

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 501.001.31 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
М. В. ЛОМОНОСОВА» (ФГБОУ ВО «МГУ имени М. В. Ломоносова»)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 20 апреля 2017 г., протокол № 33

О присуждении гражданину Российской Федерации

АФИНОГЕНОВУ Борису Игоревичу

ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Фемтосекундная и нелинейно-оптическая спектроскопия фотонных кристаллов в присутствии таммовских плазмон-поляритонов» по специальности 01.04.21 – лазерная физика в виде рукописи принята к защите 19 января 2017 г., протокол №1пр. диссертационным советом Д 501.001.31 на базе ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова», Правительство РФ, 119991, Москва ГСП-1, Ленинские горы, д.1, созданным согласно приказу ВАК Министерства образования Российской Федерации №1925-907 от 08.09.2009, состав совета утвержден приказом 840/нк от 06.07.2016.

Соискатель Афиногенов Борис Игоревич 1991 года рождения в 2013 году окончил физический факультет ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова», в 2017 году окончил очную аспирантуру физического факультета ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова». В настоящее время не работает.

Диссертация выполнена на кафедре квантовой электроники физического факультета ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова», Правительство РФ.

Научный руководитель – Федянин Андрей Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры квантовой электроники физического факультета ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова», Правительство РФ.

Официальные оппоненты:

Мерзликин Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук (ИТПЭ РАН), Лаборатория №1 – теоретической электродинамики конденсированного состояния, ведущий научный сотрудник, Москва;

Иорш Иван Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет

информационных технологий, механики и оптики, Кафедра нанофотоники и наноматериалов, доцент, Санкт-Петербург;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, – в своем положительном заключении, подписанном доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН, председателем учёного совета ОФТТ ФИАН **Сибельдиным Николаем Николаевичем**, и утверждённом доктором физико-математических наук, заместителем директора по научной работе **Савиновым Сергеем Юрьевичем**, указала, что диссертация Афиногенова Б. И. удовлетворяет требованиям ВАК РФ, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ по теме диссертации, из них 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, включённых ВАК России в список изданий, рекомендуемых для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации, авторский вклад Афиногенова Б. И. в которые является определяющим:

[1] Afinogenov B. I., Popkova A. A., Bessonov V. O., Fedyanin A. A. Measurements of the femtosecond relaxation dynamics of Tamm plasmon-polaritons // Appl. Phys. Lett. — 2016. — т. 109, № 17. — с. 171107.

В статье приводятся экспериментальные данные о преобразовании фемтосекундных лазерных импульсов при отражении от структуры одномерный фотонный кристалл/металлическая плёнка при условии возбуждения таммовского плазмон-поляритона для различных углов падения и поляризации лазерных импульсов. Экспериментальные данные получены при непосредственном участии соискателя. Данные численного расчёта получены соискателем лично. Текст статьи написан лично соискателем.

[2] Afinogenov B. I., Popkova A. A., Bessonov V. O., Fedyanin A. A. Optical harmonics generation in metal/dielectric heterostructures in the presence of Tamm plasmon-polaritons // Proc. SPIE — 2016. — т. 9756 — с. 975611.

В работе приведены экспериментальные результаты исследования усиления генерации второй оптической гармоники, а также результаты численных расчётов усиления генерации третьей оптической гармоники в системе одномерный фотонный кристалл/металлическая плёнка при возбуждении в ней таммовского плазмон-поляритона. Экспериментальные данные получены лично соискателем или при его непосредственном участии. Данные численного расчёта получены соискателем лично. Текст статьи написан лично соискателем.

[3] Afinogenov B. I., Bessonov V. O., Fedyanin A. A. Second-harmonic generation enhancement in the presence of Tamm plasmon-polaritons // Opt. Lett. — 2014. — т. 39, № 24. — с. 6895.

В работе приведены экспериментальные результаты исследования усиления генерации второй оптической гармоники в системе одномерный фотонный кристалл/металлическая плёнка при возбуждении в ней таммовского плазмон-поляритона для различных углов падения излучения и для различных комбинаций поляризаций излучения накачки и второй оптической гармоники. Экспериментальные данные и данные численного расчёта получены лично соискателем. Текст статьи написан лично соискателем.

[4] Afinogenov B. I., Bessonov V. O., Nikulin A. A., Fedyanin A. A. Observation of hybrid state of Tamm and surface plasmon-polaritons in one-dimensional photonic crystals // Appl. Phys. Lett. — 2013. — т. 103, №6. — с. 061112.

В статье приводятся результаты экспериментального наблюдения гибридного состояния таммовского и поверхностного плазмон-поляритонов методом частотно-угловой спектроскопии коэффициента отражения. Экспериментальные данные и данные численного расчёта получены лично соискателем. Текст статьи написан лично соискателем.

