

## ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н. Колмычек Ирины Алексеевны на диссертационную работу Павлова Сергея Игоревича «Резонансные оптические и магнитооптические эффекты в дифракционных структурах на основе магнетита», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

Актуальность исследования резонансных оптических наноструктур обусловлена перспективами их применения для управления характеристиками оптического излучения. Вместе с тем современный уровень развития технологий требует разработки все более компактных и одновременно более эффективных оптических элементов. Использование планарных периодических элементов с размерами порядка длины волны света открывает широкие возможности контроля оптических свойств в основном за счет геометрических параметров структуры, а не химического состава используемых материалов. Сочетание структур, свойства которых определяется геометрией, с магнитными материалами, позволяет резонансно усиливать магнитооптические эффекты, что перспективно для улучшения существующих и создания новых оптических приборов, в которых воздействие на оптическое излучение осуществляется с помощью магнитного поля.

В диссертационной работе Павлова Сергея Игоревича приводится исследование особенностей поперечного магнитооптического эффекта Керра в одномерно-периодических дифракционных структурах на основе магнетита. Несмотря на то, что возможность усиления магнитооптического отклика при возбуждении решеточных резонансов различной природы была продемонстрирована в ряде работ, исследование особенностей усиления в материалах, где детектируется эффект Керра в естественном состоянии, до сих пор было крайне мало. Магнетит является подходящим для этих целей материалом, так как, во-первых, демонстрирует значительную величину магнитооптических эффектов, а во-вторых, позволяет наблюдать их и в проходящем, и в отраженном свете. Полученные в работе результаты, проведенный анализ усиления поперечного эффекта Керра в структурах с различной геометрией, а также предложенный оригинальный метод оценки эффективности магнитооптических свойств дифракционных структур, указывают на

высокую значимость полученных научных результатов, а также определяют новизну представленной работы.

Диссертационная работа Павлова С.И. состоит из введения, пяти глав и заключения.

Во введении приведены защищаемые положения, излагаются цели и задачи работы, обосновывается ее актуальность, новизна и практическая значимость.

В первой главе представлен обзор литературы по теме работы. В первом разделе описана теория магнитооптических эффектов в естественных магнитных материалах. Во втором разделе представлено описание оптического отклика одномерно-периодических дифракционных структур в условиях возбуждения резонансов различной природы. Кроме того, приводятся примеры особенностей, возникающих при их взаимодействии. В третьем разделе рассматривается теория плазмонных и волноводных резонансов в средах, обладающих гиротропией. Далее описаны основные результаты, представленные в литературе, по исследованию поперечного эффекта Керра в дифракционных структурах. В конце раздела приводятся параметры материалов, применяемых в магнитооптике.

Во второй главе приведено описание используемых автором экспериментальных и теоретических методов. В первом разделе представлены технологические методы, применявшиеся для изготовления образцов дифракционных структур на основе магнетита – лазерного электродиспергирования и электронной литографии. Приведены геометрические параметры изготовленных структур. Во втором разделе описана основная экспериментальная методика – спектральная Фурье-микроскопия и представлено описание экспериментальной установки для проведения магнитооптических исследований. В третьем разделе кратко описаны методы моделирования магнитооптических эффектов.

В третьей главе представлены результаты измерений оптических и магнитооптических параметров пленок магнетита, полученных методом лазерного электродиспергирования (ЛЭД). В первом разделе представлены данные по измерениям диэлектрической проницаемости и вектора гирации. Во втором разделе приведены результаты измерений спектрально-угловых зависимостей поперечного эффекта Керра на пропускание и отражение. В третьем разделе представлены данные измерений

магнитного поля насыщения. В конце главы рассчитаны параметры плазмонных и волноводных возбуждений в пленках магнетита.

