

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ахмедова Ахмеда Кадиевича «Структура и свойства прозрачных проводящих слоев на основе оксида цинка, полученных методом магнетронного распыления нестехиометричных мишеней», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Актуальность работы.

Диссертационная работа Ахмедова Ахмеда Кадиевича направлена на решение проблемы по разработке эффективной технологии получения прозрачных проводящих слоев на основе широкозонных оксидных материалов, характеризующихся высоким оптическим пропусканием в видимом диапазоне спектра. Задача по установлению влияния состава потока реагентов и условий синтеза на механизмы роста и свойства прозрачных проводящих слоев на основе оксида цинка, получаемых методом магнетронного распыления, актуальна в рамках решаемой проблемы. Разработка новых технологий получения перспективных материалов основе оксида цинка, легированного элементами III группы для формирования прозрачных электродов в дисплеях, солнечных преобразователях и других оптоэлектронных приборах определяют высокую практическую значимость представленной работы.

Основные научные результаты, полученные в работе.

1. Разработаны способы низкотемпературного спекания компактированных порошков нелегированного ZnO, получения новых композитных мишеней GZO - Zn и GZO - C для магнетронного распыления, а так же изготовлены керамические мишени на основе ZnO:Al и ZnO:Ga с различным уровнем содержания легирующей примеси. Выполнены комплексные исследования процессов формирования структуры и свойств керамических и композиционных мишеней. Установлена роль состава, легирующих примесей (алюминий, галлий), избытка цинка и содержания углерода, а так же стехиометрии оксида цинка в распыляемых мишенях, на процессы формирования, структуру и свойства прозрачных проводящих слоев. Показано, что состав потока реагентов определяется составом и стехиометрией распыляемых мишеней.

В результате выполненных в этой части исследований установлено следующее:

- Процесс низкотемпературного спекания компактированных порошков нелегированного ZnO обусловлен термодесорбцией кислорода с поверхности частиц при температуре выше 200°C и формированием на межзеренных границах нестехиометричной фазы ZnO_{1-x} , обеспечивающей увеличение скорости диффузии компонентов.
- Внесение примесей алюминия и галлия на уровне, превышающем уровень их предельной растворимости в ZnO, приводит к формированию на межзеренных границах барьерной фазы - высокотемпературной шпинели ZnMe_2O_4 , препятствующей диффузии компонентов. При этом внесение в состав исходной смеси до 1 моль.% B_2O_3 способствует низкотемпературному растворению барьерных фаз на границах зерен и достижению плотности выше 99% от теоретической плотности керамики данного состава.
- При механохимической активации в инертной атмосфере порошковых систем: оксида цинка, легирующих компонентов и металлического цинка, происходит формирование наноструктурированных композитных частиц, состоящих из кристаллического легированного оксидного ядра, с характерным размером $15 \div 20$ нм и аморфной металлической оболочки, толщина которой зависит от уровня внесения металла.
- Возможно создание избытка цинка в составе потока реагентов, путем инициации в тонком приповерхностном слое зоны эрозии мишени карбо-термической реакции восстановления цинка, распыляя композитные мишени GZO – C, полученные методом искрового плазменного синтеза.

2. Установлено влияние состава и стехиометрии мишеней, изготовленных по разработанным Ахмедовым А.К. технологиям, на структуру и свойства получаемых прозрачных проводящих слоев на основе оксида цинка.

В результате выполненных в этой части исследований установлено следующее.

- При температуре синтеза $T_n = 50^\circ\text{C}$ введение в состав слоев ZnO легирующей примеси (алюминия до 3 ат. %, галлия до 6 ат. %) приводит к улучшению кристаллической структуры слоев. С ростом температуры подложки структурное совершенство слоев достигается при меньших уровнях легирования.
- Увеличение содержания цинка в мишени, а следовательно в составе потока реагентов, при температурах $T_n \geq 200^\circ\text{C}$ приводит к увеличению длины миграции осаждаемых атомов на поверхности роста, что обеспечивает подавление процесса формирования столбчатых структур и повышение совершенства морфологии.

Новизна и практическая значимость работы.

Все указанные выше результаты и положения являются новыми. Новые технологии синтеза материалов мишеней и прозрачных проводящих слоев на основе оксида цинка запатентованы в России и за рубежом. Результаты выполненных исследований масштабированы на производство для внедрения патентно-чистых технологий магнетронного формирования прозрачных электродов систем отображения информации и преобразователей солнечной энергии, в частности, на предприятии ОАО «Полема». 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.

Достоверность результатов, приведенных в диссертации Ахмедова А.К., основана на том, что все данные получены с использованием современных экспериментальных методик, технологического и измерительного оборудования. Приведенные в работе утверждения находятся в рамках признанных положений и теории рассматриваемых вопросов, большая часть результатов защищена патентами.

Материалы публикаций и автореферат в полном объеме передают содержание диссертации. Диссертация и автореферат отвечают требованиям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней.

Работа не лишена недостатков, например, таких как:

1. В работе утверждается, что увеличение содержания цинка в составе реагентов в потоке от мишени к подложке приводит к увеличению длины миграции осаждаемых атомов на поверхности роста слоя. Это утверждение основано на анализе снимков, полученных методом сканирующей электронной микроскопии, где наблюдается зависимость столбчатой морфологии слоев от уровня содержания цинка в потоке реагентов. Обнаружение такой зависимости, несомненно, можно считать успехом работы. Однако полагаться только на такую интерпретацию, как «структура слоев определяется длиной миграции осаждаемых атомов по поверхности роста», основанную на результатах статистического моделирования методом Монте-Карло, думаю, не следует, поскольку такое моделирование пока не позволяет учесть все многообразие факторов, определяющих рост слоев при магнетронном распылении мишеней сложного состава. В связи с чем, интерпретацию этого факта, приведенную автором в трех

предложениях на странице 135 в первом абзаце, следовало бы расширить, чтобы она была понятна всем читающим, а не только ему самому.

2. В тексте диссертации пропущена информация о значениях тока и напряжения разряда при распылении керамических мишеней из оксида цинка, легированного алюминием и галлием, необходимые для оценки плотности тока и мощности разряда.

Приведенные замечания, в большей степени, являются пожеланиями и не снижают общей научной и прикладной ценности диссертационной работы.

Заключение. Диссертационная работа Ахмедова А.К. является научно-квалификационным трудом, в которой содержится решение задачи в рамках проблемы по разработке эффективной технологии изготовления мишеней для магнетронного распыления и получения прозрачных проводящих слоев на основе оксида цинка. Выполненные исследования стимулируют так же необходимость формирования новых знаний в области физики конденсированного состояния. Результаты исследований представлены в 20 публикациях в рецензируемых российских и зарубежных изданиях, из них 12 – в изданиях, рекомендованных ВАК, и доложены на 13 Российских и международных конференциях. Получено 5 российских патентов и 3 международных охранных документа. По своему объему и значимости полученных результатов диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения (Постановление № 842 от 24.09.2013), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Профессор кафедры физики твердого тела ФБГО ВО «Дагестанский государственный университет», доктор физико-математических наук Палчаев Даир Каирович. Почтовый адрес: 367000, г.Махачкала, Гаджиева 43А, т. 89094814668, dairpalchaev@mail.ru.

16.05.2016



Подпись: Палчаева Д. К.

« 16 » 05 2016 г.