

ОТЗЫВ

официального оппонента Пятакова Александра Павловича на диссертационную работу Колмычек Ирины Алексеевны «Линейные и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах и тонких магнитных пленках», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 "Оптика".

Метаматериалы и другие наноструктурированные среды позволяют не только улучшать характеристики материалов, но и создавать среды, аналогов которым нет в природе, наиболее ярким примером которых служат «левые среды» с отрицательной рефракцией. Именно таким «рационально сконструированным» материалам, позволяющим управлять параметрами светового излучения, посвящена диссертация И.А. Колмычек, в качестве же средства их исследования служит генерация второй гармоники – многообещающий метод с уникальной селективностью к поверхностям раздела сред, полярных искажений в структуре кристалла и большей, по сравнению с линейным откликом, выраженностью резонансных и магнитоиндуцированных явлений, что позволяет его использовать для комплексной диагностики структуры, морфологии, магнитного и электрического упорядочений в материалах. Таким образом, **актуальность и практическая значимость** работы И.А. Колмычек обусловлена как объектом, так и методом исследования.

Новизна диссертационной работы И.А. Колмычек состоит как в разработке оптических методов характеристики материалов и субволновых структур, так и обнаружении десятка новых явлений, связанных с взаимодействием оптического излучения с разнообразными метаматериалами: тороидных и хиральных сред, плазмонных кристаллов, гиперболических метаматериалов и метаповерхностей.

Достоверность результатов, полученных соискательницей, следует из повторяемости результатов экспериментов, согласованности результатов расчетов с данными других групп. Результаты работы обсуждались на десятке международных и всероссийских конференций, а также представлены в 38 статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах, среди которых такие авторитетные отечественные журналы как Письма в ЖЭТФ (4 публикации), ЖЭТФ, ФТТ, ФММ, среди статей в англоязычных изданиях семнадцать – в журналах первого квартиля. Текст автореферата полностью отражает основное содержание и выводы работы.

Диссертация весьма объемная, с общим количеством страниц, приближающимся к третьей сотне (293 страницы), включает 104 рисунка и 4 таблицы. Диссертация имеет классическую структуру: введение, литературный обзор по теме исследования, пять оригинальных глав, заключение, список публикаций автора по теме диссертации и список использованных источников, включающий 252 наименований.

Во введении обоснована актуальность поставленной задачи, отмечена её научная новизна, научная и практическая ценность, поставлены основная цель и задачи работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, указан личный вклад автора.

Первая глава носит обзорный характер, в ней освещены основные аспекты нелинейной оптики. Рассмотрены особенности оптического, магнитооптического и

квадратичного нелинейно-оптического отклика метаматериалов и метаповерхностей, в том числе плазмонных, хиральных структур и искусственных сред, где возможна реализация режима гиперболической дисперсии. В конце первой главы приведено описание экспериментальных схем и методик.

Во второй главе представлены результаты изучения магнитоиндуцированной второй гармоники в тонких ферромагнитных пленках. В частности, приведены результаты исследования свойств границ раздела пленок ферромагнитного металла (кобальта) и тяжелых металлов с большим значением спин-орбитальной постоянной. Показано, что наблюдаемые нечетные по намагниченности эффекты в квадратичном р-поляризованном нелинейно-оптическом отклике связаны с формированием нетривиальных магнитных состояний, характеризуемых сильным градиентом нормальной составляющей намагниченности вследствие взаимодействия Дзялошинского-Мории на интерфейсах ферромагнитного (Co) и тяжелого (Pt, Ta) металлов.

В третьей главе изложены результаты исследования ферромагнитных наноструктур, в которых реализуется неоднородное распределение намагниченности. Показано, что оптимальным для выделения тороидного вклада во вторую гармонику является использование циркулярно-поляризованного излучения накачки.

В четвертой главе приведены результаты исследования 5 типов структур, в которых возбуждаются резонансы различной природы. Проведена спектроскопия оптического, магнитооптического и нелинейно-оптического отклика при возбуждении локальных поверхностных плазмонов, решеточных резонансов и бегущих плазмон-поляритонов. Приведены также экспериментальные данные исследования структур, где реализуется возбуждение магнитодипольного резонанса. Предложена феноменологическая трактовка наблюдаемых эффектов.

Пятая глава посвящена исследованию оптических и нелинейно-оптических эффектов в хиральных двумерных (массивы золотых наноэлементов в форме запятых и в форме буквы “G”) и квазидвумерных (массивы винтообразных наноотверстий различной симметрии в серебряной пленке) наноструктур. Проанализирована роль формы мета-атома и их расположения в массиве в формировании квадратичного оптического отклика. Представлены также результаты исследований генерации второй гармоники в зеркально-симметричных пермалловых “U”-образных наноструктурах, где наблюдаются магнитоиндуцированные эффекты хиральности в нелинейнооптическом отклике.