На диссертацию поступили отзывы:

От официального оппонента **Мерзликина А. М.** положительный, основные замечания:

1. В диссертации не приведено исследование шероховатости поверхностей полученных слоистых структур. В частности, не исследована сплошность пленки золота или серебра толщиной 30 нм, хотя на фотографии образца серии 2 с нанесенной пленкой металла (см. Рис. 2.1 (г)) видны явные неоднородности напыления. Необходимо отметить, что в полунепрерывных пленках серебра или золота наблюдаются гигантские флуктуации электромагнитного поля, являющиеся причиной поверхностного усиления комбинационного рассеяния (SERS), а также усиления нелинейных эффектов, в том числе генерации гармоник. Кроме того, наноразмерные шероховатости увеличивают область, в которой нарушается симметрия кристаллической решетки металла, и таким образом увеличивают область, в которой происходит генерация второй гармоники.

2. При исследовании гибридных состояний (Таммовское оптическое состояние – поверхностный плазмон) проведено тщательное исследование дисперсионных особенностей, однако не выяснены особенности самих состояний, в частности длины пробега гибридных мод. В то же время, известно, что за счет гибридизации поверхностных плазмонов, локализованных на разных границах слоя металла (находящегося в одинаковом окружении), возможно формирование далеко распространяющегося плазмона.

От официального оппонента **Иорша И. В.** положительный, основные замечания:

1. На мой взгляд, во вступительной части работы можно бы было уделить больше внимания тому, чтобы указать в чем отличия (преимущества/недостатки) систем,

поддерживающих Таммовские плазмон-поляритоны по сравнению с плазмонными наноструктурами или микрорезонаторами с точки зрения их нелинейных оптических свойств.

2. На мой взгляд, разделение причин усиления генерации второй гармоники на обусловленные эффектом Парселла и усилением локального поля является несколько искусственно в случае пространственно-распределенных источников сигнала второй гармоники (объемного нелинейного кристалла). В этом случае, оба эффекта являются взаимосвязанными и трудно разделимыми. Учет обоих эффектов в этом случае правильней проводить в рамках формализма функций Грина.

От **ведущей организации** положительный, основные замечания:

- О влиянии рассеяния излучения на дефектах структуры на время жизни таммовского плазмон-поляритона;
- Об учёте нелинейности приповерхностных слоёв диэлектриков при проведении численных расчётов.

На автореферат диссертации поступили отзывы:

От **Мелентьева Павла Николаевича**, кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Института спектроскопии Российской академии наук, положительный, основные замечания:

1. В диссертационной работе не в полной мере рассмотрена практическая значимость структур типа «одномерный фотонный кристалл – металлическая наноплёнка. Так, в работе нет ссылок на возможности использования такого типа структур для создания планарных оптических диодов (Phys. Rev. A **92**, 063842, 2015), сенсоров (Phys. Rev. Lett. **97**, 253904, 2006), нано/фемто локализованных источников когерентного излучения (Phys. Rev. A **88**, 023832, 2013).

2. Несмотря на то, что в диссертационной работе приведена методика, используемая для численного моделирования, детали выполненных расчётов не представлены в полной мере, что затрудняет проверку полученных автором данных. Было бы полезно подробнее описать процедуру расчётов, с указанием их точности и степени совпадения с экспериментальными данными.

3. В работе не представлен анализ возможного улучшения добротности реализуемых в экспериментальных образцах резонансов. Такой анализ имеет большой смысл, так как на первый взгляд, реализованная автором диссертационной работы схема экспериментальных образцов имеет большой потенциал для возможностей её улучшения.

От **Ветрова Степана Яковлевича**, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника и **Тимофеева Ивана Владимировича**, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Института физики им. Л. В. Киренского СО РАН, положительный, основные замечания:

1. На стр. 4 автореферата, строка 5 сверху, написано: "для возбуждения данных состояний не требуется выполнения условий синхронизма тангенциальных компонент

волновых векторов." Однако использованный автором метод матриц переноса строится как раз на равенстве этих тангенциальных компонент.

2. Из текста автореферата не ясно, что понимается под "волноводными модами ФК" на страницах 16 и 18.

От **Калинушкина Виктора Петровича**, кандидата физико-математических наук, заведующего лабораторией кристаллических лазеров среднего ИК диапазона Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН, положительный, основное замечание о недостаточном исследовании вопроса о максимизации коэффициента преобразования в третью гармонику.