В четвертой главе представлены результаты исследования поперечного магнитооптического эффекта в дифракционных структурах с различной геометрией. В первом разделе изучается влияние поверхностного плазмонного резонанса на поперечный эффект Керра. Приводятся экспериментальные и теоретические спектрально-угловые зависимости отражения и пропускания и поперечного эффекта Керра в структурах с толщиной пленки магнетита 50 нм. Сопоставление полученных спектрально-угловых зависимостей с расчетами оптических мод выявило, что наблюдаемые спектральные особенности связаны с плазмонными резонансами на границах раздела золото/воздух и золото/подложка. Показано, что усиление поперечного эффекта связано с плазмонным резонансом золото/подложка. Во втором разделе исследуется влияние толщины слоя магнетита и ширины золотых полосок на поперечный эффект Керра. При увеличении толщины слоя магнетита до 220 нм оптические резонансы и соответствующие особенности усиления эффекта Керра связаны с возбуждением квазिवолноводных мод. Увеличение ширины золотых полосок приводит к изменению характера резонансов от квазिवолноводного к плазмонному. Это приводит к смещению резонансов к спектральному положению соответствующей моды. В третьем разделе исследуется структура с массивом золотых полосок, расположенным под слоем магнетита. В такой структуре возбуждение плазмонного резонанса золото/воздух подавлено, при этом усиление поперечного эффекта Керра связано с возбуждением квазिवолноводного резонанса. В четвертом разделе главы анализируются результаты предыдущих разделов в части усиления эффекта Керра. При этом выбор параметров дифракционных структур позволяет выделить спектрально-угловой диапазон в котором достигается наибольшая величина магнитооптического отклика.

В пятой главе рассматривается вопрос о величине поперечного эффекта Керра и эффективности структур с возможным магнитоуправлением оптического отклика. Вводится и обосновывается показатель эффективности для поперечного эффекта Керра в виде произведения среднего коэффициента пропускания или отражения на сигнал Керра – модуль разности коэффициента пропускания или отражения при противоположной намагниченности. Приводятся примеры применения показателя эффективности на основе результатов, полученных для структур, исследованных в работе.

В заключении сформулированы основные выводы работы.

Достоверность полученных оригинальных результатов и обоснованность положений, выносимых на защиту, обеспечивается применением современных экспериментальных методов исследования оптического отклика резонансных структур, а также сравнением результатов с литературными данными.

При чтении диссертационной работе возник ряд вопросов и замечаний:

1. В качестве магнитного материала в работе исследуется нанодисперсный магнетит, полученный методом ЛЭД. При этом не объясняется как наличие наночастиц приводит к улучшению магнитных свойств магнетита, а также учитывалось ли рассеяние на наночастицах при анализе оптических спектров.
2. Не указаны порядки поверхностных плазмон-поляритонов, возбуждение которых наблюдается в эксперименте.
3. Было бы более наглядно и проще для восприятия, если бы *на всех* полученных спектрально-угловых зависимостях пропускания, отражения и величины поперечного эффекта Керра для дифракционных структур были нанесены рассчитанные дисперсионные кривые различных резонансов, как это сделано на рис. 4.2 (б).
4. В работе есть несколько орфографических ошибок и опечаток, например, «сфокусирована на мишене» (стр. 40), «волноводна» (стр. 61), «разщепляется» (стр. 63) и др.

Приведенные замечания носят характер пожеланий или редакторской правки, и потому несколько не умаляют общего положительного впечатления о диссертационной работе.

Результаты работы представлены в 5 статьях, опубликованных в научных журналах *Semiconductors*, *Physical Review B* и *Journal of Physics: Conference Series*. Текст автореферата и диссертации хорошо отражает основное содержание и выводы работы.

Считаю, что диссертационная работа Павлова Сергея Игоревича "Резонансные оптические и магнитооптические эффекты в дифракционных структурах на основе магнетита" отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

01.04.07 "Физика конденсированного состояния" согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Доцент кафедры общей физики  
Физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова,  
кандидат физико-математических наук

И.А. Колмычек

г. Москва, Ленинские горы, д.1, строение 2, Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, тел. +7(495)939-36-69, e-mail: [ikolmychek@mail.ru](mailto:ikolmychek@mail.ru)

Декан Физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Н.Н. Сысоев