

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию 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.

В последние десятилетия интересы специалистов в физике твердого тела всё более смещаются от исследований и практического применения объёмных материалов к гетероструктурам и структурам пониженной размерности. Возможность создавать такие структуры, комбинируя размеры, состав и пространственное расположение их компонент, ведёт к практически необозримому простору как для фундаментальных исследований новых физических эффектов, так и для их прикладного использования.

Для проявления новых оптических эффектов потребовалось создание композитов и периодических структур с характеристическими размерами, меньшими длины электромагнитных волн, что невозможно без развития технологий выращивания таких структур. Успехи в этом направлении привели к появлению новых классов физических объектов - фотонных кристаллов и других метаматериалов, наблюдению множества новых явлений в электродинамике таких материалов и прогрессу в их теоретическом описании.

При использовании в подобных структурах магнитных компонент открываются новые возможности управления их оптическими свойствами при приложении к ним внешнего магнитного поля. В плазмонных магнитооптических структурах возможны значительное увеличение магнитооптического отклика, а также управление поляризационным состоянием и направлением распространения электромагнитного излучения, что открывает широкие перспективы их практического применения. Все это определяет **актуальность** диссертации А.В.Барышева, в которой изложены результаты экспериментального изучения магнитофотонных кристаллов и плазмонных магнитооптических материалов различной размерности методами поляризационной спектроскопии.

Диссертация А.В.Барышева имеет 194 страницы, содержащие введение, 6 глав, включающих 91 рисунок, заключение и список литературы.

Обоснование актуальности диссертационной работы, формулировка цели исследований, обоснование научной новизны полученных результатов и

практической значимости наблюдаемых явлений, а также изложение основных положений работы, выносимых на защиту, даны во **введении**.

После литературного обзора, содержащего описание основ макроскопической и микроскопической природы магнитооптических эффектов и методов их теоретического расчета, анализ литературных данных о возможности повышения магнитооптического отклика висмут-замещенного железоиттриевого граната Bi:YIG , и описание основных теоретических и экспериментальных результатов исследований магнитофотонных кристаллов и плазмонных магнитооптических структур, полученных до выполнения данной диссертационной работы, в **первой главе** подробно обсуждаются технологические методики, использованные для изготовления магнитофотонных кристаллов и плазмонных магнитооптических структур, приведены схемы проведенных экспериментов.

Представленные **во второй главе** результаты экспериментального и теоретического исследования одномерных магнитофотонных кристаллов с различной структурой, приготовленных с помощью метода электронно-лучевого или магнетронного напыления с элементарной ячейкой из четвертьволновых слоев SiO_2 и Bi:YIG , показали, что в результате наноструктурирования магнитооптических материалов не только повышается величина их магнитооптического отклика от использованного граната, но и наблюдаются **новые** оптические эффекты:

в случае уединенного магнитофотонного кристалла продемонстрирован оптический аналог эффекта Боррманна и связанное с ним увеличение величины фарадеевского вращения плоскости поляризации; резонансные моды в рассмотренных магнитофотонных кристаллах интерпретированы как оптический аналог поверхностного таммовского состояния, которое при определенном дизайне таких структур может сосуществовать с поверхностным плазмонным резонансом в нанесенной пленке благородного металла.

Развитый диссертантом метод изготовления двумерных структур на основе Bi:YIG , использовавший технологию клонирования поверхности подложки, при которой симметрия подложки могла определять симметрию напыляемой структуры, а также **новые** результаты влияния двумерной периодичности на оптические и магнитооптические свойства трех различных магнитофотонных структур изложены в **третьей главе**:

для структур на базе железоиттриевых пленок граната продемонстрировано усиление магнитооптического отклика таких пленок и

изменение знака вращения плоскости поляризации, т.е. обнаружен механизм существенной модификации естественного магнитооптического отклика граната;

для многослойных (Bi:YIG/SiO₂)₇ структур обнаружена анизотропия пропускания поляризованного света и спектральные особенности, связанные с перекрытием и расщеплением различных запрещенных фотонных зон, а также наблюдался эффект фотонной суперпризмы, связанный с двумерной периодичностью структур, который не мог быть результатом естественной гиротропии граната.

Новые результаты исследования взаимодействия линейно-поляризованного света с трехмерными фотонными кристаллами на основе тонкопленочных и объемных синтетических опалов, сформированных из сферических частиц аморфного SiO₂ представлены в **четвертой главе**:

показано, что синтез ферромагнитных и парамагнитных материалов внутри опаловой матрицы определяется типом магнетизма введенного в опал материала;

в системах опал–парамагнитная жидкость, содержащая редкоземельные элементы, наблюдался эффект изменения знака вращения плоскости поляризации, приписанный кумулятивному процессу, когда амплитудная и фазовая анизотропия пропускания опалов значительно влияет на суммарный поворот плоскости поляризации света (или, в общем случае, на величину угла поворота главной оси эллипса поляризации);

для впервые синтезированных резонансных опал/гранат/опал гетероструктур обнаружено увеличение магнитооптического отклика вследствие локализации света в слое граната.

