

ОТЗЫВ

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

Гулькина Дмитрия Николаевича

**на тему: «Микроскопия резонансных оптических состояний в фотонных
кристаллах и полупроводниковых метаповерхностях»**

по специальности 1.3.19 – «лазерная физика»

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа посвящена Гулькина Д.Н. посвящена экспериментальному обнаружению эффектов в одномерных фотонных кристаллах (ФК) и полупроводниковых метаповерхностях, таких как направленное возбуждение блоховских поверхностных волн (БПВ) в ФК с помощью кремниевых наночастиц с резонансами типа Ми, распространение волноводных мод БПВ в полимерных волноводах на поверхности ФК. **Актуальность** темы диссертации обусловлена высоким интересом к разработке различных элементов оптических интегральных схем, способствующих решению фундаментальных и прикладных задач по созданию альтернативы существующим электронным платформам.

Текст диссертационной работы состоит из введения, четырёх глав, заключения и библиографического списка. Работа представляет законченное, связное исследование, логично структурирована и написана понятным языком. Объём работы составляет 178 страниц; работа содержит 101 рисунок. Библиография включает 202 наименования на 16 страницах. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации и соответствует тексту диссертации.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается тем, что они были получены на современном оборудовании при автоматизированных и воспроизводимых измерениях и находятся в согласии с расчётами. Результаты диссертации широко представлены на

международных конференциях и в 9 статьях, индексируемых базами данных Web of Science, Scopus и RSCI.

Структура и содержание диссертации

Диссертация Д.Н. Гулькина состоит из введения и четырех глав, заключения и приложений. Библиографический список включает 202 наименования, он подобрал в себя основополагающие классические и современные работы по теме диссертации. Текст диссертации изложен на 178 страницах, постановка задач и результаты сопровождаются профессионально выполненными иллюстрациями и графиками.

Во введении обоснована актуальность работы, изложены цели и задачи исследования, описана научная новизна диссертационной работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, и приведён список публикаций автора по теме работы.

В первой главе приведён обзор литературы по теме диссертации. Подробно описан принцип микроскопии задней фокальной плоскости для исследования изучаемых в работе явлений. Приведены основы формирования резонансов типа Ми, обзору литературы, касающейся блоховских поверхностных волн и их применений, а также да обзор различных типов метаповерхностей. Также приведены краткий обзоры методов изготовления используемых в работе микроструктур и подробно описан

Во второй главе продемонстрировано направленное возбуждение блоховских поверхностных волн на поверхности одномерного фотонного кристалла с помощью одиночной кремниевой наночастицы субволнового размера. В начале главы подробно описана экспериментальная методика обнаружения и изучения резонансных оптических состояний в субволновых объектах, изучаемых в работе. Показана возможность спектрально-селективного возбуждения БПВ в прямом и обратном направлениях при наклонном падении излучения. Показана возможность использования

субволновой наночастицы с резонансами типа Ми в качестве демультимплексора, переключающего направления распространения БПВ в пределах спектрального диапазона 30 нм с преимущественно прямого на длине волны 750 нм на преимущественно обратное на длине волны 720 нм.

В третьей главе подробно описано применение метода оптической микроскопии утечки излучения для характеристики модового состава блоховских поверхностных волн в волноводных структурах на поверхности одномерного фотонного кристалла. Рассмотрены основные принципы работы волноводных структур и способа визуализации распространяющихся в них блоховских поверхностных волн в задней фокальной плоскости собирающего объектива. Изучен модовый состав волноводов с высотой от 170 нм до 215 нм и шириной от 1.4 мкм до 2 мкм. Визуализирована многомодовая интерференция мод TE₀₀-TE₀₆ в разветвителях с высотой 215 нм и шириной до 4.4 мкм.

В четвёртой главе изучается субпикосекундная полностью оптическая модуляция интенсивности света, рассеянного на полупроводниковой метаповерхности в направлении дифракционных порядков. Показано, что метаповерхность из олигомеров ми-резонансных частиц арсенида галлия позволяет реализовать полностью оптическое управление интенсивностью света дифракционных максимумов на субпикосекундных временах. Продемонстрирована оптически индуцированная модуляция интенсивности дифракционных максимумов, относительная величина которой в минус первом порядке достигает 15% при плотности энергии накачки 4.5 мкДж/см²

В заключении четко сформулированы основные результаты диссертационного исследования.

Анализ диссертационной работы и публикации автора по теме исследования свидетельствуют об **обоснованности защищаемых научных положений**, выносимых автором на защиту. Результаты получены

экспериментально. Проведены подтверждающие расчеты и предложено применение подобных фотонных структур. Результаты обладают **научной новизной**.

Практическая значимость работы

На основе современных методов нанофотоники, включая микроскопию в задней фокальной плоскости, проведено последовательное экспериментальное исследование распространения блоховских поверхностных волн в диэлектрических фотонных структурах. Научная и практическая значимость полученных результатов обусловлена возможностью создания новых волноведущих, резонаторных и фокусирующих устройств на основе фотонных интегральных схем.

Замечания по диссертационной работе:

Следует отметить высокое качество представленной диссертационной работы, в которой приведен детальный анализ экспериментальных методик, технологических решений и обзор исследований в области тематики работы. Диссертацию интересно и познавательно читать и стоит отдельно отметить уровень проработки графических материалов и рисунков. В работе присутствует всего несколько незначительных опечаток, которые совершенно не препятствуют чтению работы.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

- На странице 37 представлено обсуждения эффектов излучательной и безызлучательной рекомбинации в **квантовых ямах**, которые не имеют никакого отношения к теме диссертационной работы. По-видимому, речь идет о механизмах рекомбинации в объемном полупроводниковом материале.
- На рис. II.5 не очень удачно выбрана цветовая шкала, что затрудняет определение и сравнение теоретических и экспериментальных величин коэффициентов отражения. Возможно стоит представить сечения карты

коэффициента отражения при различных значениях угла падения.

- На рис. II.6 представлены значения размеров наночастиц, однако стоит непосредственно указать на основе какой из методик эти значения были определены
- В работе лишь косвенно обсуждается влияние возбуждения объемных волноводных мод на интенсивность сигнала рассеяния. Возможно, стоит привести значения интенсивности БПВ и волноводной моды, представленных на рис. II.13
- В работе не обсуждается вклад БПВ с ТМ поляризацией на эффект направленного рассеяния.
- В главе III обсуждается динамика носителей зарядов, образующихся под воздействие сверхкоротких оптических импульсов, и их влияние на динамический отклик диэлектрической проницаемости. Хотелось бы увидеть комментарии о влиянии остальных динамических эффектов, обсуждаемых в вводной части (эффект заполнения зон, эффектов Бурштейна-Мосса и т.д.), кроме друдевской проницаемости материала
- В работе не приведены характерные величины модуляции параметров диэлектрической проницаемости при оптической накачке
- Из работы не очень понятно, изменяется ли характерное время релаксации оптического отклика от интенсивности накачки.

Приведенные замечания и комментарии не влияют на положительную оценку выполненной работы и не ставят под сомнение основные выводы диссертации.

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, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6

Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Гулькин Дмитрий Николаевич безусловно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,

доцент,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования «Национальный исследовательский университет

ИТМО», физический факультет

Петров Михаил Игоревич

«13» 04 2023г.

Контактные данные:

Тел.: . E-mail: m.petrov@metalab.ifmo.ru

Степень и шифр специальности, по которой официальным оппонентом была защищена диссертация:

01.04.07 – физика конденсированного состояния

Адрес места работы:

197101, Российская Федерация, Кронверкский пр., д.49, лит. А, Санкт-Петербург, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», физический факультет

Подпись официального оппонента
Петрова Михаила Игоревича удостоверяю:

«13» 04 2023 г.