Шестая глава основана на результатах экспериментального изучения гиперболических метаматериалов в виде массивов металлических наностержней в диэлектрической матрице. Представлены результаты расчетов и экспериментов для гигантского двулучепреломления и усиления генерации второй гармоники в спектральной окрестности близкого к нулю эффективного показателя преломления. Предложено два дизайна композитных гиперболических метаматериалов, содержащих никель, в которых наблюдается усиление магнитооптического отклика в особых дисперсионных точках.

В целом, диссертация дает представление об огромной объеме и систематичности проделанной работы. К достоинствам диссертации можно отнести обстоятельный литературный обзор, представляющий сам по себе педагогическую ценность, и фундаментальные результаты в оригинальных главах диссертации: корреляцию знака магнитооптического контраста второй гармоники со знаком константы спин-орбитального взаимодействия; обнаружение вклада тороидного момента во вторую гармонику в виде ненулевой ширины в центре петли магнитного гистерезиса второй гармоники; циркулярный дихроизм второй гармоники за счет магнитоиндуцированной хиральности в среде с зеркальной симметрией; резонансное усиление на два порядка генерации второй гармоники в гиперболических метаматериалах в области прохождения через ноль диэлектрической проницаемости (ENZ).

Конечно, при чтении диссертационной работы возникли некоторые вопросы и замечания, приведенные ниже:

- 1) В диссертации множество необщепотребительных аббревиатур, расшифровка которых может отстоять от места их использования на сотни страниц (например, ENZ расшифровывается на с.48, а используется начиная со страницы 228 и далее), поэтому для удобства читателя хорошо было бы предпослать тексту список сокращений и условных обозначений.
- 2) В литературном обзоре наноперфорированных структур говорится об активном исследовании их в последнее время, но среди ссылок всего одна работа 2019 года, остальные относятся к первому десятилетию нашего века, то же можно сказать о списке литературы к пунктам 1.5.2, 1.5.3.
- 3) с. 50: при сравнении формул (1.33) и (1.34) нет взаимного соответствия между элементами тензора (1.33) и коэффициентами в разложении (1.34).
- 4) с. 56-57 в нумерации рисунка 1.16 используются русские буквы, а в тексте – латинские.
- 5) с. 97 Формула (2.25) должна выражать вклад в нелинейную поляризацию на частоте второй гармоники, однако, судя по контексту, речь идет о статической поляризации флексомагнитоэлектрического происхождения, которой пропорциональна поляризация на частоте второй гармоники
- 6) терминологические замечания: с. 119 лучше говорить не о «кристаллографической» части восприимчивости, а «морфологической», связанной с формой, размером и расположением наночастиц; на с. 121 лучше говорить не о «симметрии тороидного момента к инверсии времени», а об антисимметрии или нечетности; в подписи к рис. 6.12 штриховые линии названы пунктирными.
- 7) В подписи к рисункам 6.10 (в,г) не указано, что означает вертикальная штриховая линия.
- 8) В тексте работы крайне немногочисленные опечатки и огрехи: с.32 «варьиваротья», с. 110 поляризации

Приведенные замечания в основном носят характер пожеланий или редакторской правки, и потому нисколько не умаляют общего положительного впечатления о диссертационной работе. По объему проделанной работы, фундаментальности и новизне результатов, разнообразию рассмотренных задач, диссертация, несомненно, относится к классу докторских.

Считаю, что диссертационная работа Колмычек Ирины Алексеевны «Линейные и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах и тонких магнитных пленках» соответствует специальности 1.3.6 "Оптика" и отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук согласно Положению о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а ее автор Колмычек Ирина Алексеевна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 "Оптика".

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры физики колебаний
физического факультета
ФГБОУ ВО Московского государственного
университета имени М.В. Ломоносова

Пятаков Александр Павлович

30.11.2022

Контактные данные:

тел.: 7(495)9394138, e-mail: pyatakov@physics.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация:

01.04.11 – Физика магнитных явлений.

Адрес места работы:

119991, г. Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, д. 1, стр. 2.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
физический факультет, кафедра физики колебаний.

Тел.: +7(495)9391682; e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись профессора кафедры физики колебаний
физического факультета

ФГБОУ ВО Московского государственного
университета имени М.В. Ломоносова

А.П. Пятакова удостоверяю

Ученый секретарь Ученого совета физ. фак-та МГУ,

д.ф.-м.н, проф. В.А. Караваев