

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию Мурзина Дмитрия Валерьевича «Резонансный экваториальный эффект Керра в магнитоплазмонных кристаллах на основе пермаллоя», представленную на соискание ученой степени кандидата физика-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений

Тесная взаимосвязь магнитных свойств микро- и наноразмерных ферромагнитных систем с их оптическими свойствами активно используется в области современной нанофотоники для изготовления активных оптических элементов, полагающихся на магнитооптические свойства наноструктур. С данной точки зрения внимание привлекают плазмонные кристаллы, созданные на базе ферромагнитных материалов, известные также как магнитоплазмонные кристаллы. В этих структурах возбуждение поверхностных плазмон-поляритонов не только определяет их характерные оптические свойства, но и приводит к усилению различных магнитооптических эффектов, что успешно применяется при создании сенсоров магнитного поля. С развитием современных технологий производства магнитных наноструктур, актуальным направлением становится создание новых типов магнитоплазмонных материалов и изучение способов управления их магнитооптическими свойствами через изменение химического состава и морфологических характеристик.

Диссертация Мурзина Д.В. органично вписывается в рамки текущих исследований, посвященных экспериментальному изучению свойств магнитоплазмонных кристаллов. Несмотря на большое количество исследований в этой области, новые гибридные структуры, вроде представленных в работе, могут демонстрировать новые эффекты, более гибко управляемые параметрами систем, что говорит в пользу **актуальности** исследования. В частности, в работе представлены результаты исследования влияния параметров решетки одномерных и двумерных магнитоплазмонных кристаллов с непрерывным ферромагнитным слоем на их оптические и магнитные свойства. Внимание также уделяется влиянию свойств магнитоплазмонных кристаллов на полевые зависимости экваториального

эффекта Керра, измеряемого на длине волны возбуждения поверхностного плазмон-поляритона, которые имеют **практическую значимость** для разработки чувствительных элементов датчиков магнитного поля.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 192 наименований. Работа изложена на 130 страницах, а также содержит 51 рисунок и 11 таблиц.

Первая глава содержит обзор публикаций по защищаемой тематике, в которых представлены результаты исследований оптических магнитных и магнитооптических свойств ряда одномерных и двумерных магнитоплазмонных кристаллов на основе ферромагнитных металлов и их комбинации. В тексте обзора рассмотрены виды магнитооптических эффектов, которые могут наблюдаться в исследуемом типе образцов, а также приведено краткое объяснение механизма усиления экваториального эффекта Керра за счет возбуждения поверхностных плазмон-поляритонов. Также в главе обсуждается возможность применения полевых зависимостей экваториального эффекта Керра наноструктурированных ферромагнитных пленок для измерения внешних магнитных полей.

Вторая глава посвящена описанию процедуры изготовления одномерных и двумерных магнитоплазмонных кристаллов, а также описанию методов и подходов для изучения их магнитных, оптических и магнитооптических свойств. В частности, приведены сведения о конфигурации оптических установок, собранных автором работы для изучения оптических и магнитооптических свойств магнитоплазмонных кристаллов в геометрии экваториального эффекта Керра.

В третьей главе приведены основные результаты исследований свойств изготовленных магнитоплазмонных кристаллов и представлен анализ полученных данных. Продемонстрировано, как спектральные и полевые зависимости экваториального эффекта Керра, а также форма петель гистерезиса магнитоплазмонных кристаллов, зависит от параметров структуры магнитоплазмонных кристаллов с общим составом $\text{Ag/Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Si}_3\text{N}_4$.

Можно отметить не вполне стандартную структуру диссертационной работы, обычно оригинальные главы соответствуют научным задачам, решаемым в диссертации – в этой работе вторая глава является методической, а третья содержит все оригинальные результаты.

В ходе исследования использовались современные научные приборы и хорошо разработанные методы, что говорит в пользу достоверности полученных результатов. Полученные данные были опубликованы в виде 6 статей в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, а также представлены на 13 международных конференциях, что свидетельствует о достаточной **апробации** представленной работы. Текст диссертационной работы хорошо структурирован и последовательно изложен.

При прочтении работы возникает ряд вопросов и замечаний:

1. Для первой серии образцов с изменяемым слоем пермаллоя проводятся измерения оптического и магнитооптического отклика, и наблюдается увеличение добротности резонансов с уменьшением толщины пермаллоя. Известно, что наилучшая перекачка света в плазмон достигается в условиях так называемого критического связывания, когда потери на рассеяние уравниваются с потерями на поглощение. Условие критического связывания в эксперименте, по-видимому, не достигнуто, а также никак не обсуждается в тексте.
2. В экспериментах с одномерными магнитоплазмонными кристаллами измеряются спектры магнитооптического контраста δ , однако, в случае резонансных систем важно также оценить величину магнитооптической эффективности, которая есть магнитооптический контраст, умноженный на коэффициент отражения, то есть просто разность коэффициентов отражения для двух направлений приложенного поля. При малом коэффициенте отражения, как и здесь в резонансном случае, величина δ может сильно возрасти за счет малого знаменателя. Хотелось бы увидеть спектр магнитооптической эффективности и его анализ.
3. Мотивацией исследования двумерных магнитоплазмонных кристаллов заявляется возможность создания двухосевых сенсорных

элементов. При этом не объясняется, как именно такой сенсор должен работать. Имеется ли в виду, что будет детектироваться в том числе магнитное поле, не направленное ни по одной из осей? Эксперименты проводились только для направлений поля вдоль осей решетки. Из-за наличия азимутальной анизотропии элемента, связь магнитооптического контраста, измеряемого вдоль осей с приложенным полем не так очевидна. Как минимум потребуется дополнительная калибровка. Этот вопрос в тексте работы не обсуждается.

4. В целом в работе делается упор на описание экспериментальных результатов, нежели на их интерпретацию. Дополнительные расчеты оптических и магнитооптических свойств магнитоплазмонных кристаллов с применением современных методов моделирования, феноменологические модели или оценки могли бы значительно укрепить сделанные выводы и повысить убедительность представленного материала.
5. Поскольку создание сенсоров – один из пунктов мотивации исследования и его практической значимости, хотелось бы увидеть сравнение как магнитоплазмонных кристаллов в целом, так и исследуемых в работе в частности с существующими датчиками магнитного поля на основе эффекта Холла, которые также могут быть трехосевыми.

Указанные замечания в целом не снижают ценности и уровня диссертационной работы и не подвергают сомнению защищаемые положения.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1 — 2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно требованиям

Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Считаю, что Мурзин Дмитрий Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Долгова Татьяна Викторовна

6.12.2024



Контактные данные:

Телефон: +7-(910)-417-11-32, e-mail: dolgovatv@my.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.21 - Лазерная физика

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, Дом 1, строение 2.

ФГБОУВО «МГУ имени М.В. Ломоносова», физический факультет

Телефон: +7 (495) 939-16-82, e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись сотрудника МГУ имени М.В. Ломоносова

Т.В. Долговой удостоверяю

