

ОТЗЫВ

оппонента Шадрина Евгения Борисовича 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

Диссертация Сырова А.А. посвящена исследованию термо- и магнитооптических эффектов в пространственно-неоднородных пленках феррит-гранатов, диоксида ванадия, а также гетероструктурах на их основе. В работе представлены экспериментальные результаты синтеза, исследования пространственно-неоднородных пленок, а также результаты моделирования процессов их формирования методами осаждения и ионно-плазменного травления. Подробно рассмотрены механизмы особенностей фазовых переходов в перколированных плёнках диоксида ванадия и компенсационной структуры в ферромагнитных плёнках.

Актуальность проведенных исследований несомненна, поскольку в настоящее время наблюдается повышенное внимание к термо- и магнитооптическим структурам с перестраиваемыми параметрами, что подтверждается большим количеством экспериментальных и теоретических исследований в данной области. Практическое использование термо- и магнитооптических структур с перестраиваемыми характеристиками открывает потенциал для создания оптических устройств с невзаимными свойствами, в которых законы распространения оптического излучения во встречных направлениях отличаются. Данные структуры могут находить применение для разработки оптических изоляторов, которые допускают прохождение светового информационного сигнала только в одном выбранном направлении. Проектирование таких оптических тонкоплёночных и многослойных наногетероструктур включает в себя использование тонких плёнок ферромагнитных металлов или слоёв магнитодиэлектриков, а также плёнок диоксида ванадия, триоксида титана и др. Данные материалы способны изменять свои оптические характеристики под воздействием внешних полей (магнитных, тепловых, силовых), что позволяет реализовать идею управления и перестраивания параметров структур на их основе.

Диссертационная работа состоит из вступления, литературного обзора по теме исследования (Раздел 1), четырёх оригинальных разделов, которые посвящены основным результатам работы, выводов и списка использованных источников из 160 наименования. Диссертация изложена на 138 страницах текста, содержит 68 рисунков и 3 таблицы. В конце диссертации приводится список опубликованных работ.

Введение включает обоснование актуальности темы, формулировки цели и задач исследования, перечень защищаемых положений, научной новизны и практической значимости полученных результатов, также приводится информация о личном вкладе соискателя и апробации работы.

Первый раздел традиционно посвящен обзору литературы по теме диссертации. Проведен подробный анализ публикаций, в которых описаны современные методы получения и исследования пространственно-неоднородных термо- и магнитооптических пленок для устройств микро- и нанофотоники. В этом же разделе рассмотрены экспериментальные аспекты особенностей влияния пространственной формы на свойства пленок феррит-гранатов.

Во **втором разделе** диссертации описаны экспериментальные методы и методики получения тонких пленок и функциональных слоёв, а также приведено описание оборудования для практической реализации описанных методов и постростовой обработки. Также приводится описание экспериментального оборудования и методик проведения лабораторных исследований структурных, оптических, магнитных, магнитооптических, магниторезонансных и термооптических свойств полученных образцов пространственно-неоднородных пленок и гетероструктур на их основе.

Третий раздел посвящен исследованию структурных особенностей пространственно-неоднородных термо- и магнитооптических пленок, полученных разными методами. Рассматриваются различные методики маскирования путем накладки твердотельных масок из немагнитного диэлектрика плоской, сферической или цилиндрической формы на поверхность исследуемого образца. Приводятся результаты моделирования профилей покрытий, полученных различными методами, и результаты их сравнения с экспериментальными данными.

Четвертый раздел содержит результаты экспериментальных исследований влияния размерных эффектов на магнитные и магнитооптические свойства планарных структур на основе пленок феррит-гранатов. Представлены исследования влияния послойного ионного травления на особенности ферро-магнитного резонанса, доменной структуры и магнитооптического эффекта Фарадея. Обнаружено наличие в структуре плёнки нескольких слоевых областей с разным состоянием относительно точки компенсации магнитных подрешёток разделённых компенсационными плоскостями. Также показан анализ влияния планарных размеров и формы эпитаксиальных пленок феррит-гранатов на магнитные и магнитооптические и морфологические характеристики плёнок.

Пятый раздел диссертации посвящен исследованию влияния размерных эффектов на электрофизические и оптические характеристики фотонных структур на основе плёнок диоксида ванадия. Показано, что при деперколяции тонких плёнок диоксида ванадия динамика изменения проводимости при фазовом переходе «полупроводник – металл» определяется шириной потенциальных барьеров между островками VO_2 , при этом проводимость меняется с металлической на активационную. Обнаружено, что в фотонно-кристаллических структурах на основе диоксида ванадия температурное изменение спектрального положения моды Фабри-Перо обусловлено изменением оптической толщины активного слоя VO_2 , за счёт изменения показателя преломления в результате фазового перехода «полупроводник – металл» (изменение оптической разности хода лучей в резонаторе). Изменение действительной части комплексного показателя

преломления VO_2 приводит к спектральному сдвигу моды Фабри-Перо, а изменение мнимой части – к оптическому поглощению на резонансной длине волны.

В **заключении** представлены основные результаты и выводы диссертационной работы.