От **Мишиной Елены Дмитриевны**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующей лабораторией «Фемтосекундная оптика для нанотехнологий» кафедры наноэлектроники физико-технологического института Московского технологического университета, положительный, основные замечания:

1. Словосочетание «модифицирование параметров фемтосекундных лазерных импульсов» представляется более уместным, чем используемое соискателем (в том числе в разделе «Защищаемые положения») словосочетание «модифицирование фемтосекундных лазерных импульсов».

2. На графике рис. 4 начальный момент возрастания транзиентного коэффициента отражения совпадает с максимумом кросс-корреляционной функции. Вместе с тем изменение коэффициента отражения может начинаться как с началом импульса, так и при некоторой задержке, однако фиксирование начала изменения коэффициента отражения только при достижении максимума амплитуды фемтосекундного импульса представляется необоснованным.

От **Дьякова Сергея Александровича**, кандидата физико-математических наук, научного сотрудника Сколковского института науки и технологий, положительный.

От **Прилепского Бориса Викторовича**, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника АО «Швабе-исследования», положительный.

От **Барановой Ирины Михайловны**, кандидата физико-математических наук, доцента и **Евтюхова Константина Николаевича**, кандидата физико-математических наук, доцента Брянского государственного инженерно-технологического университета, положительный.

Во всех отзывах подчеркивается ясность изложения представленной работы, высокий научный и методический уровень выполнения, большой объем исследований, большое число новых экспериментальных результатов и выводов, хорошую аргументацию и обоснованность научных результатов и положений.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован их высокой квалификацией в области науки, связанной с отраженными в диссертационной работе исследованиями. В ведущей организации ФИАН проводятся наиболее передовые исследования в области физики возбуждения локализованных оптических состояний, результаты которых публикуются в высокорейтинговых научных журналах. Официальные оппоненты Мерзликин А. М. и Иорш И. В. являются признанными

специалистами в областях исследований, близких к теме диссертационной работы, что подтверждается наличием десятков научных публикаций и многолетним опытом работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **Реализован** способ управления формой фемтосекундных лазерных импульсов при помощи структур одномерный фотонный кристалл/полупрозрачная металлическая плёнка.
- **Осуществлена** модуляция коэффициента отражения структур фотонный кристалл/металл с временем переключения 200 фс и с амплитудой 0.1% за счёт спектрального сдвига резонансного контура таммовского плазмон-поляритона.
- **Доказана** возможность усиления эффективности генерации второй оптической гармоники в 170 раз и третьей оптической гармоники в $6 \cdot 10^4$ раз в системах фотонный кристалл/металл при условии возбуждения таммовских плазмон-поляритонов на частотах излучений накачки и оптических гармоник.
- **Продемонстрированы** возможность управления дисперсионным законом поверхностного плазмон-поляритона и сдвиг дисперсионного закона на 80 нм в длинноволновую область спектра путём возбуждения гибридного состояния таммовского и поверхностного плазмон-поляритонов.

Теоретическая значимость работы состоит в определении механизмов генерации второй и третьей оптических гармоник в наноструктурах, состоящих из слоёв centrosymmetric материалов. Согласие экспериментальных и расчётных данных позволяет говорить о правильном определении источников нелинейности в подобных структурах. Также в диссертационной работе приводятся результаты численного расчёта дисперсионного закона гибридного состояния таммовского и поверхностного плазмон-поляритонов методом матриц распространения. Полученные данные вносят вклад в расширение представлений о свойствах данного гибридного состояния.

Практическая значимость подтверждается тем, что в работе предложены методы управления фемтосекундными лазерными импульсами с помощью структур одномерный фотонный кристалл/полупрозрачная металлическая плёнка. Подобные структуры изготавливаются методом послойного магнетронного или термического напыления из диэлектрических материалов и обладают совместимостью с текущими телекоммуникационными системами. Предложенный и реализованный способ управления дисперсионной кривой поверхностного плазмон-поляритона важен для расширения области применения существующих сенсоров, основанных на эффекте плазмонного резонанса.

Достоверность результатов исследования обусловлена использованием сертифицированного оборудования, проведением ряда тестовых и калибровочных экспериментов, а также путем сравнения полученных данных с литературными источниками. **Продемонстрирована** воспроизводимость полученных экспериментальных результатов при исследовании различных образцов на разных

экспериментальных установках. Полученные экспериментальные результаты хорошо описываются в рамках построенных аналитических моделей.

Личный вклад соискателя является определяющим и состоит в проведении основной части экспериментальных исследований, разработке и создании экспериментальных установок, обработке, представлении и интерпретации результатов, в построении аналитических моделей, а также подготовке публикаций по выполненной работе.

На заседании 20 апреля 2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Б. И. Афиногенову ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.21, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 17, против присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,
доктор физико-математических наук, профессор

А. В. Андреев

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук, доцент

А. А. Коновко

20 апреля 2017 г.

