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»

Диссертационная работа Гулькина Д.Н. посвящена исследованию распространения оптического сигнала при взаимодействии с одномерными фотонными кристаллами и субволновыми структурами. Рассматриваются эффекты полностью оптического управления параметрами такого распространения. Изучение рассматриваемых эффектов реализуется с помощью оптической микроскопии с одновременной визуализацией распространения света в координатном пространстве и в пространстве волновых векторов. **Актуальность** работы обусловлена запросом современных технологий на разработку элементов оптических интегральных схем, требующих управления оптическими сигналами, в частности, на основе резонансных оптических состояний.

Текст диссертационной работы состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Общий объём работы составляет 178 страниц, включая 101 рисунок и 5 таблиц. Список литературы насчитывает 202 наименования на 16 страницах. Работа написана логично и доказательно, все поставленные задачи выполнены. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Во **Введении** представлен краткий обзор современного состояния

исследований по теме диссертации, обоснована актуальность темы диссертационного исследования, изложены цель и задачи, а также методология диссертационного исследования, приведены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, степень достоверности и апробация результатов, сформулированы защищаемые положения.

Первая глава содержит обзор литературы, касающийся резонансов типа Ми и блоховских поверхностных волн (БПВ). Приведены основные закономерности рассеяния типа Ми и дисперсии БПВ. Подробно описана теория анализа диаграмм рассеяния с помощью задней фокальной плоскости. Также приведён краткий обзор активных и пассивных метаповерхностей.

Вторая глава посвящена исследованию эффекта возбуждения блоховских волн на поверхности одномерного фотонного кристалла с помощью расположенной на нём кремниевой частицы с резонансами типа Ми. В начале главы приводится схема экспериментальной установки оптической микроскопии утечки излучения, используемой для исследования структур и управления блоховскими поверхностными волнами. Исследуются моды блоховских поверхностных волн и волноводных мод фотонного кристалла. Показано, что кремниевые частицы позволяют возбуждать блоховские поверхностные волны, направление которых определяется взаимным расположением спектров Ми-резонанса частицы и волны возбуждения.

Третья глава посвящена экспериментальному наблюдению эффектов распространения БПВ в полимерных волноводах на поверхности одномерного фотонного кристалла, а также изучению их модового состава. Исследованы особенности распространения и способы визуализации таких волн в полимерных волноводах. Показано, что метод оптической микроскопии утечки излучения позволяет визуализировать и определять модовый состав и характеристики БПВ в волноводных структурах на поверхности одномерных фотонных кристаллов.

Четвертая глава посвящена экспериментальному исследованию в

метаповерхностях, построенных из олигомеров Ми-резонансных частиц арсенида галлия, сверхбыстрой модуляции интенсивности света в дифракционных порядках при воздействии лазерного излучения накачки. Впервые показано субпикосекундное полностью оптическое управление дифракцией света на таких метаповерхностях. Показано, что эффект модуляции происходит вследствие оптически индуцированного и неравномерного изменения показателя преломления разных частиц, составляющих метаповерхность, и соответствующего изменения диаграммы рассеяния метаповерхностью.

Заключение отражает основные результаты диссертационного исследования.

Сформулированные в диссертации положения и выводы полностью обоснованы и достоверны. Результаты экспериментальных исследований были получены на современном оборудовании, воспроизводимы и находятся в согласии с расчетами. Результаты диссертации апробированы на 16 профильных российских и международных конференциях и опубликованы в 9 статьях в ведущих научных журналах, индексируемых базами данных Web of Science, Scopus и RSCI.

