

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу
Малютиной-Бронской Виктории Владимировны
**«Электрофизические и оптические свойства структур на основе плёнок
оксида цинка, легированных ионами редкоземельных элементов,
для твердотельных оптоэлектронных устройств»,**
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 05.27.01 – «Твёрдотельная электроника, радиоэлектронные
компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите

В диссертационной работе Малютиной-Бронской В.В. установлено влияние легирования редкоземельными элементами и термической обработки на электрофизические и оптические свойства плёнок оксида цинка, а также на фоточувствительность твёрдотельных структур «металл / оксид цинка / кремний», которые могут быть применены в твёрдотельных оптоэлектронных устройствах; предложены модель описания высокочастотных вольт-фарадных характеристик и механизм фотолюминесценции легированных плёнок оксида цинка.

Содержание диссертационной работы полностью соответствует отрасли «физико-математические науки» и пунктам 1. «Создание (включая разработку конструкций и технологических маршрутов изготовления) и функционирование изделий твёрдотельной электроники, радиоэлектронных компонентов и систем микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах, нано- и микросенсоров», 2. «Физические и технические аспекты модификации изделий и приборов по п. 1», 4. «Физические и математические модели изделий, устройств и технологических процессов по п. 1, в том числе для систем автоматизированного проектирования» раздела III паспорта специальности 05.27.01 – «Твёрдотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Актуальность темы диссертации

Оксид цинка является перспективным и активно исследуемым в мире широкозонным материалом для создания функциональных приборов оптоэлектроники. Плёнки оксида цинка могут быть получены различными технологическими методами – от химических до вакуумных. Благодаря комплексу физико-химических свойств данный материал может найти широкое применение в оптоэлектронике в таких устройствах как фотоэлектрические преобразователи ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазона, светоизлучающие приборы, фотоварикапы и другие. Это обуславливает повышенный интерес мировой научной общественности к исследованиям как тонких плёнок оксида цинка, так и структур на их основе.

Исходя из сказанного, тема диссертационной работы Малютиной-Бронской В.В. несомненно является актуальной, поскольку в ней решаются задачи, касающиеся важных фундаментальных и прикладных вопросов, связанных с разработкой оптоэлектронных структур на основе плёнок оксида цинка, полученных различными технологическими методами.

Комплексные исследования в рамках диссертации Малютиной-Бронской В.В., выполненные с применением современных технологических и аналитических методов, направленные на установление новых закономерностей влияния режимов синтеза, термообработки и легирования ионами редкоземельных элементов на оптические, электрофизические и фотоэлектрические свойства пленок и структур на основе ZnO, соответствуют актуальным научным задачам. Актуальность диссертационной темы подтверждается также её соответствием приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2021-2025 годы (п.4, Указ Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. №156) и 2026 – 2030 годы (п.2., Указ Президента Республики Беларусь от 01.04.2025 № 135).

Степень новизны результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту

Основные научные результаты и научные положения, выносимые на защиту, являются новыми и получены соискателем впервые.

В качестве наиболее важных научных результатов следует отметить следующие:

– модель описания вольт-фарадных характеристик, учитывающая дискретные поверхностные состояния структур ZnO:Er³⁺/n-Si, позволившая установить наличие на гетероинтерфейсе акцепторного уровня с глубиной залегания 0,01 эВ, не обусловленного собственными дефектами ZnO;

– обнаружено, что термическая обработка плёнок ZnO:Tb³⁺ при температурах свыше 900 °С приводит к появлению трёх полос фотолюминесценции: 1,93 эВ, 2,27 эВ и 2,56 эВ, с доминирующей полосой 2,27 эВ, обусловленных диффузией и встраиванием ионов Tb³⁺ в кристаллическую матрицу ZnO;

– установлено, что структура Al-Ni/n-ZnO:Tb³⁺/n-Si, полученная комбинацией электрохимического осаждения ионов Tb³⁺ и магнетронного распыления ZnO без высокотемпературной термообработки, обладает fotocувствительностью от 0,42 до 1,25 А/Вт в области спектра 405 – 1000 нм при напряжении смещения +15 В, что значительно превышает fotocувствительность стандартного кремниевого фотодиода;

– структуры «ZnO:Er:Al/стекло», полученные золь-гель методом, обладают коэффициентом пропускания 70 – 80 % в спектральном диапазоне 370 – 1000 нм и интенсивной фотолюминесценцией, что позволяет использовать их в качестве конвертеров излучения в кремниевых солнечных элементах.

