отдела метаматериалов и нанокompозитов АО ЦНИТИ «Техномаш» (г.Москва) **М.И. Самойловича**. Отзыв положительный, имеется замечание: «Приведенные актуальные результаты формирования однородных структур при избыточном давлении паров цинка, нуждаются в дальнейших исследованиях и последующем теоретическом обобщении»;

5. от доктора технических наук, профессора, заведующей кафедрой «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии», Московского авиационного института (г. Москва) **В.В. Слепцова**. Отзыв положительный, замечаний нет.

6. от доктора физико-математических наук, профессора, Научного руководителя Научно-исследовательского центра по изучению свойств поверхности и вакуума (г. Москва) **П.А. Тодуа**. Отзыв положительный, замечаний нет.

Во всех отзывах отмечается высокий уровень проведенных исследований, говорится, что автореферат соответствует всем требованиям ВАК, а автор Ахмедов А.К. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:

– официальные оппоненты являются компетентными специалистами в области фундаментального, теоретического и экспериментального изучения свойств поверхности конденсированного состояния, процессов и явлений, протекающих при ионно-плазменном распылении, газофазном осаждении тонких пленок, а также компетентны в вопросах разработки физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами;

– Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем лазерных и информационных технологий Российской академии наук (ФГБУН ИПЛИТ РАН), г. Шатура является широко известным научным центром, специализирующимся в проведении фундаментальных и прикладных научных исследований в области прозрачных проводящих слоев на основе широкозонных оксидных материалов. В институте также ведутся работы по формированию субмикроструктур и созданию базовых элементов оптоэлектроники.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**установлены** механизмы формирования и **разработаны** технологии синтеза керамических мишеней на основе оксида цинка с различным составом и уровнем содержания легирующих примесей;

**установлена** связь кристаллической структуры с электрическими характеристиками синтезированных слоев;

**установлено**, что увеличение содержания цинка в составе потока реагентов, при температуре  $T_{п} \geq 200$  °С, увеличивает длину миграции осаждаемых атомов на поверхности роста и способствует улучшению кристаллической структуры и электрической проводимости слоев;

**предложена** качественная модель роста слоев в условиях избыточного содержания цинка в составе потока реагентов;



методом механохимической активации порошковых смесей ZnO -Zn в инертной атмосфере **получены** наноструктурированные композитные порошки, состоящие из кристаллического ядра ZnO, с характерными размерами  $15 \div 20$  нм и аморфной цинковой оболочки;

**разработан и запатентован** новый класс композитных мишеней для магнетронного синтеза структурно однородных слоев оксида цинка из потока реагентов с заданным соотношением цинк / кислород.

**Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)**

**использованы следующие методики:** рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ для исследования структуры и фазового состава распыляемых мишеней и прозрачных проводящих слоев на основе оксида цинка; сканирующая электронная микроскопия поверхности и сколов синтезированных объемных и тонкопленочных материалов для исследования их морфологии и структуры; энергодисперсионный анализ элементного состава синтезированных слоев; исследование фотолюминесценции поверхности и сколов керамики оксида цинка для оценки изменения стехиометрии поверхности зерен в процессе спекания; холловские измерения для исследования электрических характеристик слоев; спектрофотометрия синтезированных слоев для оценки их прозрачности в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра;

**изложены** особенности спекания керамических материалов на основе оксида цинка с различным составом и уровнем содержания легирующих примесей;

**раскрыт** механизм формирования и предложен метод подавления столбчатой структуры магнетронных слоев на основе оксида цинка;

**изучены** температурные и концентрационные зависимости удельного сопротивления слоев на основе оксида цинка;

**установлено**, что рост интенсивности рефлекса (002)ZnO в слоях AZO и GZO сопровождается снижением их удельного сопротивления;

**показано**, что с ростом температуры синтеза слоев AZO и GZO максимум кристалличности и минимум удельного сопротивления достигаются при меньших уровнях легирования;

**разработана и изготовлена** лабораторная установка искрового плазменного спекания (SPS) для синтеза композитных мишеней различного состава;

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

на основании полученных результатов разработаны и запатентованы в России и за рубежом новые материалы и технологии синтеза мишеней и прозрачных проводящих слоев на основе оксида цинка;

разработаны и внедрены в производство на предприятии ОАО «Полема» (г. Тула, УК «Промышленно-металлургический холдинг») патентно-чистые технологии синтеза керамических мишеней TCO на основе оксида цинка для магнетронного формирования прозрачных электродов систем отображения информации и преобразователей солнечной энергии;

разработаны и запатентованы технологии синтеза композитных металлокерамических мишеней на основе оксида цинка. Наноцентром «Дубна», совместно с Центром трансфера технологий РАН и РОСНАНО, учреждено предприятие ООО «Таргет Лабс» по производству композитных трубчатых мишеней для магнетронного формирования низкоэмиссионных покрытий архитектурного стекла.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** результаты получены на паспортизированном оборудовании с использованием прецизионных методов исследования структуры, электрических и оптических характеристик объемных и тонкопленочных материалов; обоснованность и непротиворечивость полученных данных современным представлениям физики керамических материалов и физики тонких пленок; воспроизводимость результатов исследований в условиях реального производства;

**идея базируется** на обобщающем анализе существующего передового

опыта в области тематики диссертационного исследования;

**использовано** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

**установлено**, что авторские результаты качественно и количественно согласуются с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

при этом **использованы** наиболее достоверные результаты и выборочные совокупности с подбором данных, имеющих надежность не менее 95%.

**Личный вклад** соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах исследовательского процесса, а именно: в разработке, изготовлении и модернизации всего комплекса технологического оборудования, задействованного в настоящей работе, в приготовлении образцов, в измерениях и получении экспериментальных данных, их обработке и интерпретации, в апробации результатов исследования, подготовке публикаций и патентов.

На заседании 09.06.2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Ахмедову Ахмеду Кадиевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного  
совета Д 212.076.02  
д.ф.-м.н., профессор



*Х.Б. Хоконов*

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.076.02  
д.ф.-м.н., профессор

*А.М. Кармоков*

А.М. Кармоков

10.06.2016 г.