В целом, диссертационная работа представляет собой завершённое и целостное научное исследование влияния пространственных неоднородностей формы, структуры и состава на свойства термо- и магнитооптических пленок, и представляет собой актуальное исследование в области микро- и нанотехнологий, как с точки зрения фундаментальных знаний, так и в контексте прикладного применения. Материал диссертации очень хорошо структурирован по смыслу, где каждый раздел посвящён отдельному направлению исследования в рамках общей тематики. В целом экспериментальные методы, методики и результаты, а также математические модели описаны подробно и доступно, аккуратно выполнены рисунки, схемы и графики.

Таким образом, результаты диссертационного исследования вносят существенный вклад в развитие физики термо- и магнитооптических структур с перестраиваемыми параметрами. Предложенные соискателем подходы, открывают новые перспективы для разработки специализированных оптических устройств. Особенно следует выделить результат создания и характеристики термоуправляемых фотонных кристаллов на основе пространственно-неоднородных пленок диоксида ванадия, что будет способствовать дальнейшему развитию высокоэффективных микро- и нанофотонных устройств.

Достоверность и новизна научных результатов, полученных автором, не вызывает сомнений. Работа прошла достаточную апробацию на 16 международных и всероссийских конференциях, результаты опубликованы в 6 статьях научных рецензируемых журналов. Также соискателем получены 3 патента (1 на изобретение, 2 на полезные модели). Текст автореферата и диссертации хорошо отражает основное содержание, защищаемые положения и выводы работы.

Однако при общей высокой оценке диссертационной работы следует отметить ряд замечаний:

1) На стр. 20 «Фазовый переход Пайерлса представляет собой структурный фазовый переход первого рода [60]. Суть данного фазового перехода в диоксиде ванадия VO_2 (рис. 1.6) заключается в изменении симметрии кристаллической решётки с тетрагональной (высокотемпературная металлическая фаза) на моноклинную (низкотемпературная полупроводниковая фаза)». Фазовый переход «полупроводник – металл» в диоксиде ванадия представляет собой комплексный мотт-пайерлсовский фазовый переход (моттовская часть – переход второго рода, пайерлсовская часть – переход первого рода). По завершении протяжённой по температуре чисто электронной моттовской части фазового перехода (второго рода) перед совершением структурного перехода (первого рода) возникает моттовский металл с ростом проводимости на 5 порядков по отношению к полупроводниковой фазе! Ширина запрещённой зоны падает в этот момент до нуля. Симметрия решётки остаётся при возрастании проводимости

моноклинной, и лишь после структурного перехода меняется на тетрагональную!

2) На стр. 21 «В области ФП температурные зависимости электрических и оптических констант обладают гистерезисом, что обусловлено мартенситной особенностью структурного ФП Пайерлса первого рода». Отметим, что моттовская часть ФП также, как и пайерлсовская, обладает, согласно принципу Ле-Шателье, гистерезисом, что обусловлено погружением дна зоны проводимости в верхнюю четверть валентной зоны непосредственно перед совершением структурного фазового перехода Пайерлса. Почему, в работе рассматривается гистерезис только Пайерлсовской части перехода?

3) На стр. 84 «Очевидно, наличие подобных областей с разным состоянием относительно точки компенсации при заданной температуре обусловлено наличием градиента температуры компенсации вдоль толщины плёнка, который, в свою очередь, обусловлен градиентом физико-химических свойств плёнки (состав, напряжения), сформированным в процессе её эпитаксиального роста». Речь идёт, вероятно, о «наличии градиента концентрации примесей? Что означает «градиент температуры компенсации вдоль толщины плёнка»? Речь опять-таки, по-видимому, идёт о вертикальном (вдоль оси OZ, перпендикулярной поверхности образца) градиенте численного значения температуры?

В работе также присутствует большое количество стилистических и пунктуационных ошибок в виде некорректных терминов, выражений и бессмысленных знаков препинания. Присутствует много общих выражений типа «существенно снизить влияние (насколько?)», «наблюдаются изменения, связанные с эффективностью возбуждения (насколько?)», «существенно снизить зашумление (насколько?)», «уменьшаются по мере травления (насколько?)», «формирует в среднем меньшую шероховатость (насколько?)», «что приводит к сдвигу вдоль градиентного распределения (насколько?)», «период лабиринтной доменной структуры монотонно уменьшается (во сколько раз?)», «приводит к уменьшению шероховатости более чем в 6 раз (по отношению к чему?)».

Приведенные замечания в основном носят рекомендательный или редакционный характер и не снижают общей значимости и положительного впечатления о диссертационной работе.

Таким образом, можно сделать заключение, что диссертационная работа Сырова Анатолия Андреевича по актуальности, новизне, научному уровню и практической значимости полностью соответствует специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния, и удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого 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:

доктор физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник, заведующий
лабораторией физики фазовых переходов в
твердых телах Физико-технического института
имени А. Ф. Иоффе РАН

Шадрин Евгений Борисович

«01» 09 2026 г. *Е. Шадрин*
подпись

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26, тел.: +7-812-292-71-38, e-mail: shadr.solid@mail.ioffe.ru

Шадрин
Е. Б. Шадрин
заведующий



Шадрин