

ОТЗЫВ

оппонента Телегина Андрея Владимировича на диссертационную работу

Сырова Анатолия Андреевича

на тему

«Термо- и магнитооптические эффекты в пространственно-неоднородных пленках»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

В диссертации Сырова А.А. представлены результаты исследований пространственно-неоднородных плёнок феррит-гранатов и диоксида ванадия, а также гетероструктур на их основе. Предложены модели напыления и неоднородного ионно-плазменного и кислотного травления плёнок с использованием масок разной формы. В работе отражена оригинальная методика создания гладкого эллиптического профиля эпитаксиальных плёнок феррит-гранатов в едином цикле ионно-плазменного травления. Определена зависимость периода лабиринтной доменной структуры от толщины наноразмерных плёнок феррит-гранатов. Детально проанализированы особенности фазовых переходов в плёнках диоксида ванадия и механизмы возникновения компенсационной структуры в ферромагнитных плёнках феррит-гранатов.

Актуальность работы не вызывает сомнений. Создание перестраиваемых магнито- и термооптических тонкопленочных гибридных структур, фотонных кристаллов и управление их свойствами через пространственную неоднородность (градиенты толщины, состава, 3D-профилирование) является одним из самых востребованных направлений современной физики конденсированного состояния и нанофотоники.

Диссертационная работа Сырова А. А. имеет следующую структуру – вступление, литературный обзор, затем четыре раздела, в которых раскрыты ключевые результаты проведённого исследования. Завершают работу выводы, а также библиографический список, насчитывающий 160 источников. Объем диссертации составляет 138 страниц, она также содержит 68 рисунков и 3 таблицы. В конце диссертации приводится список опубликованных работ соискателя.

Введение содержит краткое обоснование актуальности выбранной темы, где сформулированы цель и задачи исследования. Приведены защищаемые положения, раскрыта научная новизна и практическая значимость достигнутых результатов. Кроме того, подробно отражены сведения о личном вкладе соискателя в проведённое исследование, а также данные об апробации основных результатов работы.

Научная новизна сформулирована четко и охватывает как технологические приемы (ионное травление через маски), так и новые физические явления (перколяционные эффекты, формирование доменов сложной топологии вблизи точки компенсации). Практическая значимость подтверждается разработкой методов создания датчиков, термооптических резонаторов Фабри-Перо (патенты РФ) и внедрением результатов в учебный процесс и на предприятиях (АО «Фиолент», АО «Пневматика»).

Первый раздел отведён под обзор литературы по теме диссертационного исследования. Выполнен детальный анализ научных публикаций, посвящённых современным подходам к синтезу тонких функциональных плёнок оксидных полупроводников и их применению в устройствах микро- и нанофотоники. Отдельное внимание уделено особенностям воздействия пространственной конфигурации на оптические и магнитооптические характеристики плёнок феррит-гранатов и созданию термоуправляемых фотонных устройств на основе пленок диоксида ванадия.

Во **втором разделе** диссертации описаны используемые соискателем экспериментальные методы получения тонкопленочных функциональных слоёв, а также оборудование для практической реализации описанных методов. Описаны методики лабораторных исследований структурных, оптических, магнитных, магнитооптических, магниторезонансных и термооптических свойств полученных образцов пространственно-неоднородных пленок и многослойных структур на их основе.

Третий раздел посвящён изучению структурных характеристик пространственно-неоднородных термо- и магнитооптических плёнок, в том числе с заданным 3D-профилем, сформированных с применением различных технологических подходов. Рассматриваются методики «маскирования», путем накладывания твердотельных масок плоской, сферической или цилиндрической формы на поверхность исследуемого образца. Например, показано, что при ионном травлении плёнок с использованием плоской маски на границе зоны травления формируется клиновидный слой, ширина которого зависит от величины зазора между маской и плёнкой и может варьироваться от единиц до сотен микрометров.

