

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу

Барышева Александра Валерьевича

«Магнитооптические эффекты в магнитных и

плазмонных наноструктурах»,

представленную на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук по специальности

01.04.07 – физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Александра Валерьевича Барышева посвящена исследованию экспериментальному исследованию искусственных магнитооптических материалов на основе фотонных кристаллов различной размерности и плазмонных структур. В работе рассматриваются вопросы, связанные с синтезом объектов исследования, приводятся результаты изучения их оптических характеристик, также представлены результаты теоретического анализа и моделирования. Помимо этого, автором диссертации уделяется существенное внимание искусственным опалам, детально рассматривается возможность использования плазмонных фотонных кристаллов в качестве чувствительных элементов биосенсоров и анализируются магнитооптические свойства композитной структуры, представляющей собой упорядоченный слой (двумерную квадратную сетку) золотых наночастиц внутри пленки магнитооптического граната.

Актуальность темы диссертации

Актуальность темы диссертации А.В. Барышева связана с современным уровнем развития технологий, позволяющих синтезировать и прецизионно структурировать магнитооптические материалы, создавать на их основе субволновые оптические структуры, фотонные и плазмонные кристаллы и

др. Появление принципиально новых материалов и структур способствовало обнаружению целого ряда новых физических эффектов, которые в других условиях не реализуются. В связи с этим актуальными оказываются как фундаментальные исследования магнитооптических эффектов во вновь созданных материалах и структурах, так и анализ возможностей их практического применения, выявление тех областей, где это применение дает существенный выигрыш по сравнению с традиционными подходами. В настоящее время это сдерживается недостаточной разработанностью методов таких исследований, отсутствием адекватных теоретических подходов и ограниченностью научного обоснования ряда полученных к настоящему времени результатов. В связи с этим можно заключить, что направление представленного А.В.Барышевым диссертационного исследования «Магнитооптические эффекты в магнитных и плазмонных наноструктурах», является актуальным.

Содержание диссертационной работы

Диссертация содержит 194 страницы и 91 рисунок, состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы.

Во введении кратко освещено современное состояние проблемы, сформулированы цель исследования и обоснована его актуальность, охарактеризована научная новизна, приведены выносимые на защиту положения и представлена информация о публикациях автора диссертации.

Первая глава содержит обзор литературы по макроскопической и микроскопической природе МО эффектов и методов их анализа и экспериментального исследования. Также здесь представлена информация об использованных автором диссертации методиках изготовления магнитофотонных кристаллов и плазмонных магнитооптических структур и приводится описание экспериментальных установок и использованных методик измерений.

Во второй главе А.В.Барышевым представлены результаты экспериментов и теоретического исследования одномерных магнитофотонных кристаллов на основе многослойных структур, одинарных и двойных резонаторов Фабри-Перо, а также таммовских структур. В

результате, автором диссертации показано, что наноструктурирование магнитооптических материалов позволило не только получить повышенный МО отклик от использованного граната, но и выявить новые оптические эффекты.

Третья глава диссертации посвящена исследованию оптических и магнитооптических свойств двумерных магнитофотонных кристаллов, при этом основное внимание автором уделяется выявлению связей между периодичностью фотонных структур и их магнитооптическим откликом. Существенную часть представленного материала здесь составляет описание использованных методов изготовления двумерных периодических структур. В основном, А.В.Барышевым использована методика клонирования поверхности подложки, на которой формировались структуры. В главе приводятся результаты исследования пропускания света, магнитооптического эффекта, дифракционных явления. В частности, исследовано явление суперпризмы и результаты численного моделирования явления магнитной суперпризмы.

В четвертой главе приводятся результаты исследования синтетических опалов и трехмерных магнитофотонных кристаллов на их основе. В последнем случае поры опаловой структуры заполнялись магнитооптическим материалом. К сожалению, специфические магнитооптические эффекты оказались достаточно слабыми в связи с низким коэффициентом заполнения пор, однако представленная методика представляет несомненный интерес с точки зрения предложенного подхода и перспектив ее развития. В этой главе, помимо объемных опалов, рассматриваются тонкопленочные опалы, на основе которых изготовлены структуры типа Фабри-Перо резонаторов с магнитооптическим материалом внутри. В них обнаружено увеличенное значение угла поворота плоскости поляризации.

