

**ОТЗЫВ официального оппонента Павлова Виктора Владимировича
на диссертацию на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук Чехова Александра Леонидовича
на тему: «Резонансные оптические эффекты в одномерных
магнитоплазмонных кристаллах» по специальности
01.04.21 – «Лазерная физика»**

Основой диссертационной работы А.Л. Чехова является проведённое систематическое исследование новых оптических эффектов в области плазмон-поляритонов в структурированных средах – магнитоплазмонных кристаллах (МПК) на основе благородного металла (Au) и эпитаксиальных плёнок ферритов-гранатов. Изучение структурированных сред, практически важных для управления электромагнитного излучения в устройствах фотоники, является одним из перспективных направлений исследований в области современной оптики, интерес к которому постоянно возрастает. Новые гибридные структуры типа металл-диэлектрик в таких устройствах позволяют реализовывать высокую локализацию светового потока в области плазмонных резонансов, что приводит к особой чувствительности поверхностных плазмон-поляритонов к характеристикам сред, в которых они возбуждаются. Это несомненно представляет интерес для создания высокочувствительных сенсорных элементов. Использование новых принципов на основе оптомагнитных эффектов позволяет управлять состоянием намагниченности на чрезвычайно коротких масштабах времени при помощи электромагнитного излучения, что важно для создания сверхбыстрых устройств магнитной и магнитооптической памяти. Все это определяет актуальность выбранной темы диссертации.

Целью диссертационной работы являлось экспериментальное и теоретическое исследование линейных и нелинейных магнитооптических эффектов, а также динамики намагниченности в одномерных магнитоплазмонных кристаллах со структурой золото/феррит-гранат при возбуждении в них поверхностных плазмон-поляритонов и волноводных мод. В работе А.Л. Чехова изучались магнитоплазмонные структуры, представляющие собой регулярную решётку элементов Au, нанесенную на

поверхность магнитного диэлектрика – феррита-граната. Исследования магнитооптических эффектов проведены как для линейного, так и нелинейного оптического отклика, изучена сверхбыстрая динамика намагниченности в таких структурах. Работа была нацелена на выявление оптического отклика структур в области резонансного возбуждения поверхностных плазмон-поляритонов и волноводных мод.

В диссертационной работе решались следующие задачи:

1. Провести исследование линейных интенсивностных магнитооптических эффектов в магнитоплазмонных кристаллах золото/феррит-гранат, полученных методом комбинированного ионно-лучевого травления.
2. Изучить основные свойства генерации второй оптической гармоники (ГВГ) при возбуждении поверхностных плазмон-поляритонов и волноводных мод в одномерных магнитоплазмонных кристаллах золото/феррит-гранат.
3. Исследовать обратный эффект Фарадея и индуцированную им динамику намагниченности в магнитоплазмонных кристаллах при возбуждении поверхностных плазмон-поляритонов.

Диссертация содержит 114 страниц, включающих 38 рисунков, 1 таблицу и 160 библиографических ссылок. По структуре диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы.

Во **введении** обосновывается выбор темы диссертационной работы и её актуальность, формулируются цели работы, приводятся выносимые на защиту положения, даны данные по апробации вошедших в диссертацию результатов, описывается структура диссертации.

В **первой главе** приводится подробный обзор литературы в областях магнитоплазмоники и оптического возбуждения динамики намагниченности. Описаны основные свойства и методы управления поверхностными плазмон-поляритонами, приведены результаты исследований оптических и магнитооптических свойств структурированных материалов, определены дисперсионные соотношения для объёмных поверхностных плазмон-поляритонов. Дается подробный теоретический анализ механизмов магнитооптических эффектов и магнитоиндуцированной генерации второй гармоники.

Во **второй главе** проводится характеристика образцов МПК и исследуются их линейные спектры пропускания и магнитного контраста. Приводятся результаты, демонстрирующие усиление магнитооптического эффекта при возбуждении резонансных оптических мод, распространяющихся в магнитной среде.

В **третьей главе** рассматривается генерация второй гармоники в МПК. Представлены подробные частотно-угловые зависимости интенсивности ГВГ, резонансные особенности в которых хорошо описываются аналитическими расчётами. Проводятся исследования поперечного нелинейного магнитооптического эффекта Керра и демонстрируется значительная зависимость нелинейного магнитного контраста от наличия возбуждения поверхностных плазмон-поляритонов на границе раздела золото/гранат. Измерения фазы второй гармоники наглядно демонстрируют фазовые модуляции электрического поля волны накачки в структуре при возбуждении плазмон-поляритона на границе раздела золото/гранат. В этой же главе описывается теоретически и демонстрируется экспериментально эффект асимметрии интенсивности поверхностной ГВГ по отношению к углу падения. Это существенно для анизотропных поверхностей с низкой симметрией. Показано, как возбуждение поверхностных плазмон-поляритонов на анизотропном интерфейсе позволяет значительно усилить данный эффект.

