

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Михайловой Татьяны Владиславовны «**Структурно-морфологические особенности, оптические и магнитооптические эффекты в нанофотонных элементах и структурах**», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Т. В. Михайловой посвящена исследованию линейных оптических и магнитооптических эффектов в нескольких типах наноструктур, созданных на основе висмут-замещенных ферритов-гранатов. В работе дается подробный анализ известных и новых оптических и магнитооптических эффектов в фотонных наноструктурах в зависимости от условий синтеза, структурных параметров и геометрии наблюдения. В диссертации представлены оптические исследования для широкого спектра наноматериалов на основе ферритов-гранатов, это – одно-, двух- и многослойные пленки, пленки, содержащие наночастицы, диэлектрические резонансные структуры, структуры с металлическим нанослоем, в которых возможно появление таммовских плазмон-поляритонов и резонансов Фабри-Перо. Практический интерес к исследованиям данного типа связан с перспективами применения изученных наноматериалов для создания новых интегральных функциональных устройств для нанофотоники, оптоэлектроники и сенсорики, фундаментальный интерес обусловлен выявлением новых магнитооптических эффектов, выяснением новых механизмов взаимодействия света и вещества. Все это определяет большую *актуальность* проведенного исследования и *значимость* результатов диссертации как для научных приложений, так и для практического использования.

Текст диссертации хорошо структурирован, результаты последовательно излагаются на 216 страницах, содержащих 100 рисунков, 6 таблиц и 158 наименований списка литературы. Работа включает в себя такие разделы, как введение, пять глав, заключение и список литературы.

### *Анализ диссертации по главам*

Во *введении* раскрывается актуальность темы; формулируются цель и задачи работы, защищаемые положения; показывается новизна, практическая значимость и достоверность результатов. Кроме того, в данном разделе описан личный вклад автора и структура работы.

*Первая глава* посвящена литературному обзору по теме работы. Следует отметить, что части литературного обзора есть и в других главах. В первой главе описываются свойства феррит-гранатовых пленок, влияние структурирования на оптические, магнитные и магнитооптические свойства. Представлены основные методы расчета оптических свойств наноструктур, экспериментальные методики исследования оптических и магнитооптических свойств исследуемых материалов, синтеза наноструктур.

Во *второй главе* дано описание наноструктур с таммовскими плазмон-поляритонными состояниями на основе феррит-гранатовых пленок, приведены модели структур и их численная оптимизация для выяснения наиболее оптимальных моделей структур с максимальным значением магнитооптической добротности. Даны экспериментальные и расчётные спектральные зависимости коэффициента пропускания и эффекта Фарадея наноструктур с однослойной и двухслойной пленками ферритов-гранатов. Определены максимальные резонансные значения угла поворота плоскости поляризации света в эффекте Фарадея.

В *третьей главе* подробно описаны наноструктуры, в которых возможно сосуществование двух мод, так называемое гибридное состояние таммовского плазмон-поляритона и резонанса типа Фабри-Перо. Проведено моделирование и экспериментальные исследования структур с высокой степенью гибридизации двух мод при взаимном пересечении резонансов. Моделирование угла поворота плоскости поляризации света в эффекте Керра и Фарадея в описанных наноструктурах демонстрирует сильную зависимость форм спектральных линий от дизайна наноструктур, имеющих различное число составляющих нанослоев. Показано, что для усиления магнитооптического сигнала в геометрии на отражение лучше использовать только один верхний слой из золота без дополнительного буферного слоя.

В *четвертой главе* описаны оптические и магнитооптические эффекты в наноструктурах в наклонной геометрии. Рассмотрены структуры с таммовским плазмон-поляритоном, наноструктуры с гибридным состоянием

таммовского плазмон-поляритона, резонанса Фабри-Перо, поверхностного плазмон-поляритона, микрорезонаторные наноструктуры. Установлено, что резонансные значения угла поворота плоскости поляризации света в эффекте Фарадея резко возрастают для s-поляризованного света и уменьшаются для р-поляризованного света. Наличие гибридного состояния мод в наноструктуре на основе магнитооптического микрорезонатора и слоя из золота приводит к разному спектральному смещению резонансов s- и р-поляризованных световых волн при изменении угла падения света. Предложены модели оригинальных и эффективных для фотонных устройств магнитооптические таммовские наноструктуры на основе двухслойной пленки феррита-граната. Предсказаны и продемонстрированы асимметричный и интенсивностный эффекты Фарадея, возникающие в магнитоактивных резонансных наноструктурах.

