

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Тихого Александра Александровича на тему «Оптические и резистивные свойства нестехиометрических магнитных пленок на основе манганит-лантановых соединений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Актуальность избранной темы.

Диссертационная работа Тихого А. А. посвящена исследованиям свойств наноразмерных плёнок манганитов состава $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_3$ (LSMO) на различных подложках. Исследованные плёнки получены методом dc-магнетронного распыления. В работе приводится решение важной и актуальной проблемы физики конденсированного состояния, связанной с разработкой бесконтактного метода контроля содержания кислорода оптическими методами, а также описывается влияние отжига и толщины плёнок на их оптические, магнитные и магниторезистивные свойства.

Практически интерес к исследованиям манганитов обусловлен наблюдающимися в них явлениями колоссального магнитосопротивления, спиновой поляризации тока, которые делают перспективным применение тонких плёнок манганитов в качестве высокочувствительных датчиков магнитного поля и температуры, в составе запоминающих устройств и устройств спинтроники.

Диссертационная работа А.А. Тихого имеет структуру, соответствующую рекомендациям ВАК ДНР, и состоит из Введения, четырех разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначения, списка литературы из 226 библиографических наименований. Работа изложена на 148 страницах и содержит 50 рисунков и 2 таблицы.

Во Введении обоснована актуальность темы диссертационной работы. Показана связь работы с научными темами, планами и программами, сформулированы цели и задачи исследования. Отмечена научная новизна и практическая ценность полученных результатов, а также личный вклад соискателя.

В первом разделе приведены общие сведения о манганитах лантана и влиянию замещения на его физические свойства. Обсуждены свойства тонких пленок манганита лантана и их отличия от свойств объемного материала, как монокристаллического, так и поликристаллического.

Во втором разделе особое внимание уделено методу эллипсометрии и его практическому применению к изучению оптических свойств тонких пленок. Проведен анализ существующих эллипсометрических схем измерения и проанализированы их преимущества и недостатки. Даны краткие сведения о связи показателя преломления с химическим составом и структурой вещества.

В третьем разделе описана разработанная автором модификация хорошо известного метода Малина–Ведама для определения толщины и оптических параметров тонких пленок. Данная модификация метода позволила снять основной недостаток классического метода по определению толщины пленки (в классическом методе толщина определяется дискретно с шагом $\lambda/2$). Проанализировано влияние экспериментальной точности измерения эллипсометрических углов на определяемые значения оптических характеристик (показателя преломления, коэффициента экстинкции) и толщины пленки. Показано, что относительная погрешность определения оптических характеристик не превышает 2–4 %, а относительная точность определения толщины пленки не хуже 15 %.

Также предложено при решении обратной задачи эллипсометрии минимизационным методом включить в целевую функцию дополнительной информации об оптических свойствах пленочного покрытия, полученную не эллипсометрическим методом. В работе в качестве дополнительной информации и используются данные измерений коэффициентов прохождения на эллипсометрической длине волны. Такая

Вх. № 56
"30.11.2018"

модификация существенным образом упростила нахождение глобального минимума целевой функции, с одной стороны удалив большую часть локальных минимумов, а с другой «обострив» глобальный минимум.

Предложена модель тонкопленочного покрытия, учитывающая возможные неоднородные значения оптических свойств по толщине пленки, а также сложную структура границ раздела пленка–подложка и пленка–вакуум и учет шероховатости свободной стороны пленки.

В четвертом разделе рассмотрены режимы получения и термообработки исследованных пленок манганитов лантана полученных методом dc–магнетронного распыления. Представлены результаты исследования оптических, резистивных, магнитных свойств полученных пленок напыленных на различные типы подложек. С помощью эллипсометрических исследований и теоретических моделей (разработанных в предыдущих разделах) удалось установить связь между значением оптического показателя преломления и величиной кислородного индекса (дефицита кислорода). Это позволило предложить бесконтактную неразрушающую методику определения дефицита кислорода тонких пленок манганита лантана, который сильнее всего влияет как на температуру магниторезистивного перехода, так и на величину магнитосопротивления. Установлено влияние отжига на воздухе на физические свойства (показатель преломления, коэффициент экстинкции, кислородный индекс) полученных пленок. Также в данном разделе предложена оригинальная схема электрической компенсации фототока для эллипсометра, которая позволяет повысить точность измерения эллипсометрических углов для образцов, имеющих заметную диффузную составляющую в отражённом свете.

В выводах представлены основные результаты диссертационной работы.

Достоверность результатов и обоснованность выводов диссертационного исследования определяется большим количеством экспериментов с использованием стандартных магнитных, резистивных и оптических методов. Представленные результаты воспроизводимы и согласуются с данными, других исследователей, в том числе полученными иными методами, а также не противоречат существующим теоретическим представлениям о структуре и свойствах манганитов. В работе исследовалось влияние материала подложки, отжига и толщины LSMO плёнок на их оптические, магнитные и магниторезистивные свойства. В качестве подложек использовались стандартные монокристаллы SrTiO_3 (110), NdGaO_3 (001), Al_2O_3 (012) и $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ (111). В качестве основных методов исследования применялись спектрофотометрия и многоугловая отражательная эллипсометрия. Информация, полученная этими методами, сопоставлена с измеренными температурными зависимостями магниторезистивного эффекта и магнитной восприимчивости, а также с данными рентгеноструктурного анализа. Результаты такого сопоставления лежат в основе выводов работы.

Новизна научных положений, выводов, сформулированных в диссертации.