Новые результаты синтеза и исследования плазмонных одномерных фотонных и магнитофотонных кристаллов изложены в **пятой главе**:

показано, что при исследовании таких структур в геометрии полного внутреннего отражения возможно одновременное возбуждение интерференционного и поверхностного плазмонного резонансов;

в случае спектрально разнесенных резонансов обнаружен пик увеличенного магнитооптического отклика, отвечающий резонансному взаимодействию света на частоте таммовского состояния, и трансформация такого пика с инвертированием знака вращения поляризации, происходящая при изменении угла падения света вследствие пересечения резонансов;

полученные структуры использованы для создания биосенсоров с повышенной чувствительностью.

Новые результаты исследований свойств изготовленных двух типов субволновых композитных пленок на основе частиц золота, внедренных в пленку Bi:YIG , изложены в **шестой главе**, в которой дано исчерпывающее объяснение механизма увеличения угла магнитооптического вращения при возбуждении локализованного плазмона.

Все упомянутые выше результаты, полученные в диссертационной работе, являются **новыми** и вносят **существенный вклад** в понимание взаимодействия поляризованного света с магнитофотонными кристаллами различной размерности, а также особенностей магнитооптических спектров золото-гранат композитных пленок и планарных двумерных золото/гранат структур.

К изложению результатов в диссертации имеются следующие замечания:

1. первая из фраз основного вывода под номером 3 (с. 168) выглядит противоречащей описанному в конце параграфе 2.2 неполучению более высоких значений добротности и магнитооптического отклика, теоретически предсказанных для одномерного магнитофотонного кристалла на основе двойного микрорезонатора, которое было объяснено имеющимися недостатками в технологии роста таких структур. Кроме того, такие недостатки в данном случае могут оказаться вовсе неединственной причиной расхождения теории с экспериментальными результатами;

2. из двух последних положений, вынесенных на защиту, следовало бы исключить такие части фраз, как «экспериментально и с помощью численного моделирования показано, что...», «с помощью численного моделирования предсказано, что...», «предложено использование...», которые уместны лишь при описании полученных результатов и выводов;

3. описание двух типов электронных дипольных переходов в конце параграфа 1.2 выглядит настолько оборванным «на полуслове», что создаёт впечатление пропавшей части текста между страницами 19 и 20;

4. в работе, оформленной, в целом, аккуратно, тем не менее, имеются опечатки, как явные:

в ссылках 35 и 58 в списке литературы,

на рис. 4 пропущена ссылка,

на странице 20 вместо ссылки на рис. 6 дана ссылка на рис. 5,

так и реально затрудняющие чтение, например, многочисленные пропущенные запятые у причастных оборотов.

Следует отметить, что указанные недостатки не сказываются на содержании диссертации и не снижают её высокой, в целом, оценки.

В заключение хочется отметить комплексный характер диссертационной работы А.В.Барышева, в которой проведены:

1) отработка технологии и изготовления магнитофотонных кристаллов на основе Vi:YIG и других магнитооптических материалов различной размерности,

2) экспериментальное исследование оптических и магнитооптических спектров магнитофотонных кристаллов, приведшее к наблюдению оптического аналога таммовского состояния, эффекта Боррманна, эффект суперпризмы, моды двойного микрорезонатора Фабри-Перо и соответствующих проявлений этих резонансов и эффектов в магнитооптических спектрах магнитофотонных кристаллов,

3) интерпретация и теоретическое описание этих оптических резонансов и явлений.

Диссертационный материал изложен А.В.Барышевым последовательно и на высоком научном уровне и является самостоятельным законченным и содержащим решение важных практических и научных задач исследованием, которое может быть квалифицировано как новое достижение в области физики конденсированного состояния. Научная новизна работы подтверждена также широкой апробацией её результатов на многочисленных международных конференциях и их публикацией в научных журналах, имеющих высокие импакт-факторы.

Основное содержание диссертации А.В.Барышева полностью отражено в её автореферате.

Диссертационная работа «Магнитооптические эффекты в магнитных и плазмонных наноструктурах» отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Барышев Александр Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,
профессор Физического факультета СПбГУ

Вербин С.Ю.

Подпись доктора физ.-мат. наук, профессора Вербина Сергея Юрьевича
удостоверяет