В *пятой главе* приведены структурно-морфологические особенности магнитооптических наноструктур на основе нанослоев. Представлены результаты исследования по поиску оптимальных параметров синтеза слоев, одно- и двухслойных пленок феррита-граната, получаемых методом реактивного ионно-лучевого распыления с последующей кристаллизацией. Приводятся изображения поверхности наноструктур, полученные с помощью атомно-силового микроскопа, и гистограммы распределения кристаллитов по размерам. Предложены технологии синтеза плёнок феррита-граната для магнитооптических наноструктур. Показано, что предложенные технологии синтеза позволяют уменьшить шероховатость границ разделов в многослойных структурах.

Важно отметить *новизну* проведенного исследования. В диссертационной работе предложены модели магнитооптических наноструктур, демонстрирующие возникновение таммовских плазмон-поляритонов на определенных заданных длинах волн; определены наиболее оптимальные для технических применений модели таммовских наноструктур; на основе численных расчетов и экспериментов для разных моделей таммовской наноструктуры с двухслойной пленкой феррита-граната и слоем золота выявлено формирование гибридного состояния мод таммовского плазмон-поляритона и Фабри-Перо; продемонстрировано влияние наклонного падения и состояния поляризации световой волны на

формирование оптических и магнитооптических спектров наноструктур; предложено использование исследованной наноструктуры с двухслойной пленкой феррита-граната в качестве сенсоров для технического и медико-биологического применения; предложены и апробированы новые методики получения нанослоев из висмут-замещенного феррита-граната.

*Достоверность и обоснованность* представленных в работе результатов не вызывает сомнений. Научные положения, выносимые на защиту, и выводы подтверждаются применением известных, хорошо зарекомендовавших себя методов теоретического моделирования наноструктур, воспроизводимостью экспериментальных данных, хорошим согласием численных расчетов и экспериментальных зависимостей, а также согласованностью результатов диссертации с данными экспериментов и теоретическими расчетами, полученными в работах других авторов.

Следует отметить *практическую важность* полученных в диссертации результатов. В первую очередь, эти результаты найдут применение в области проектирования и создания новых устройств нанофотоники и оптоэлектроники на основе исследованных наноструктур, элементов информационных устройств для интегральной оптики, высокочувствительных магнитных сенсоров для технического и медико-биологического применения.

#### *Замечания по диссертационной работе*

1. На стр. 25 сказано, что «первое экспериментальное наблюдение таммовского плазмон-поляритона описано в [84]». Однако, эта работа теоретическая.

2. На стр. 26, на рисунке 1.4 имеется двойное обозначение панелей (а) и (б), они же обозначены как (б) и (в).

3. На стр. 45 идет описание спектромагнитополяриметра для измерения магнитооптических эффектов. Рисунок спектромагнитополяриметра не приведен. Было бы правильным поместить такой рисунок в текст диссертации для иллюстрации.

4. В диссертации приводятся данные по центру фотонной запрещенной зоны с точностью до 1 нм, см., например, стр. 51, 59, 80. Однако, не сказано,

как определяется центр фотонной запрещенной зоны с такой точностью?

5. На стр. 81 непонятно звучит фраза «Резонанс таммовского плазмон-поляритона более четко выражен в теоретических спектрах пропускания, поскольку в эксперименте реализовывалось более высокое поглощение используемого в расчете покрытия Au».

6. На стр. 66, на рисунке 2.12 на панели (б) для слоя Au = 28 нм показан неправильный рисунок, он – тот же, что и на панели (а).

7. На стр. 145 и 146 даны два возможных механизма возникновения асимметричного эффекта Фарадея. Может ли быть причиной наблюдаемого асимметричного эффекта Фарадея квадратичный по намагниченности член в разложении диэлектрической проницаемости (см., например, Š. Viřnovský, Magneto-optical permittivity tensor in crystals, Czech. J. Phys. В 36, 1424–1433, 1986)?

Несмотря на замечания, общее впечатление о диссертационной работе – весьма положительное, автор работы продемонстрировал отличное знание темы исследования, способность проводить необходимые экспериментальные исследования на современном техническом уровне, использовать теоретическое моделирование в применении к достаточно сложному кругу изучаемых оптических и магнитооптических явлений. Диссертация «Структурно-морфологические особенности, оптические и магнитооптические эффекты в нанофотонных элементах и структурах» полностью соответствует специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния, всем требованиям ВАК и пп. 9 – 14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям, со всеми изменениями, а её автор – Михайлова Татьяна Владиславовна заслуживает присуждения искомой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, заведующий лабораторией оптических явлений в сегнетоэлектрических и магнитных кристаллах

Павлов Виктор Владимирович  « 21 » 11 2023 г.  
подпись

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена докторская диссертация: 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Контактные данные:

Почтовый адрес: 194021, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26,  
ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Тел.: +7(812) 292-79-63

E-mail: [pavlov@mail.ioffe.ru](mailto:pavlov@mail.ioffe.ru)

Подпись Павлова В.В. заверяю:  « 21 » 11 2023 г.  
М.И. Патров, ученый секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе

