

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Кузьминой Алины Сергеевны «Структура и физические свойства тонкопленочных разбавленных магнитных полупроводников на основе оксида цинка, полученных методом импульсного лазерного осаждения», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность работы

Диссертация Кузьминой А.С. посвящена актуальной проблеме физики конденсированного состояния, а именно разработке многофункционального тонкопленочного материала на основе оксида цинка, обладающего необычным сочетанием физических свойств при комнатной температуре (проводимостью р-типа, ферромагнетизмом, магнитосопротивлением и др.). Несмотря на большое внимание ученых к изучению легированных тонких пленок ZnO, природа многих экспериментально наблюдаемых особенностей их электрических, магнитных, магнитотранспортных и магнитооптических свойств до конца остается неясной. В связи с широкими возможностями практического использования тонких пленок на основе ZnO в спиновой электронике представляет интерес продолжение экспериментальных исследований в данном направлении. Диссертационное исследование соискателя выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, а также Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, что свидетельствует о высокой экспертной оценке актуальности работы для развития науки и промышленности страны.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложения.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость работы, а также указаны положения, выносимые на защиту.

Глава 1 посвящена литературному обзору данных по теме исследования. Описаны история и направления развития спинтроники. Кратко дана характеристика оксида цинка. Представлены графики, отражающие рост количества публикаций по теме «тонкие пленки ZnO», опубликованных в журналах Web of Science, и цитирований на них за последние двадцать лет. Важное внимание в главе уделено методу импульсного лазерного осаждения, его основным достоинствам и недостаткам. Проведен анализ современного

состояния исследований транспортных, магнитных и магнитотранспортных свойств разбавленных магнитных полупроводников на основе оксида цинка. В конце главы обосновывается цель диссертационной работы. Глава отличается проработанностью литературных источников и большим количеством иллюстративного материала.

В главе 2 изложены методические аспекты исследования. Дано описание научного оборудования и экспериментальных методов, которые были использованы для синтеза и исследования физических свойств пленок $Zn_{1-x}Co_xO_y$, $Zn_{1-x}Mn_xO_y$ и $Zn_{1-x}Li_xO_y$. Следует отметить широкую и современную материально-техническую базу, используемую соискателем в исследовании. Также в главе приведена информация, касающаяся деталей обработки и визуализации экспериментальных данных в программах MS Excel и Origin.

Ниже приведено краткое описание содержания трех следующих глав, а также основные выводы по ним.

В главе 3 представлены результаты изучения влияния напряженности магнитного поля, толщины образцов и концентрации кобальта на структуру и физические свойства тонких пленок $Zn_{1-x}Co_xO_y$. Установлено, что все синтезированные пленки обладают структурой вюрцита, ориентированной вдоль оси c , а также высокой концентрацией электронов, которая экспоненциально убывает при увеличении атомной концентрации примеси. Определено, что высокотемпературный ферромагнетизм в образцах обусловлен образованием кластеров металлического кобальта гексагональной структуры. Особый научный интерес вызывают результаты исследования морфологии керамических мишеней, из которых были синтезированы пленки $Zn_{1-x}Co_xO_y$, после лазерной абляции эксимерным лазером (стр. 87-92).

Глава 4 посвящена исследованию влияния температуры подложек, послеростового отжига в потоке кислорода, напряженности магнитного поля, температуры и концентрации марганца на структуру и физические свойства тонких пленок $Zn_{1-x}Mn_xO_y$. Определено, что отжиг образцов в кислородной атмосфере увеличивает шероховатость поверхности с 1–3 нм до 10 нм. Установлено, тонкие пленки ZnO при легировании марганцем сохраняют структуру вюрцита и электронный тип проводимости, а также демонстрируют ферромагнитное поведение, которое, по мнению соискателя, связано с двумя сосуществующими обменными механизмами. Значимым результатом главы является обнаружение эффекта колоссального отрицательного магнитосопротивления в тонких пленках $Zn_{1-x}Mn_xO_y$, обусловленного ориентацией комплексов Mn-V_o.

