

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

чл.-корр. РАН, профессор,

С.А. Никитов

М.П.



«19» мая 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Мерзлика А.М. «Мезоскопические эффекты когерентного распространения и локализации поляризованных электромагнитных волн в фотонных кристаллах и неупорядоченных слоистых средах», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности: 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки.

Работа посвящена исследованию особенностей распространения и локализации поляризованных электромагнитных волн в неоднородных средах. Акцент сделан на изучении мезоскопических эффектов, таких как формирование запрещенных зон, поверхностных состояний и андерсоновской локализации света.

Актуальность темы.

Благодаря аналогии с квантовой теорией твердого тела в электродинамике неоднородных сред возникли такие понятия, как запрещенные зоны фотонных кристаллов, андерсоновская локализация света, диффузия света и др. При этом в электродинамике, за счет отсутствия кулоновского взаимодействия между фотонами, появляется возможность изучать эти интерференционные явления в чистом виде.

Аналогом волновой функции в электродинамике являются поля, которые, однако, в отличие от волновой функции обладают поляризацией. Это отличие не всегда играет заметную роль. Иногда, за счет симметрии системы, оказывается возможным разделить общее решение задачи рассеяния на два независимых решения (обладающих разными поляризациями), для каждого из

которых задача сводится к скалярной. Тем не менее, в общем случае – при исследовании двумерных и трехмерных структур, а также структур с анизотропными и/или магнитооптическими компонентами – необходимо учитывать векторную природу электромагнитных волн.

Диссертационная работа посвящена выявлению влияния векторной природы электромагнитных волн на их распространение в неоднородных системах.

Цель диссертационной работы.

Целью диссертационной работы является разработка теории мезоскопических эффектов, возникающих при распространении поляризованных электромагнитных волн в неоднородной среде. В упорядоченных средах – фотонных кристаллах – исследовано формирование запрещенных зон и связанные с запрещенными зонами эффекты. В неупорядоченных средах исследована андерсоновская локализация электромагнитных волн. Изучена возможность макроскопического описания неоднородных слоистых сред (как упорядоченных, так и неупорядоченных) при помощи эффективных параметров.

Структура и объем диссертации.

Работа состоит из 284 листов основного текста, включающего в себя введение, 6 глав, заключение и список литературы из 220 наименований. По объему и структуре диссертация Мерзликина А.М. соответствует требованиям Положения ВАК к оформлению диссертаций. Изложение подчинено решению основных задач.

Основные результаты и их новизна.

Первая глава диссертационной работы посвящена исследованию собственных мод фотонных кристаллов, содержащих магнитооптические и анизотропные компоненты. Показано, что при намагничивании собственные блоховские моды являются гибридованными и могут быть описаны лишь в терминах локальной поляризации, которая в различных точках пространства разная. На основе разработанного подхода и численного моделирования показано, что вдоль суперсимметричных направлений пространственная дисперсия может подавить анизотропию фотонного кристалла, в результате чего увеличивается эффект Фарадея.

Вторая глава посвящена исследованию формирования запрещенных зон в фотонных кристаллах, содержащих магнитооптические и анизотропные компоненты. Показано, что за счет исследованной в предыдущей главе гибридизации возникают особые, поляризационно-вырожденные запрещенные зоны. Впервые показано, что с формированием этих зон непосредственно связано возникновение так называемой «замороженной моды».

Третья глава представленной работы посвящена исследованию эффекта суперпризмы в фотонных кристаллах. Впервые показано, что эффект суперпризмы возможно наблюдать не только в двумерных, но также и в одномерных фотонных кристаллах, если на их поверхность нанести дифракционную решетку. Показано, что одномерные кристаллы обладают фундаментальным преимуществом: в них быстрее, чем в двумерных, возрастает мнимая часть блоховского вектора при переходе из разрешенной зоны в запрещенную. Поэтому для подавления не распространяющихся решений в одномерном случае нужно значительно меньше периодов кристалла, что позволяет миниатюризировать структуру. Также важно отметить, что одномерные фотонные кристаллы, являющиеся слоистыми средами, значительно проще изготавливать. Предсказана возможность управления эффектом суперпризмы с помощью магнитного поля, если один из компонентов фотонного кристалла является магнитооптическим.