В рамках диссертации получены результаты, обладающие **научной новизной**. Впервые экспериментально показана возможность направленного возбуждения блоховской поверхностной волны с помощью кремниевой субволновой частицы, напечатанной на поверхности фотонного кристалла. Впервые продемонстрирована работа такой частицы в качестве субволнового оптического демультиплексора в видимом и ближнем инфракрасном спектральных диапазонах. Показано применение метода микроскопии утечки излучения для исследования модового состава волноводов для блоховских поверхностных волн. Впервые показана субпикосекундная полностью оптическая модуляция интенсивности света в метаповерхности, образованной ми-резонансными полупроводниковыми наночастицами. Кроме того, реализован экспериментальный метод, объединивший методики

спектроскопии «накачка-зонд» и микроскопии задней фокальной плоскости для удобной визуализации и фильтрации распространения света в координатном пространстве и в пространстве волновых векторов.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. В главе 4 при рассмотрении электро-дипольного и магнито-дипольного резонансов в частицах отсутствует информация о том, учитывалось ли диполь-дипольное взаимодействие между частицами, формирующими метаповерхности, и если учитывалось, то как? Было бы полезно представить в диссертации изображения распределения полей в частицах, в зависимости от размера частицы и расстояния между ними, аналогично тому, как это было представлено в работах Zywietz [50], Shcherbakov [60], Fang [10.3390/app8010060] и др. в условиях статики и динамики.
2. В главе 4 приведена таблица сравнения исследуемых в диссертационной работе метаповерхностей с известными из литературы аналогами, работающими в видимом и ближнем ИК диапазонах. Таблица представляется малоинформативной, поскольку в ней сравнивается численно только плотность мощности воздействующего на структуры лазерного излучения, используемого для управления перекачкой энергии в дифракционные максимумы. Более важным параметром представляется как раз доля перекачиваемой энергии в тех структурах, где наблюдается дифракция (ссылка [87] в диссертации) или другие численные параметры для структур, в которых дифракция не наблюдается (ссылки [60,201,202] в диссертации).
3. При использовании функции сглаживания экспериментальных данных (стр. 98-99) необходимо указывать метод сглаживания, а также количество точек, по которым оно производится.
4. Замечания по терминологии: в главе 2 использование термина «переключение направления БПВ» представляется неоправданным, поскольку рассеяние вперед и назад осуществляется для разных длин волн. Более оправданным, на мой взгляд, является использование выражения «пространственно - частотное перераспределение интенсивности света».

Надо отметить, что для работы рассматриваемого в диссертации оптического демультиплексора такое перераспределение как раз и является требуемой функцией, если информация передается длиной волны используемого излучения.

5. Очень много замечаний к тексту, в котором интенсивно используется «калька» с английского языка, встречается большое количество стилистических, пунктуационных и прочих ошибок. В качестве примеров можно привести: на стр. 55 «… классификация…рассмотрены…»; на стр 57. «…волновой вектор k волны складывается из … проекции…и …члена….», на стр 58. «Преимуществами …заключаются…»; на стр. 151 «…значение флюенса …зафиксировано как 4.5 мкДж/см2», там же через 2 строки «при значении флюенса, фиксировавшимся как 4.5 мкДж/см2», на стр. 152 «… флюенсе излучения накачки, равном 4.5 мкДж/см2», в подписи к рисунку «…и флюенсе 4.5мкДж/см2..» (то есть очень близкие по смыслу выражения встречаются 4 раза на 20 строках); на стр. 153 «…волна света…»; на стр. 140 «…в десять раз была выше…», там же «…излучение в канала зонда…», там же «Величина расстояния…», там же «…для упрощения записи будет писаться…».

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

Заключение

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода, и оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. 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.

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

Официальный оппонент:
доктор физико-математических наук,
профессор,
заведующий лабораторией,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет», институт перспективных технологий и индустриального программирования, кафедра наноэлектроники.

Мишина Елена Дмитриевна

«11» апреля 2023г.

Контактные данные:
Тел.: +7 (495) 215-65-65. E-mail:

Степень и шифр специальности, по которой официальным оппонентом была защищена диссертация:
05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нано-электроника, приборы на квантовых эффектах

Адрес места работы:
119454, Российская Федерация, г. Москва, проспект Вернадского, дом 78,
ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет»