

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Б. И. Афиногенова
«Фемтосекундная и нелинейно-оптическая спектроскопия фотонных кристаллов в
присутствии таммовских плазмон-поляритонов», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности

01.04.21 - лазерная физика

Диссертационная работа Б.И. Афиногенова посвящена одному из актуальных направлений современной фотоники – исследованию оптических свойств локализованных состояний электромагнитного поля. В работе изучаются таммовские плазмон-поляритоны (ТПП) – поверхностные моды электромагнитного поля, возникающие на границе раздела периодической диэлектрической структуры и среды с отрицательной диэлектрической проницаемостью. Особое внимание уделено исследованию нелинейно-оптического отклика наноструктур, поддерживающих возбуждение ТПП, изучению временной динамики релаксации ТПП, а также наблюдению гибридного состояния ТПП и поверхностного плазмона.

Диссертация изложена на 142 страницах, состоит из Введения, обзора литературы, трёх оригинальных глав, Заключения, списка литературы и Приложения. Материал изложен на страницах 1 – 125 и 140 – 142, а список литературы содержит 119 ссылок.

Во Введении описана актуальность работы и сформулированы причины выбора темы исследования. Приводится общая характеристика, информация о научной новизне и практической значимости результатов, полученных в ходе выполнения работы. В конце Введения приведён список положений, выносимых на защиту с указанием авторского вклада, а также информация об апробации работы.

В первой главе приведён обзор литературы по теме диссертации. Обзор написан детально и подробно и содержит информацию о ТПП и их оптических свойствах, а также о свойствах гибридных состояний ТПП. Значительная часть Главы I посвящена обзору методик, использованных автором в рамках выполнения исследований: кросс-корреляционная методика измерения длительности лазерных импульсов, методика «накачка-зонд», методика нелинейно-оптической спектроскопии наноструктур.

Глава II содержит оригинальные результаты по исследованию временной динамики возбуждения и релаксации ТПП. Кроме того, дана информация об образцах, исследуемых в работе, и о результатах стационарной спектроскопии коэффициентов отражения и пропускания данных образцов. Время релаксации ТПП исследовалось с использованием

методики измерения кросс-корреляционных функций лазерных импульсов, отражённых от образцов. Автором показано, что при перекрытии спектра фемтосекундного импульса и резонансного контура ТПП возникает удлинение заднего фронта импульса, отражённого от образца. Данное удлинение связывается с запаздывающим переизлучением из моды ТПП, то есть из анализа формы заднего фронта можно восстановить время жизни ТПП. Показано, что время жизни зависит от угла падения и поляризации излучения, а также от величины поглощения в металлическом слое образца. С помощью метода «накачка-зонд» было исследовано влияние возбуждения ТПП на изменение коэффициента отражения образца. Методика позволила провести времяразрешающую спектроскопию относительного изменения коэффициента отражения. Было показано, что возбуждение ТПП приводит к увеличению модуляции коэффициента отражения системы фотонный кристалл – металл по сравнению с плёнкой металла.

В Главе III приведены результаты спектроскопии интенсивности второй и третьей оптических гармоник, генерированной в образцах. Автором исследовалась геометрия пропускания и различные комбинации поляризаций излучения накачки и оптической гармоники. Показано, что в окрестности резонанса ТПП (при частотной или угловой перестройке) наблюдается усиление генерации оптических гармоник, связанное с увеличением локальных электромагнитных полей в нелинейных областях образца. Было рассмотрено три случая, первый из которых соответствует локализации электромагнитного поля излучения накачки, второй – локализации электромагнитного поля оптической гармоники, а третий – комбинации двух вышеуказанных.

Глава IV посвящена обнаружению гибридного состояния ТПП и поверхностного плазмона (ПП) и исследованию его оптических свойств. Автором было продемонстрировано, что при углах падения излучения на образец, превышающих угол полного внутреннего отражения, возможно возбуждение гибридного состояния ТПП и ПП. Данное состояние возникает только для *p*-поляризованного падающего излучения (что связано с невозможностью возбуждения ПП в *s*-поляризации) и характеризуется расталкиванием дисперсионных кривых ТПП и ПП: дисперсионная кривая ТПП смещается в коротковолновую область, ПП – в длинноволновую область.

В каждой главе автор приводит подробные схемы экспериментальных установок и их детальные описания, что показывает хорошее знание Б.И. Афиногеновым методики эксперимента и принципов работы оборудования. Кроме того, для сравнения с экспериментальными результатами приводятся численные расчёты методами матриц распространения и конечных разностей во временной области.

Достоверность результатов работы подтверждается использованием современного точного оборудования, использованием схем по уменьшению влияния внешнего воздействия, таких как синхронное детектирование, а также автоматизацией экспериментальных установок. Кроме того, совпадение результатов численных расчётов и экспериментальных данных подтверждает правильность интерпретации наблюдаемых эффектов.

Актуальность работы не вызывает сомнения. Изучение оптических свойств поверхностных состояний электромагнитного поля важно в контексте создания новых устройств оптической обработки информации. Структуры, поддерживающие возбуждение ТПП, просты в изготовлении и могут быть интегрированы в существующие телекоммуникационные схемы.

Характеризуя работу в целом, следует отметить её высокий научный и методический уровень выполнения, большой объем исследований, большое число новых экспериментальных результатов и выводов. Оформление диссертации в целом не вызывает претензий, содержание изложено в четком и ясном стиле. Научные положения и результаты хорошо аргументированы и обоснованы. Научная новизна и достоверность результатов не вызывают сомнений. Вклад автора является определяющим на всех этапах работы.

По диссертационной работе имеются следующие 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.

Кроме того в диссертации есть ряд опечаток и неточностей, в частности:

1. На стр. 15 Б.И. Афиногенов пишет «одномерный фотонный кристалл можно рассматривать как метасреду с эффективной магнитной или диэлектрической проницаемостью», то есть одномерный кристалл можно представить как однородную среду с эффективными параметрами, а с другой стороны на стр. 27 диссертант отмечает, что при прохождении через фотонный кристалл наблюдается значительное уширение импульса, связанное с многократным рассеянием импульса на границах раздела слоев образца, то есть среда является существенно неоднородной.
2. В формуле (2.7) на стр. 65 при сравнении расчета и эксперимента в формулу для кросскорреляционной функции введена дополнительная константа, физический смысл которой не раскрыт. Кроме того, в этой формуле интенсивность заменена на квадрат электрического поля. Обоснование корректности такой замены также не приведено.
3. Не обоснованно использование метода конечных разностей (программы Lumerical), при учете того, что до и после этого диссертант успешно использовал метод матриц переноса. Осталось не ясным, почему метод матриц переноса не был применен для расчета временной динамики распространения световых пакетов.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки работы Б.И. Афиногенова. Научные результаты и выводы диссертации детально обоснованы. Достоверность и новизна научных положений не вызывает сомнения. В тексте диссертации автор явно выделяет его личный вклад в получении научных результатов. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих зарубежных журналах и неоднократно докладывались на международных конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

На основании вышесказанного считаю, что диссертация Б.И. Афиногенова является оригинальным научным трудом, результаты которого имеют как научное, так и практическое значение. Диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК России для диссертаций, представляемых на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика, а ее автор, Борис

Игоревич Афиногенов, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

доктор физ.-мат. наук

9 марта 2017 г.

А.М. Мерзликин

Мерзликин Александр Михайлович,

ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук (ИТПЭ РАН),

125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13

тел. +7(495)4858355

e-mail: merzlikin_a@mail.ru

Подпись А.М. Мерзликина заверяю

кандидат физ.-мат. наук,

Ученый секретарь ИТПЭ РАН



А.Т. Кунавин