Четвертый раздел содержит результаты экспериментальных исследований влияния размерных эффектов на магнитные и магнитооптические свойства синтезированных планарных тонкопленочных структур на основе феррит-гранатов. Показано наличие слоевых областей в объеме плёнки с различным состоянием относительно точки компенсации, что подтверждается магниторезонансными исследованиями при послойном стравливании. Построена модель градиентного распределения температуры компенсации по толщине образца, поясняющая формирование таких областей. Проведен анализ влияния режимов травления, размеров и формы эпитаксиальных пленок феррит-гранатов на их магнитные, магнитооптические и морфологические характеристики. Показано, что в эпитаксиальных плёнках феррит-гранатов ионное травление не приводит к деградации магнитооптических свойств: петли эффекта Фарадея сохраняются вплоть до толщин менее 100 нм, что свидетельствует о сохранении магнитного порядка и фазы граната в травлёном наноразмерном слое.

Пятый раздел диссертации посвящен исследованию влияния размерных эффектов на электрофизические и оптические свойства фотонных структур, сформированных на базе плёнок диоксида ванадия. Показано, что в такой структуре возможно возбуждение резонансных мод в виде стоячих волн внутри оптического слоя диоксида ванадия. Спектром мод можно управлять за счёт варьирования толщины оптического слоя диоксида

ванадия и температуры образца.

В заключении перечислены основные результаты диссертационной работы.

Автореферат и диссертация взаимно корректны и полностью отражают содержание исследования, защищаемые положения и итоговые выводы.

На мой взгляд, диссертационная работа Сырова А.А. представляет собой законченное, самостоятельное и научно-обоснованное комплексное исследование, содержащее решение важных задач в области физики магнитных явлений и нанофотоники. Впервые исследовано влияние искусственно-созданных пространственных неоднородностей на термо- и магнитооптические характеристики тонкопленочных функциональных слоев магнитодиэлектриков. В числе особо значимых достижений работы можно выделить успешный синтез монокристаллических плёнок феррит-гранатов толщиной до 10 нм, пространственную локализацию областей с разной температурой компенсации в градиентных пленках феррит-гранатов, положение которых можно «смещать» по толщине пленки, изменяя общую температуру образца. Также заслуживает внимания оригинальный технологический прием — использование приподнятых сферических и цилиндрических масок для создания гладкого 3D-профиля монокристаллических плёнок за счет управления энергией ионов в неоднородном зазоре.

Полученные результаты дополняют существующие представления о влиянии пространственно-размерных параметров и планарной геометрии на термо- и магнитооптические свойства тонких магнитных слоев. На основе исследованных градиентных структур и фотонных кристаллов с функциональными слоями диоксида ванадия предложены и запатентованы новые принципы построения датчиков давления и температуры. Разработанные методы профилирования ионным травлением открывают перспективы для дальнейших исследований профилированных многослойных структур, в том числе для интеграции феррит-гранатов в современные нанофотонные схемы.

Достоверность исследований подтверждается апробацией результатов соискателем на 16 международных и всероссийских конференциях и публикацией в 6 рецензируемых научных журналах. Кроме того, соискателем получено 3 патента РФ.

Несмотря на высокий уровень диссертационной работы, в тексте диссертации и автореферата присутствуют противоречия, терминологические неточности, орфографические и пунктуационные ошибки, которые часто требуют разъяснения со стороны соискателя. Например:

- 1) Из текста диссертации и выводов не ясно, какие конкретно исследованные в работе пленки феррит-гранатов были монокристаллическими, а какие поликристаллическими? И как это влияет на полученные результаты?
- 2) В разделе «Научная новизна» (п. 3) о толщине исследуемых пленок указано «...вплоть до толщины менее 10 нм...», однако в «Положениях, выносимых на защиту» (п. 4) и в «Выводах» (п. 2) фигурирует другое значение: «...при сверхмалых толщинах плёнки менее 100 нм».