Сформулированные положения, выносимые на защиту, в полной мере отражают степень научной новизны полученных результатов. Новизна

основных результатов работы отражена в 34 публикациях соискателя, из которых 14 являются статьями в научных журналах.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается экспериментальными данными, полученными при помощи комплекса взаимодополняющих известных методов исследования: сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии, спектроскопии оптического пропускания и отражения, спектроскопии фотолюминесценции, измерений вольт-фарадных и вольт-амперных характеристик темновых и световых как в видимом так и в ИК-диапазоне, измерений пространственно-разрешенного фототока индуцированного лазерным лучом. Для оценки параметров кремниевых фотоэлектропреобразователей использовался имитатор солнечного излучения со спектром соответствующим стандарту АМ 1,5.

Для измерений фотоэлектрических характеристик использовался автоматизированный лазерный испытательный комплекс, имеющий свидетельство метрологической аттестации БелГИМ № 69-50 от 30.09.2020.

Достоверность полученных результатов также подтверждается использованием большого числа экспериментальных образцов пленок ZnO полученных различными технологическими методами. Кроме того, достоверность основных результатов и выводов подтверждается их апробацией на международных научных конференциях с участием ведущих учёных соответствующего профиля и публикацией в авторитетных отечественных и зарубежных научных журналах.

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Научная значимость результатов диссертационного исследования состоит в получении комплексных новых данных о влиянии легирующих примесей, методов получения и режимов формирования структур «металл - легированный оксид цинка - кремний» на их оптические, электрофизические и фотоэлектрические характеристики, что расширяет возможности применения данных структур в оптоэлектронике.

Результаты, полученные в рамках диссертационного исследования, существенно дополняют знания об особенностях формирования гетероструктур ZnO/Si их физических свойствах.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в возможности использования тонких пленок ZnO с полученными характеристиками в качестве пассивирующих и антиотражающих покрытий, что подтверждается актом использования результатов диссертационной работы в ООО «Солар Драфтерс» (г. Ереван, Армения).

Социальная значимость диссертационного исследования связана с углублением научных знаний инженерных и научных сотрудников,

работающих в области оптоэлектроники, а также возможностью использования полученных результатов при разработке учебных программ профильных дисциплин для студентов высших учебных заведений. Данная значимость подтверждена актами внедрения в учебный процесс Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины и Белорусского национального технического университета.

Экономическая значимость полученных результатов состоит в возможности их практического применения для расширения перечня применяемых в твёрдотельной оптоэлектронике полупроводниковых материалов и гетероструктур ZnO:RE³⁺/Si с улучшенными характеристиками фоточувствительными.

Результаты диссертационной работы, в первую очередь, могут быть использованы в организациях Республики Беларусь, занимающихся разработкой фоточувствительных структур, например ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», ОАО «Интеграл», других исследовательских организациях.

Опубликованность результатов диссертации в научной печати

По результатам диссертационной работы опубликовано 34 печатные работы. Их них 14 статей в научных рецензируемых журналах, 11 статей в сборниках трудов научных конференций, 9 тезисов докладов. В том числе следует отметить наличие публикаций в одном из ведущих профильных международных журналов Optical Materials (Q1).

Приведенные в диссертации и автореферате результаты исследования, на которых основываются выводы, выносимые на защиту положения и пункты заключения, достаточно полно отражены в опубликованных соискателем работах.

Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертационная работа и автореферат оформлены в соответствии с требованиями Инструкции ВАК Республики Беларусь по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации. Работа написана понятным языком, хорошо оформлена и иллюстрирована, текст легко воспринимается.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы, включая заключение и положения, выносимые на защиту.