В главе 5 определено влияние давления в вакуумной камере, послеростового отжига в потоке аргона и кислорода, напряженности магнитного

поля и концентрации лития на структуру и физические свойства тонких пленок $Zn_{1-x}Li_xO_y$. Обнаружено, что легированные образцы обладают высокотемпературным ферромагнетизмом, который усиливается с ростом x . Интересным результатом главы является разработанная методика получения пленок $Zn_{1-x}Li_xO_y$ с высокой концентрацией дырок (10^{16} - 10^{18} $см^{-3}$).

В конце диссертации приводятся заключение, отражающее основные результаты и выводы работы, полный список сокращений и условных обозначений с расшифровкой, список цитируемой литературы из 238 наименований и приложение, включающее технологическую карту спинтроники.

Научная новизна

Научная новизна результатов, полученных соискателем в ходе диссертационного исследования, заключается в том, что *впервые*: обнаружен и объяснен эффект отрицательного колоссального магнитосопротивления в тонких пленках $Zn_{1-x}Mn_xO_y$, который усиливается при снижении температуры (от 50 К до 1,4 К) и при увеличении концентрации Mn ($x = 0,02$ – $0,08$); обнаружен и объяснен рост подвижности электронов в тонких пленках $Zn_{1-x}Co_xO_y$ при $x = 0,24$ – $0,42$; разработана методика получения тонких пленок $Zn_{1-x}Li_xO_y$ ($x = 0$ – $0,06$) p-типа проводимости с относительно высокой концентрацией носителей заряда, стабильной во времени; обнаружено радиальное распределение элементов в керамических мишенях $ZnO-Co_3O_4$ после лазерной абляции KrF-лазером; установлено, что на поверхности керамических мишеней $ZnO-Co_3O_4$ после лазерной абляции KrF-лазером образуются конусообразные структуры и микровисеры, ориентированные к центру мишеней.

Практическая значимость результатов работы

Исследуемые соискателем разбавленные магнитные полупроводники на основе ZnO представляют интерес для физики конденсированного состояния с точки зрения получения новых свойств неорганических твердых материалов при различных внешних воздействиях (температура, давление, магнитное поле). Кроме того, эти полупроводники являются перспективными для прикладного применения в спиновой электронике, например, для создания спиновых светоизлучающих диодов, спиновых вентилях и устройств магниторезистивной памяти.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты диссертационной работы рекомендованы к использованию в организациях, занимающихся синтезом оксидных материалов для

полупроводниковой индустрии (ООО «Элмос»; ООО «Изовак»; ОАО «Полема» и др.) и ВУЗах страны, осуществляющих подготовку студентов по направлениям «Физика конденсированного состояния», «Электроника и нанoeлектроника» и «Нанотехнологии и микросистемная техника», таких как СПбГЭТУ «ЛЭТИ», МИФИ, МИСИС, ТУСУР, ЮФУ, ВГУ, ИРНТУ, ИГУ.

Обоснованность и достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций не вызывает сомнений, поскольку они базируются на массиве экспериментальных данных, полученных с помощью комплекса современного измерительного и аналитического оборудования (рентгеновский дифрактометр XRD-7000, атомно-силовые микроскопы DualScope 2401 и Solver P47H, вибрационные магнитометры 7407 VSM, MPMS-5S и PPMS-9, растровый электронный микроскоп Jib-Z4500 и др.). Общее согласование результатов работы с теоретическими и экспериментальными данными других исследователей также подтверждает их достоверность.

Результаты диссертации неоднократно докладывались на научных мероприятиях различного уровня и получали высокую оценку экспертов, о чем свидетельствуют победы соискателя в конкурсах (стр. 9-10). Четыре статьи Кузьминой А.С. по теме диссертационной работы опубликованы в журналах из перечня ВАК. Особо следует отметить публикации соискателя в журналах Scientific Reports и Materials Chemistry and Physics, имеющих высокие значения импакт-фактора и входящих в международные базы данных Web of Science и Scopus.

