

УТВЕРЖДАЮ:

Директор

Метельникова РАН

Профессор

С.А. Никитов

«05» сентября 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Барышева А.В. «Магнитооптические эффекты в магнитных и плазмонных наноструктурах», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности: 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Работа посвящена фундаментальным и прикладным исследованиям в области магнитофотонных и плазмонных магнитооптических наноструктур, а также технологии их синтеза. В работе всесторонне экспериментально исследованы 1D, 2D и 3D магнитофотонные кристаллы на основе висмут-замещенного железиттриевого граната и изучены плазмонные магнитооптические нанокомпозиты и периодические наноструктуры.

Актуальность темы

Изучение искусственных оптических наноструктур на примере магнитооптических материалов привлекательно из-за возможности управления в них распространением света при приложении внешнего магнитного поля. Именно из-за векторной природы света, предполагается наблюдение новых эффектов в магнитофотонных кристаллах и плазмонных магнитооптических наноструктурах. Исследование влияния различных оптических резонансов на магнитооптический отклик искусственных

наноструктур, возможности увеличения поворота плоскости поляризации света, управления поляризационным состоянием света и направлением его распространения при приложении внешнего магнитного поля важно и интересно с точки зрения получения фундаментальных знаний, а также перспектив использования их в твердотельной оптоэлектронике.

Цель диссертационной работы

Основной целью работы является экспериментальное исследование магнитооптических эффектов в магнитофотонных кристаллах и плазмонных структурах. В ходе выполнения работы изготовлены и исследованы 1D, 2D и 3D магнитофотонные кристаллы на основе висмут-замещенного железиттриевого граната, а также других магнитооптических материалов. Исследованы поверхностные волны в плазмонных магнитофотонных кристаллах. Изготовлены плазмонные магнитооптические неупорядоченные и 2D наноструктуры на основе золотых наночастиц, внедренных в слои висмут-замещенного железиттриевого граната, и исследованы оптические и магнитооптические свойства таких наноструктур.

Структура и объем диссертации

Работа состоит из Введения, 6 глав, Заключения и списка литературы. Диссертация содержит 194 страницы и 91 рисунок. По объему и структуре диссертация Барышева А.В. соответствует требованиям Положения ВАК к оформлению диссертаций.

Основные результаты и их новизна

В первой главе диссертационной работы обсуждается природа магнитооптических эффектов и их теоретическое описание, приводятся результаты работ, известных до выполнения диссертационной работы. В этой главе описаны методы изготовления исследованных в работе образцов и проведенные эксперименты.

Вторая глава посвящена исследованию одномерных магнитофотонных кристаллов. Экспериментально показано, что в магнитооптических спектрах многослойных структур на основе четвертьволновых слоев висмут-замещенного железиттриевого граната и диоксида кремния наблюдается рост угла фарадеевского вращения на частотах соответствующих краю запрещенной фотонной зоны. Обнаруженный эффект обусловлен локализацией света в магнитооптических слоях и по сути является оптическим аналогом эффекта Боррманна. Впервые изготовлен и экспериментально исследован двойной микрорезонатор Фабри-Перо. Впервые экспериментально демонстрируется, что в исследованных магнитофотонных кристаллах возможно резонансное пропускание света для частот из диапазона фотонной запрещенной зоны, которое сопровождается увеличением фарадеевского вращения за счет резонансного взаимодействия света со слоями железиттриевого граната. Такие оптические свойства обусловлены возбуждением мод на поверхности исследованных магнитофотонных кристаллов и интерпретированы как оптический аналог таммовского состояния.

Третья глава представленной работы посвящена исследованию магнитооптических эффектов в двухмерных фотонных кристаллах. Обсуждаются оптические и магнитооптические особенности, возникающие в спектрах кристаллов в режиме множественной брэгговской дифракции или эффекта суперпризмы. Впервые экспериментально показано, что магнитооптический отклик для света с длиной волны из диапазона, соответствующего перекрытию соседних фотонных стоп-зон, может быть значительно увеличен. Установлено, что знак вращения плоскости поляризации может быть инвертирован за счет анизотропии пропускания поляризованного света. С помощью численного моделирования, при масштабировании параметра гиротропии, демонстрируется эффект магнитной суперпризмы.

В четвертой главе изучены свойства трехмерных магнитофотонных кристаллов на основе искусственных опалов и особенности распространения в них линейно-поляризованного света. Ферромагнитные и парамагнитные материалы синтезированы внутри опаловой матрицы. Показано, что магнитные свойства синтезированных магнитофотонных кристаллов определяются свойствами введенного в опал материала. Для изготовления магнитофотонных кристаллов на основе опалов тонкопленочные опаловые пленки были использованы в качестве брэгговских зеркал. Показано, что микрорезонатор на основе опала и железиттриевого граната, в качестве резонаторного слоя, обладает характерными спектрами, когда на частоте моды Фабри-Перо резонатора наблюдается увеличенное фарадеевское вращение.

Пятая глава посвящена исследованию плазмонных магнитофотонных кристаллов на основе многослойных структур, включающих диэлектрические, магнитооптические и металлические слои. В диссертационной работе впервые предложена структура для одновременного возбуждения резонансов различной природы: поверхностного плазмонного резонанса в пленке металла и резонансов, связанных с периодичностью структуры магнитофотонного кристалла. Показано, что выбором оптических толщин слоев многослойной структуры и экспериментальных условий (угол падения света, показатель преломления призмы) достигается спектральное пересечение контуров, отвечающих вышеупомянутым резонансам. В режиме спектрального пересечения резонансных контуров обнаружено, что вращение плоскости поляризации для фиксированной частоты меняет знак. Следует отметить, что резкая зависимость спектрального положения плазмонного резонанса от угла падения или от диэлектрической постоянной материала на поверхности тонкой пленки благородного металла была предложена для повышения чувствительности оптического сенсора на основе плазмонных фотонных кристаллов. В главе приводится экспериментальная демонстрация чувствительности оптического сенсора к изменению показателя преломления

граничащей среды и при детектировании реакций между белковыми молекулами на поверхности сенсора.

Шестая глава посвящена изучению особенностей магнитооптического отклика субволновых плазмонных пленок на основе наночастиц золота внутри тонкого слоя висмут-замещенного железоиттриевого граната. Исследованы пленки с неупорядоченным массивом наночастиц и с двухмерной решеткой наночастиц. Изучены оптические и магнитооптические спектры в режиме однократного и многократного прохождения света через пленку. В работе проводится анализ и дана интерпретация спектральных особенностей. Показано, что на частоте плазмонного резонанса наблюдается значительное увеличение поворота плоскости поляризации. Этот эффект плазмонного усиления магнитооптического отклика оказался взаимным, так как угол поворота плоскости поляризации не накапливается в режиме многократного прохождения. Следует отметить, что вопрос о взаимной природе плазмонного усиления магнитооптического отклика был экспериментально исследован впервые.

В Заключение диссертации приведены основные результаты и выводы.

Практическая значимость работы

В работе получен ряд результатов, которые отражены в защищаемых положениях и имеют большое значение для развития физики конденсированного состояния и оптической спектроскопии. Как известно, фотонные кристаллы предоставляют широкие возможности управления светом, а использование магнитооптических компонентов позволяет управлять распространением и поляризацией света с помощью прикладываемого магнитного поля. С практической точки зрения данная работа интересна экспериментальной демонстрацией значительного увеличения магнитооптического отклика известного вещества за счет его наноструктурирования. Следует отметить важность результатов по исследованиям оптического сенсора на основе магнитофотонных кристаллов,

поскольку демонстрируется высокочувствительный элемент для обнаружения биомолекулярных реакций, который может быть полезен в приложениях к медицине.

Рассмотренные в работе наноструктуры в перспективе могут стать ключевыми элементами быстродействующих оптоэлектронных устройств. Результаты работы могут быть использованы для разработки и создания различных оптических устройств таких как:

- магнитооптические фильтры и устройства на их основе (магнитооптический модулятор и пространственный модулятор света);
- управляемый ответвитель, изолятор и циркулятор;
- высокочувствительный магнитооптический сенсор.

Результаты работы целесообразно использовать в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, НИУ ИТМО, ФИАН, НИЯУ МИФИ, Московском Саратовском и Ульяновском государственных университетах, МФТИ (ГУ) в рамках проводимых в указанных организациях исследований, посвященных оптике наноструктур, оптоинформатике и нанофотонике.

Из недостатков диссертационной работы можно отметить следующие:

1. В первой главе отмечено, что изменение магнитооптических спектров проводилось на установке, позволяющей детектировать предельно малых интенсивностей с помощью фотоумножителя. Однако исследования магнитооптического отклика в режимах с большими плотностями мощности излучения могут приводить к локальному нагреву слоев висмут-замещенного железиттриевого граната до температуры выше температуры Кюри. Необходимо указать максимально допустимый уровень плотности мощности излучения, не искажающий результаты измерений.

2. В третьей главе планарные 2D магнитофотонные кристаллы, изготовленные с помощью автоклонирования затравочных поверхностей

(рисунок 20), исследуются при освещении из воздуха. Учитывая тот факт, что автор в последующих главах проводил эксперименты с использованием геометрии полного внутреннего отражения, следует отметить необходимость экспериментального исследования и 2D магнитофотонных кристаллов в такой геометрии, а не только при освещении из воздуха.