Замечания по диссертации

Как любая объёмная научная работа, данная диссертация не лишена некоторых недостатков. К замечаниям по диссертационной работе можно отнести следующее:

– литературный обзор, хоть и обширный, носит достаточно описательный характер и слабо критический. Автор нечасто высказывает свою позицию по поводу имеющих противоречий в литературных источниках. Например, в разделе 1.3 "Свойства ZnO, обусловленные собственными дефектами" приводится таблица с разными значениями энергий, но не делается вывода о том, как это влияет на постановку задач в

данной диссертации. Также в обзоре не анализируются работы по применению именно комбинированных методов (электрохимия + магнетронное напыление) получения легированных тонких плёнок ZnO, хотя это является одним из ключевых методов получения образцов в диссертации;

– недостаточно подробно описано оборудование для осаждения слоёв ZnO золь-гель методом. Не приведены данные о точности осаждения плёнок по толщине и их однородности по площади;

– обнаружено высокое значение fotocувствительности фотодиодной структуры Al-Ni/ZnO:Tb³⁺/n-Si, что наблюдается только в случае не подвергнутых термической обработки образцов, в то время как для получения слоёв ZnO:Tb³⁺ с высоким выходом люминесценции, что может быть использовано для «конверсии» высокоэнергетичной части излучения, термическая обработка при высоких температурах обязательно. В работе недостаточно пояснено как совместить эти два противоположных требования, если стоит задача создания высокоэффективных фотодиодов.

Приведенные выше замечания не затрагивают выносимых на защиту положений и выводов по диссертационной работе, не снижают научной ценности полученных результатов.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Анализ представленных в диссертационной работе результатов и положений, выносимых на защиту, выводов и рекомендаций, их новизна и актуальность, логичность и последовательность изложения, уровень научных публикаций, указывает на то, что Малютина-Бронская В.В. является высококвалифицированным научным работником, способным самостоятельно формулировать цели научного исследования, ставить задачи, выбирать методы и аналитические методики для их достижения, что подтверждается представленным в диссертации и автореферате материалом и опубликованными научными работами. Научная квалификация соискателя Малютиной-Бронской В.В. соответствует учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – «Твёрдотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Заключение

На основании анализа диссертационной работы Малютиной-Бронской Виктории Владимировны «Электрофизические и оптические свойства структур на основе плёнок оксида цинка, легированных ионами редкоземельных элементов, для твёрдотельных оптоэлектронных устройств», можно сделать вывод, что данная диссертация является самостоятельно выполненной завершённой квалификационной научной работой, содержащей новые экспериментальные и теоретические результаты, совокупность которых вносит вклад в концептуальное развитие важного научного направления в области оптоэлектроники и соответствует требованиям пункта 21 «Положения о присуждении учёных степеней и присвоении

учёных званий», утверждённого указом Президента Республики Беларусь №560 от 17.11.2004 г.

Считаю, что Малютина-Бронская Виктория Владимировна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – «Твёрдотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах» за полученные новые научные результаты, включающие:

– определение оптических и фотоэлектрических характеристик структур «металл – легированный оксид цинка – кремний» полученных методами магнетронного распыления, комбинацией методов электрохимического осаждения ионов примеси и магнетронного распыления, а также золь-гель методом, и установление взаимосвязи оптических и фотоэлектрических свойств сформированных структур с режимами их формирования;

– установление механизма протекания тока и зависимости электрофизических характеристик структур «металл – легированный оксид цинка – кремний» полученных методами магнетронного распыления, комбинацией методов электрохимического осаждения ионов примеси и магнетронного распыления, а также золь-гель методом в зависимости от режимов их формирования;

– демонстрацию возможности повышения эффективности фотоэлектрического преобразования видимого и инфракрасного излучения при использовании структур «металл – легированный оксид цинка – кремний» и «легированный оксид цинка – стекло» в зависимости от легирующей примеси;

что в совокупности является значительным вкладом в развитие актуального научного направления твёрдотельной электроники, позволившим разработать комплекс технологических приёмов получения тонкоплёночных материалов для новых изделий оптоэлектроники.

Официальный оппонент,
декан физического факультета
Белорусского государственного
университета,
кандидат физико-математических
наук, доцент

М.С. Тиванов

ПОДПИСЬ *Тиванов* УДОСТОВЕРЕН
Начальник управления
организационной работы и
документационного обеспечения
Тиванов Н.Б. Черкаска
02» 03 20