В пятой главе представлены результаты, относящиеся к исследованию одномерных плазмонных фотонных кристаллов и магнитофотонных кристаллов. Такие структуры характеризуются возможностью управления коэффициентом пропускания/отражения посредством приложения магнитного поля. В первом случае зарегистрировано оптическое таммовское состояние. Наблюдающиеся в исследованных структурах эффекты детально исследованы и интерпретированы. На основании этих результатов продемонстрирована возможность применения одномерных плазмонных фотонных кристаллов в качестве чувствительных элементов датчиков изменения показателя преломления и проанализированы достижимые характеристики подобных датчиков.

Шестая глава посвящена исследованиям свойств магнитооптических пленок, содержащих как неупорядоченные (получены из островковой пленки), так и упорядоченные (сформированы посредством электронной литографии) наночастицы золота. В спектральной области резонанса поверхностных плазмонов в золотых наночастицах обнаружено увеличенное вращение плоскости поляризации и впервые продемонстрирована взаимность эффекта усиленного вращения поляризации на частотах плазмонного резонанса. При исследованиях структур с упорядоченными наночастицами металла показано, что существует критический период структуры, при котором достигается ближнепольный режим сильного подавления пропускания.

В заключении приводятся сводка основных полученных результатов и выводы по диссертации в целом.

Основные научные результаты, полученные автором, и их новизна

Все решаемые в диссертационной работе задачи являются новыми. Полученные результаты вносят существенный вклад в понимание проблемы взаимодействия поляризованного света с одномерными (1D), двумерными (2D) и трехмерными (3D) магнитофотонными кристаллами, а также особенностей магнитооптических спектров золото-гранат композитных пленок и планарных 2D золото/гранат структур. Наиболее важными новыми результатами, имеющими наибольшую научную и практическую значимость являются следующие:

- обнаружено и объяснено увеличение угла фарадеевского поворота поляризации в одномерных магнитофотонных кристаллах, в том числе поддерживающих таммовские состояния, и в двойных резонаторах Фабри-Перо на основе таких кристаллов;
- обнаружены и объяснены особенности оптических спектров двумерных магнитофотонных кристаллов, определяемые анизотропией пропускания света, продемонстрирована связь этой анизотропии и магнитооптического отклика дифрагированного света;

- искусственные опалы впервые использованы для получения трехмерные магнитофотонные кристаллы за счет введения в их поры магнитооптических наполнителей, определена связь степени заполнения пор и характеристик таких сред. Реализовано усиление фарадеевского вращения в магнитооптической среде при помещении ее в обкладку из опалов за счет резонанса Фабри-Перо;
- Продемонстрировано, что в плазмонных магнитооптических нанокомпозитах и периодических структурах наблюдается усиление магнитооптического отклика на частотах локализованных плазмонных резонансов. Показано, что этот эффект является взаимным.

Степень обоснованности научных положений, результатов и выводов

Достоверность и обоснованность полученных в работе экспериментальных данных определяется использованием современных технологических приемов и экспериментальных методов. Достоверность приведенного в работе анализа подтверждается совпадением представленных в диссертации результатов как с экспериментом, проведенным в рамках работы, так и с опубликованными в литературе данными. Достоверность моделирования определяется использованием современных пакетов численного моделирования на основе метода конечных разностей и программ на основе метода матриц переноса.

Практическая значимость полученных автором результатов

Практическая значимость полученных автором экспериментальных результатов обусловлена следующим:

1. В результате выполнения диссертационного исследования разработаны новые методы получения магнитооптических структур.

2. Автором предложен новый метод увеличения угла фарадеевского поворота поляризации, что существенно для широкого ряда устройств, использующих эффект Фарадея.
3. Продемонстрирован новый подход к разработке чувствительных элементов биодатчиков.
4. Предложена сверхтонкая переключаемая ближнепольная волновая пластинка.
5. Установленные закономерности взаимодействия световой волны с магнитофотонными кристаллическими структурами, плазмонными магнитооптическими композитами и периодическими структурами позволяют проектировать широкий набор магнитооптических элементов для управления световым излучением.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в диссертации результаты представляют интерес для специалистов, работающих в области физики магнитооптических материалов и структур, технологии и физики наноструктур, исследования взаимодействия светового излучения с веществом, нанотехнологии и микроэлектроники.