В **четвёртой главе** исследуется динамика намагниченности в МПК при световом возбуждении за счёт обратного эффекта Фарадея. Экспериментальные результаты, а также аналитические и численные расчёты указывают на возможность локализации области воздействия света на состояние намагниченности диэлектрика при возбуждении плазмон-поляритона на его поверхности. Результаты данной главы представляют особый интерес для развития методов оптического управления состоянием намагниченности и магнитной записи информации.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертации. Научные положения, выносимые на защиту, являются новыми и оригинальными.

Следует отметить лаконичность и последовательность представленных результатов в диссертационной работе А.Л. Чехова. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание. Полученные автором научные результаты и выводы обоснованы и значимы для широкого круга специалистов в области фотоники и плазмоники как в России, так и за рубежом. Научные положения, выносимые на защиту, а также выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, являются обоснованными, достоверными и новыми. Достоверность полученных результатов и научных положений определяется как высоким уровнем владения экспериментальных методов, так и использованием необходимых теоретических моделей, согласием экспериментальных данных с аналитическими и численными расчётами.

Несмотря на положительную в целом оценку диссертационной работы, считаю необходимым сделать некоторые замечания, а именно:

1. В диссертации уделено недостаточное внимание обсуждению микроскопических механизмов формирования линейного и нелинейного оптического отклика рассматриваемых систем – роли спин-орбитального взаимодействия в ферритах-гранатах, межзонных переходов и их относительном вкладе в оптический отклик в металле, возможные механизмы фотоупругой и магнитоупругой связи на интерфейсе металл-диэлектрик, например, на счёт возникновения спиновой поляризации свободных носителей при освещении циркулярно-поляризованным светом или просто нагревом за счёт интенсивных лазерных импульсов.
2. В обзоре литературы не процитирована важная работа по первому наблюдению усиления магнитооптического отклика поверхностными плазмонами: «Magneto-optical Effects Enhanced by Surface Plasmons in Metallic Multilayer Films», V.I. Safarov, V.A. Kosobukin, C. Hermann, G. Lampel, J. Peretti, PRL **73**, 3584 (1994).
3. В диссертации нет списка сокращений, а расшифровка часто используемого сокращения МПК (магнитоплазмонный кристалл) вообще не приводится в тексте.

4. В первом научном положении, выносимом на защиту, не отмечена величина резонансного усиления линейного интенсивностного магнитооптического эффекта в геометрии на пропускание.
5. Для моделирования распределения полей электромагнитного поля было использовано программное обеспечение Lumerical. Следовало бы подробно описать возможности этой программы, а также дать перечень входных и выходных параметров.
6. На стр. 78 сказано, что «обратный эффект Фарадея наблюдается в гиротропных средах», однако обратный эффект Фарадея разрешён по симметрии во всех средах в том числе и негиротропных.
7. В § 4.2. обсуждается динамика намагниченности в магнитоплазмонном кристалле за счёт обратного эффекта Фарадея, однако в работе L.A. Shelukhin, V.V. Pavlov, P.A. Usachev, P.Y. Shamray, R.V. Pisarev, A.M. Kalashnikova, «Ultrafast laser-induced changes of the magnetic anisotropy in a low-symmetry iron garnet film» Phys. Rev. B **97**, 014422 (2018) показано возникновение лазерно-индуцированной динамики за счёт теплового механизма изменения магнитной анизотропии.
8. Необходимо пояснить, чем обусловлено изменение фазы прецессии намагниченности, представленного на Рис. 4.8б?

Отмеченные замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы. Результаты диссертации опубликованы в высокорейтинговых международных научных журналах (Nano Letters, Optics Express, Optical Materials Express, Physical Review B), а также представлены на многочисленных российских и международных конференциях. В целом, представленная к защите диссертация выполнена на высоком научном уровне. Проведённые исследования имеют не только фундаментальное значение, но и могут представлять прикладной интерес при создании новых устройств интегральной оптики, используемых для обработки и передачи информации.

В заключение считаю, что представленная к защите диссертация Чехова Александра Леонидовича «Резонансные оптические эффекты в одномерных магнитоплазмонных кристаллах» является законченной научно-

квалификационной работой. Диссертация отвечает всем требованиям, установленным Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.21 – «Лазерная физика», а также критериям пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова. Диссертационная работа оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Несомненно автор диссертации Чехов Александр Леонидович заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник – заведующий
лабораторией «Оптических явлений в
сегнетоэлектрических и магнитных кристаллах»
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Физико-технического
института им. А.Ф. Иоффе Российской
академии наук
194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26
Тел.: +7 (812) 292 79 63
e-mail: pavlov@mail.ioffe.ru

28.04.2018



В.В. Павлов

Подпись В.В. Павлова заверяю



канс. 