Замечания и рекомендации по работе

По содержательному материалу диссертации можно сделать следующие замечания и рекомендации:

1. Несмотря на то, что на рис. 3.2 представлена зависимость концентрации Со в мишенях и пленках, для лучшего понимания текста диссертации следовало бы включить в таблицы свойств пленок данные о составе мишеней, из которых они были получены.

2. К замечаниям стоит отнести и то, что в различных главах одним и тем же физическим величинам соответствуют единицы измерения из различных систем измерений. Например, намагничивающее поле выражается как в теслах (гл. 3,4), так и в эрстедах (гл. 5).

3. Не совсем корректно строить графические зависимости электрических и магнитооптических параметров от содержания Со (рис. 3.13 и 3.17), т.к.

толщины исследованных пленок тоже варьируются в достаточно большом диапазоне: от 151 до 262 нм. Данные зависимости были бы более достоверными, если бы в дополнение к исследованию по влиянию толщин пленок, легированных Со на их электрические характеристики было проведено исследование на масс-спектрометре, аналогично пленкам, легированным Li.

4. В пункте 5.2 главы 5 допущена ошибка, связанная скорее всего с рассеянным вниманием в момент написания: перепутаны низкое и высокое давления; $3.15 \cdot 10^{-5}$ Торр описано как самое высокое давление в камере, а $7.5 \cdot 10^{-3}$ Торр – как самое низкое. Предположительно, изначально имелся в виду “высокий” и “низкий” вакуум. Результаты данного исследования интерпретированы исходя из допущенной ошибки.

Также тексты диссертации и автореферата имеют небольшое количество орфографических, стилистических ошибок и опечаток, например:

1. Во втором пункте научной новизны результатов (стр. 7) «Впервые обнаружен и объяснен рост увеличения подвижности электронов...» следует исправить на «Впервые обнаружен и объяснен рост подвижности электронов...».
2. На рис.3.13 и в таблице 3.2 есть разночтения значений удельного сопротивления для концентраций Со 10 и 13 ат. %; исходя из текста диссертации следует поменять местами значения ячеек таблицы.

Заключение

В целом диссертационная работа Кузьминой А.С. выполнена на высоком уровне. Отмеченные недостатки и замечания носят дискуссионный или рекомендательный характер и не умаляют ее несомненных научных достоинств и высокой практической значимости. Представленная диссертация является законченным научным исследованием.

Диапазон затрагиваемых в ней вопросов свидетельствует о большом объеме теоретических и экспериментальных исследований, проведенных соискателем, что показывает его высокий профессиональный уровень. Диссертация соответствует пунктам 1 и 4 Паспорта специальности, заявленной соискателем. Материал диссертации взаимосвязан, продумано распределен по главам и логически завершен. Автореферат дает полное представление о содержании и основных выводах работы. Диссертация и автореферат написаны хорошим научным языком и оформлены с соблюдением требований ГОСТ Р. 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

В целом диссертационная работа «Структура и физические свойства тонкопленочных разбавленных магнитных полупроводников на основе оксида цинка, полученных методом импульсного лазерного осаждения» по научной новизне, практической значимости и актуальности соответствует требованиям, предъявляемым ВАК, и содержит необходимые квалификационные признаки, соответствующие пункту 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.), а ее автор Кузьмина А.С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Семенов Андрей Леонидович.

Основное место работы, должность: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет» (ФГБОУ ВО ИГУ), доцент кафедры радиофизики и радиоэлектроники.

Ученая степень, звание: кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, доцент.

Почтовый адрес: 664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 1, ФГБОУ ВО ИГУ;

Контактный телефон: 8 (3952) 52-12-53,
8 (3952) 52-12-58;

E-mail: asem@api.isu.ru

Семенов А. Л.

Согласен
на обработку
персональных
данных

28 сентября 2017 г.