Результаты диссертации могут быть использованы на предприятиях, связанных с изготовлением и использованием фотонно-кристаллических и магнитооптических материалов, научных лабораториях соответствующего профиля и учебных организациях, осуществляющих подготовку специалистов в области физики конденсированных сред и физического материаловедения. В частности, сюда относятся АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стельмаха», НПП «Буревестник», ОАО «Авангард», Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова и др.

Оформление диссертации, публикации и апробация

Диссертационная работа написана логичным, доступным для понимания языком и оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ.

Материалы диссертации опубликованы в 65 печатных работах, в том числе в 25 статьях в реферируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Содержание диссертации адекватно отражено в автореферате.

Основные результаты диссертации докладывались автором на сорока международных конференциях.

Замечания по диссертации

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания.

1. В диссертации достаточно подробно описаны все использованные автором методики, за исключением формирования граната в порах опала, в этом случае детали не приводятся.
2. При построении модели биосенсора на основе одномерного фотонного кристалла не учтена дисперсия стекла BK7, однако согласно данным производителя, фирмы Schott, в рассматриваемой спектральной области показатель преломления стекла меняется на 0.025.
3. В диссертации отсутствуют спектры пропускания островковых пленок, использованных в экспериментах, хотя эти спектры дали бы возможность оценить качество и степень перколяции пленок.
4. Как написано на стр. 157 диссертации, эффективный показатель преломления структур оценивался на основе «теории Максвелла-Гарнетта». На самом деле такой теории нет, есть формула Максвелла-Гарнетта (при этом Максвелл – имя, а Гарнетт – фамилия), которая до настоящего времени не доказана, а область концентраций, в которых она работает, очень узкая, сейчас считается, что это 5-7%, что только немногим больше, чем в приближении Ландау. Таким образом, ее применение необоснованно, и в частности, именно это, скорее всего,

является причиной расхождения экспериментальных и расчетных результатов на рисунке 88.

Следует отметить, что диссертация написана классическим языком с использованием классической терминологии и обозначений, что особенно ценно в наше время. Однако в некоторых случаях автор злоупотребляет аббревиатурами, список которых в тексте диссертации отсутствует. В диссертации также имеется некоторое количество невычитанных опечаток, в частности, на стр. 27, 48, 52, 96, 103, 124, 133, 164.

Указанные недостатки не снижают ценность работы и не затрагивают основного содержания диссертации.

Заключение

Резюмируя сказанное, можно констатировать, что диссертационная работа Барышева А.В. выполнена на высоком научном уровне и является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей новые подходы к созданию магнитооптических материалов и структур и результаты в области физики искусственных магнитооптических сред, представляющей выявленные общие закономерности взаимодействия световых волн с магнитооптическими фотонными кристаллами различной размерности и влияния плазмонных частиц на свойства магнитооптических структур, куда такие частицы ведены. Работа имеет большое практическое значение для развития магнитооптики.

Полученные в работе результаты и выводы являются достоверными и обоснованными. Автореферат диссертации и публикации автора в высоко-рейтинговых научных изданиях полностью отражают научную новизну и содержание работы.

Тематика выполненных А.В. Барышевым исследований соответствует паспорту специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»:

Диссертационная работа А.В. Барышева по форме и содержанию соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание

ученой степени доктора наук, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением №842 Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. Автор диссертации Барышев Александр Валерьевич заслуживает присуждения ему искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент

Профессор кафедры физики и технологии наногетероструктур
федерального государственного бюджетного учреждения
высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный
исследовательский Академический университет Российской академии наук»,
д.ф.-м.н.

Липовский Андрей Александрович

194021, г. 194021 Санкт-Петербург, ул. Хлопина, д.8, корпус 3, лит. А
Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский
Академический университет Российской академии наук»,
телефон: (812) 4488591, e-mail: lipovsky@sbpau.ru

Подпись руки А.А. Липовского заверяю:

*Главный специалист
по кадрам*

Проректор Санкт-Петербургского национального исследовательского
Академического университета Российской академии наук

Е. Жуков