3. В главе 6 с помощью численного моделирования показано, что плазмонная магнитооптическая 2D структура может обладать свойствами управляемой волновой пластинки при некотором критическом параметре 2D решетки. Следует отметить, что управление циркуляцией вектора электрического поля для эллиптически поляризованной волны возможно и с помощью обычной пленки граната, при этом без значительных потерь за счет поглощения волны в плазмонной подсистеме. В диссертации не обсуждается магнитооптический коэффициент добротности (figure of merit) исследованных структур и обычной пленки висмут-замещенного граната такой же толщины. Такое сравнение, как представляется, усилило бы ценность полученных результатов.

Замечания к диссертационной работе:

1. В первой главе обсуждается разделение магнитооптических эффектов по взаимной ориентации волнового вектора волны и направления магнитного поля (геометрия Фарадея и геометрия Фогта), однако вообще не упоминается геометрия Керра.

На рисунке 6 и в тексте обсуждается схема магнитооптического изолятора, однако нет никакого упоминания о таком важном устройстве как циркулятор. Хотя следует отметить, что автор приводит ссылки на недавние работы по изолятору и циркулятору в оптическом режиме (работы Fan et al.).

2. В главе 2 диссертации в качестве принципиально новых 1D магнитофотонных кристаллов обсуждаются многослойные структуры,

состоящие из двух брэгговских зеркал или зеркала и пленки золота. Наблюдаемые в этих структурах резонансы интерпретируются как оптический аналог таммовских состояний. Необходимо отметить, что рассмотренные структуры состоят из весьма ограниченного количества пар слоев, а резонансные моды аналогичны модам резонатора Фабри-Перо.

3. В четвертой (относится и к третьей) главе обсуждаются особенности магнитооптических спектров 3D магнитофотонных кристаллов. Однако автором не уточняется, имеют ли эти эффекты взаимную или невзаимную природу.

4. В пятой главе рассматриваются плазмонные 1D магнитофотонные кристаллы на основе в режиме возбуждения поверхностных волн. Следует отметить, что проведенные эксперименты и обсуждаемый численный расчет сенсоров лимитированы рассмотрением только одной возможной реализацией с призмой из стекла ВК7. При обсуждении оптического сенсора необходимо указать границы применения данной экспериментальной техники для параметров характеризующих вводную призму, кристалл и среду с биомолекулами.

5. В шестой главе автор справедливо затрагивает вопрос о природе плазмонного усиления магнитооптического отклика системы железиттриевый гранат/золотые наночастицы. Следует заметить, что в конце главы акцент делается на возможность использования эффекта плазмонного усиления для управляемой волновой пластинки. Однако автор не предлагает к обсуждению экспериментальную реализацию такого оптического элемента.

6. В тексте диссертации есть опечатки, встречаются слова, написанные слитно, некоторые утверждения сделаны недостаточно аккуратно, встречается несоответствие в нумерации рисунков и путаница при отсылке к рисункам из текста.

Отмеченные недостатки и сделанные замечания не затрагивают основных результатов работы. Проведенные Барышевым А.В. исследования и полученные результаты представляют фундаментальное и прикладное значение и полностью опубликованы в ведущих российских и международных научных изданиях. Достоверность результатов обеспечивается использованием многократно апробированных теоретических методов и сравнением с экспериментальными и теоретическими результатами других авторов. Основные положения диссертационной работы неоднократно обсуждались на семинарах различных научных организаций, а также докладывались на 40 международных конференциях (в том числе 6 приглашенных докладов).

Автореферат правильно и полно отражает основное содержание работы, а представленная диссертация соответствует заявленной специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертация и доклад Барышева А.В. обсуждены на заседании научно-квалификационного семинара «Физика твердого тела, магнитных и акустических явлений» ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН 18 февраля 2016 г., протокол № 1 и получили поддержку участников семинара. Диссертация Барышева Александра Валерьевича «Магнитооптические эффекты в магнитных и плазмонных наноструктурах» является законченной научно-квалификационной работой в области физики конденсированного состояния, вносящей существенный вклад в развитие направления, связанного с созданием функциональных наноматериалов. Представленная работа соответствует п. 9 положения «О порядке присуждения ученых степеней» № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор Барышев Александр Валерьевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Отзыв составлен к.ф.-м.н., в.н.с. В.А. Котовым. 

Почтовый адрес: 125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7.

Телефон: +7 (495) 629 3506, e-mail: kotov@cplire.ru

Подпись В.А. Котова завер

Ученый секретарь

ИРЭ им. В.А.Котельнико

к.ф.-м.н.



И.И. Чусов

Почтовый адрес: 125009, Москва, Моховая 11, корп.7.

Телефон: +7 (495) 629 3628, e-mail: chusov@cplire.ru

Данные ведущей организации

Полное название: Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

Почтовый адрес: 125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7.

Телефон: +7 (495) 629 3574

Электронная почта: ire@cplire.ru