Среди основных полученных впервые результатов диссертационной работы Тихого А.А. следует отметить следующие:

Экспериментально обнаружен рост показателя преломления эпитаксиальных плёнок состава $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_{3-\alpha}$ с возрастанием дефицита кислорода α . Этому факту дано теоретическое объяснение. Из него следует количественное соотношение между величиной показателя преломления и кислородным индексом α , справедливость которого подтверждена экспериментально. Полученное соотношение справедливо для всей области существования ферромагнитной фазы в составах $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_{3-\alpha}$.

Установлено, что эллипсометрические измерения стехиометричной по кислороду эпитаксиальной пленки при энергии кванта зондирующего излучения 2 эВ дают значение оптической проводимости, которое является предельно достижимым для величины проводимости пленки на постоянном токе при температуре перехода «металл–

полупроводник», Эти результаты вместе с данными, полученными другими авторами при энергиях кванта 0.2–0.8 эв, свидетельствует об относительно узкой энергетической полосе активных состояний, ответственных за транспорт на постоянном токе.

Показано, что использование предложенного модифицированного метода Малина-Ведама повышает точность определения характеристик (показателя преломления, толщины и коэффициента экстинкции) наноразмерных LSMO плёнок по результатам эллипсометрических измерений, в том числе для плёнок имеющих сложную структуру границ.

Предложено при решении обратной задачи эллипсометрии оптимизационным методом учитывать в целевой функции дополнительную информацию об оптических свойствах исследуемого покрытия. На примере использования величины оптического пропускания, показано, что это приводит к улучшению точности и однозначности решения обратной задачи.

Установлено, что значительное понижение температуры Кюри в тонких пленках, обусловлено влиянием границы раздела пленка–подложка. Данная граница приводит к искажению кристаллической структуры в пограничных слоях и как следствие к дополнительной локализации носителей заряда и снижению устойчивости ферромагнитной фазы. Это влияние границы приводит к размытию фазового перехода в наноразмерных поликристаллических LSMO и его смещению в область более низких температур.

Несомненным достоинством диссертационной работы является разработка неразрушающего бесконтактного метода контроля содержания кислорода в LSMO плёнках изготовленных с использованием технологий, пригодных для масштабирования на массовое производство.

Предложенные методы интерпретации результатов оптических измерений могут найти своё применение в промышленном производстве устройств на основе наноразмерных плёнок манганитов.

Замечания.

К сожалению, в работе не приводятся никаких суждений о наблюдаемом уширении рефлексов подложки после напыления плёнки. Кроме этого, в работе при рассмотрении эпитаксиальной пленки, напыленной на монокристаллическую подложку совершенно не учтен тензорный характер диэлектрических проницаемостей этих двух сред, что в свою очередь должно приводить к изменению вида формул Френеля. Влияние этого изменения на эллипсометрические углы, а также на получаемые из них оптические показатели, толщину пленки и кислородный индекс ни как не анализируется.

Также в работе присутствуют некоторые опечатки. Так на страницах 13 (6 строка сверху), 18 (5 строка снизу), 25 (4 строка сверху), 81 (6 строка сверху), 96 (3 строка снизу) предложение начинается с тире. На страницах 20 (9 строка снизу) и 53 (4 строка снизу) напечатан квадратик вместо знаков порядка и много меньше. Страница 25 (2 строка сверху) в слове «ферромагнитного» пропущена буква **е**, стр. 26 (5 строка снизу) в слове «гистерезиса» отсутствует окончание **а**, стр. 27 (11 строка сверху) в фразе «между полупроводниковым и металлическим типом» отсутствует союз **и**, стр. 54 (2 строка сверху) напечатано «s11» – должно **s₁₁**, стр. 69 (10 строка снизу) в слове «принимает» пропущена буква **п**, стр. 90 (9 строка сверху) напечатано «рис.1.1» должно быть **рис. 4.1**, соответственно подпись к этому же рисунку на стр. 91 должна быть изменена, стр. 92 (7 строка снизу) в слове «образец» пропущена буква **ц**, стр. 108 (9 строка снизу) предложение не согласовано; стр. 118 (13 строка снизу), стр. 119 (6 строка сверху), стр. 120 (4 строка сверху) слова «Молекулярная», «Температура», «Толщина» должны быть написаны с малой буквы. На странице 29 (12 строка снизу) утверждение о том, что «область ферромагнитной фазы из многосвязной превращается в односвязную (рис.18б)» не верно. В автореферате рис.1а и рис.1б являются идентичными.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не влияют на основные практические и теоретические результаты диссертации.

Анализ диссертации Тихого А. А. на тему «Оптические и резистивные свойства нестехиометрических магнитных пленок на основе манганит-лантановых соединений» позволяет сделать заключение, что работа является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором на высоком уровне и с практической значимостью полученных результатов. Работа обладает четкой структурой, обусловленной целью и раскрывающими ее задачами, в заключении приведены обоснованные выводы.

Считаю, что диссертация Тихого А. А. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научной задачи, связанной с исследованием свойств тонких плёнок манганитов, полученных методом dc-магнетронного распыления. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Материалы, представленные в диссертации, прошли очень хорошую апробацию на более чем 20 научных конференциях и опубликованы в 10 статьях в реферируемых научных журналах, в том числе в 7 статьях входящих в базу SCOPUS. Профиль диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния, а сама работа по научному уровню, значению и достоверности новых результатов удовлетворяет требованиям ВАК при Министерстве образования и науки ДНР, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертация соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для соискателей ученой степени кандидата наук (п. 2.2), а ее автор, Тихий Александр Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной выше специальности.


Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
Государственное учреждение «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина», старший научный сотрудник отдела электронных свойств металлов

83114, ДНР, г. Донецк, ул. Розы Люксембург, 72

Телефон: 071 319 05 63

E-mail: vasils75@gmail.com



Васильев Сергей Владимирович

Я, Васильев Сергей Владимирович, полностью согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе _____
(подпись)

