

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук**

Фролова Александра Юрьевича

**на тему: «Сканирующая ближнеполюсная оптическая микроскопия кремниевых
наноантенн и магнитооптическая спектроскопия плазмонных наноантенн»**

по специальности 1.3.19 – «лазерная физика»

Диссертационная работа А.Ю. Фролова посвящена исследованию оптических мод высокого порядка типа Ми и Фабри-Перо в кремниевых наноантеннах методом апертурной микроскопии ближнего поля. Кроме того, а именно в Главе 4, в диссертации изложены результаты исследования магнитоиндуцированной модуляции света при возбуждении поверхностных решеточных плазмонных мод второго и третьего порядка в периодических одномерных массивах Au/Ni/Au наноантенн.

Актуальность данного исследования не вызывает сомнения. Оптическая антенна способна сконцентрировать лазерное излучение в объемы значительно меньшие, чем дифракционный предел, открывая тем самым широкий спектр их возможных практических применений, как, например, создание более эффективных солнечных батарей или создание устройств сверхплотной оптической записи информации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, и списка литературы. Общий объем работы составляет 196 страниц, включая 87 рисунков, 7 таблиц и список литературы из 182 наименований.

Во введении описана актуальность проведенного исследования, сформулированы цель, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, сформулирован личный вклад соискателя и положения, выносимые на защиту, а также приведен список опубликованных по теме диссертации работ, включая список докладов на конференциях.

В 1-й главе приведен исчерпывающий обзор литературы по теме диссертации. Дано современное представление об оптических модах в диэлектрических и плазмонных наноантеннах; показано современное состояние апертурной сканирующей ближнеполюсной оптической спектроскопии (СБОМ); проанализированы методики определения ближнеполюсного распределения оптических мод и методики магнитооптической модуляции при помощи наноантенн.

Вторая, третья и четвертая главы являются оригинальными. Во второй главе изучаются особенности СБОМ изображений кремниевых наностержней прямоугольного сечения нескольких размеров в диапазоне сотен нм. Описана методика изготовления кремниевых наностержней, приведены результаты измерений их спектров экстинкции при ТМ и ТЕ поляризации. Изложена методология и результаты численного моделирования ближнеполюсного распределения мод Фабри-Перо при возбуждении источником света с плоским фронтом и при возбуждении апертурным зондом. Введено понятие эффективной длины наностержня. Третья глава диссертационной работы посвящена применению методики апертурной СБОМ в режиме на пропускание для определения пространственного распределения мод в кремниевых наноантеннах цилиндрической и квадратной формы, а также в виде равнобедренной треугольной призмы. Проведен детальный анализ пространственной структуры возбуждаемых мод. Показано, что при возбуждении зондом

возбуждается значительно большее число мод, чем при дальнепольном возбуждении. Четвертая глава посвящена экспериментальному и численному изучению модуляции спектров коэффициента пропускания при приложении магнитного поля в магнитоплазменных кристаллах, которые представляли собой одномерный периодический массив Au/Ni/Au наноантенн в форме нанополос с трапециевидным сечением. Выполненные измерения спектрально-угловой зависимости экваториального магнитооптического эффекта Керра, показали его значительное усиление при возбуждении поверхностных решеточных мод второго и третьего порядков по сравнению с нерезонансной областью спектра.

В целом, диссертация представляет собой полноценное, профессионально выполненное научное исследование. С учетом объема проделанной работы, научной ценности полученных результатов, формы их представления, оформления рисунков и текста, диссертация производит очень хорошее впечатление. Автор серьезно и уважительно относится к научным исследованиям, не допускает непроверенных утверждений, ответственно относится как к эксперименту, так и к обработке и интерпретации полученных им экспериментальных данных.

Представленная работа является экспериментальной, в которой основным методом исследования является сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия. С экспериментальной точки зрения этот метод спектроскопии является одним из самых тяжелых в реализации, требующим высокой квалификации и мастерства экспериментатора. Это относится не только к получению экспериментальных результатов, но и к их интерпретации. В диссертации представлено большое количество СБОМ изображений распределений электрического и магнитных полей в наноантеннах различной формы. При этом, как можно судить по тексту диссертации, эксперимент проведен безукоризненно и не возникает никаких сомнений в надежности полученных экспериментальных данных.

Хочу отметить еще одну положительную и, с моей точки зрения, важную особенность выполненного исследования. Метод СБОМ является по своей сути возмущающим диагностическим методом, в связи с чем, полученные этим методом распределения световых полей, в частности, исследуемые в диссертационной работе распределения электрического и магнитного полей внутри наноантенн, могут оказаться сильно возмущенными. Но автор обошел эту трудность, включив в процесс исследования численное моделирование наноструктуры, включающей в себя как наноантенну, так и зонд. Написанные автором программы основаны на хорошо зарекомендовавшем себя коммерческом программном пакете Ansys Lumerical FDTD, реализующим метод конечных разностей во временной области. Сравнение экспериментальных результатов и результатов численного моделирования дало возможность резко повысить надежность представленных в диссертационной работе результатов.

В диссертационной работе содержится целый ряд результатов, обладающих научной новизной, о чем свидетельствует то, что они были опубликованы в высокорейтинговых журналах: Nano Letters ИФ=12,709; Nanophotonics ИФ=8,606; Physical Review B ИФ=3,808, цитируемых по WoS и Scopus.

Никаких существенных недостатков диссертационная работа не имеет. В качестве замечания можно выделить только то, что работа имеет очень большой объем. На мой взгляд, она бы выиграла при более сжатом изложении материала.

Безусловно, высказанное замечание ни коим образом не умаляет значимости и качества исследований, представленных в диссертационной работе. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.19 – «лазерная физика» (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. Диссертация оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Автореферат точно и полно отражает содержание диссертации.

Исходя из вышесказанного соискатель Фролов Александр Юрьевич безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры общей физики
и волновых процессов физического
факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
Магницкий Сергей Александрович

«10» апреля 2023 г.

Контактные данные:

тел.: _____, e-mail: : magnitskiy@nmeinc.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защита диссертация:

01.04.03 – радиофизика

Адрес места работы: 119991, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д.1

Контактные данные:

Тел.: _____; e-mail: magnitskiy@nmeinc.ru

Подпись Магницкого Сергея Александровича УДОСТОВЕРЯЮ:

Ученый секретарь Ученого совета

физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,

доктор физико-математических наук, профессор

В. А. Караваев

« _____ » апреля 2023 г.