Требуется уточнить. Отмечу, что получение непрерывной эпитаксиальной пленки

феррит-граната толщиной порядка 10 нм — это экстраординарная задача, выполнение которой демонстрирует высокий уровень квалификации соискателя.

3) В Выводах (п. 2) утверждается: «При толщине плёнки менее 100 нм наблюдается резкое увеличение периода доменной структуры более чем на порядок вследствие отклонения вектора намагниченности от нормали...».

Обычно при уменьшении толщины пленки с перпендикулярной анизотропией энергия размагничивания начинает доминировать над анизотропией и вектор намагниченности ложится в плоскость пленки. Не является ли наблюдаемая «гигантская» структура на самом деле переходом к планарному однодоменному состоянию, а не продолжением лабиринтной структуры с увеличенным периодом?

4) В выводах (п. 5) указано: «...ширина потенциальных барьеров между островками VO_2 , которая увеличивается в результате уменьшения размеров самих островков при изменении типа кристаллической сингонии...».

Действительно, фазовый переход в VO_2 сопровождается изменением параметров элементарной ячейки. Однако в тонких пленках, жестко связанных с подложкой, это приводит к возникновению механических напряжений, а не к макроскопическому «уменьшению размеров островков» (что потребовало бы отрыва от подложки!).

5) В тексте встречаются утверждения, которые носят декларативный характер. Например, в разделе «Практическая значимость» указано, что результаты могут быть использованы при создании «физических резервуаров для резервуарных вычислительных систем».

Однако в диссертации нет ни одного эксперимента, модели или даже упоминания нейроморфных приложений или резервуарных вычислений.

Аналогично, в «Заключении» утверждается: «На основе предложенных тонкоплёночных термо- и магнитооптических структур возможно создание высокоэффективных датчиков давления, температуры, магнитного поля, перемещения, поворота и т.д.».

Однако в самой диссертации отсутствуют экспериментальные данные, математические модели или хотя бы оценки чувствительности предлагаемых структур к магнитному полю или пространственной ориентации и т.д.

6) Станным в научном тексте выглядит использование термина «амёбоподобная» доменная структура вместо, например, «магнитные домены неправильной формы».

7) В п. 5 на защиту выносятся фраза «...изменении типа кристаллической сингонии». Лучше говорить об изменении «кристаллической симметрии» или просто «смене сингонии».

8) В выводах к главе 4 (п.7) утверждается, о сохранении «...гранатовой структуры вплоть до толщины десятки нанометров».

Опуская стилистические ошибки, вызывает вопрос отсутствие данных рентгеноструктурного анализа или РФЭС, подтверждающих сохранение кристаллической структуры граната после ионного травления.

9) В этом же разделе есть фраза «Переход из одной области в другую представляет собой эквипотенциальную плоскость...».

Термин «эквипотенциальная плоскость» представляется физически некорректным. Правильный термин: изоповерхность или компенсационная граница. Слово «плоскость» подразумевает нулевую кривизну, тогда как в общем случае градиент точки компенсации может быть нелинейным, и граница может иметь кривизну. Кроме того, так как переход — это процесс или граница, а плоскость — геометрический объект, то процесс не может «представлять собой» геометрический объект.

Выявленные в работе недостатки носят преимущественно уточняющий и дискуссионный характер — они направлены на дальнейшее совершенствование работы, не снижают научной ценности полученных результатов и не влияют на общее положительное впечатление от работы.

Таким образом, можно сделать заключение, что диссертационная работа Сырова Анатолия Андреевича соответствует специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния, и полностью удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением № 842 Правительства РФ от 24.09.2013, а автор работы, Сыров Анатолий Андреевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Оппонент:

кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник, заведующий
лабораторией магнитных полупроводников
ИФМ УрО РАН

Телегин Андрей Владимирович

 «20» августа 2026 г.
подпись

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН), 620108 г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д.18, тел.: +7-343-374-02-30, e-mail: telegin@imp.uran.ru

Подпись Телегина А.В. заверяю.