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию формирования поверхностных состояний на границе двух фотонных кристаллов или фотонного кристалла и слоя металла. Предсказано существование в таких системах поверхностного состояния, являющегося электродинамическим аналогом таммовского состояния. Показано усиление эффекта Фарадея для структур, содержащих магнитооптический материал в качестве одного из компонентов фотонного кристалла. В СВЧ области предсказан сдвиг частоты таммовского состояния при намагничивании одного из компонентов. Результаты моделирования согласуются с экспериментальными данными, полученными в двух независимых научных группах.

Пятая глава посвящена изучению поляризационных особенностей андерсоновской локализации электромагнитных волн, заключающейся в бездиссипативном затухании амплитуды волны по мере её распространения через случайную слоистую среду. Рассмотрено распространение

поляризованной волны по слоистой случайно-анизотропной системе. Впервые показано, что по мере распространения волны функция распределения поляризации перестает зависеть от изначальной поляризации, то есть происходит стохастизация поляризации. При этом разность между первоначальным распределением и конечным убывает экспоненциально с пройденным расстоянием, то есть данное явление можно характеризовать собственным масштабом – длиной стохастизации поляризации. Численное моделирование показало, что длина стохастизации не связана напрямую с длиной локализации и является независимым от нее масштабом.

Шестая глава диссертации посвящена вопросам макроскопического описания неоднородной среды при помощи эффективных параметров. Задачу нахождения эффективных параметров можно разделить на две части: нахождения эффективных граничных условий и нахождения эффективного показателя преломления. Впервые показано, что в неупорядоченных слоистых средах действительная и мнимая части эффективного показателя преломления самоусредняются при увеличении размера системы. Мнимая часть эффективного волнового вектора соответствует обратной длине локализации, а производная от действительной части эффективного волнового вектора соответствует плотности состояний. Впервые показано, что производная эффективного волнового вектора по частоте является аналитической функцией частоты и удовлетворяет соотношениям типа Крамерса-Кронига.

Теоретическая и практическая значимость работы.

В работе получен ряд фундаментальных теоретических результатов, которые отражены в защищаемых положениях и имеют большое значение для развития электродинамики неоднородных сред, в том числе оптики наноструктур и нанофотоники. Результаты могут быть использованы для разработки и создания различных оптических и оптомеханических наноразмерных приборов и устройств, в частности, для:

- управляемых магнито- и электрооптических фильтров и устройств на их основе (в частности, магнитооптических затворов и пространственных модуляторов света);
- управляемых разветвителей и циркуляторов;
- магнитооптических сенсоров;

Практическая значимость работы;

С практической точки зрения данная работа интересна в первую очередь исследованием формирования в фотонных кристаллах новых поляризационно-обусловленных запрещенных зон. Как известно, фотонные кристаллы предоставляют широкие возможности управления светом, а использование электрооптических и/или магнитооптических компонентов позволяет управлять распространением и поляризацией света с помощью внешних полей. В перспективе такие кристаллы могут стать ключевым элементом быстрых оптических и оптоэлектронных устройств, в том числе пространственных модуляторов (так называемых SLM и MOSLM), переключателей, разветвителей и циркуляторов. В работе показана возможность управлять направлением, поляризацией и интенсивностью излучения при помощи внешних электрических и/или магнитных полей.

Результаты работы целесообразно использовать в НИУ ИТМО, ФИ им. П.Н. Лебедева РАН, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, НИЯУ МИФИ, Московском государственном университете, а также Саратовском и Ульяновском государственных университетах в рамках проводимых в указанных организациях исследований, посвященных оптике наноструктур, оптоинформатике и нанофотонике.

Из недостатков диссертационной работы можно отметить следующие:

1. В первых двух главах, а также в главе 4 рассматриваются фотонные кристаллы, сделанные из материалов, не обладающих омическими потерями. Необходимо указать допустимый уровень потерь (связанных как с поглощением, так и с рассеянием), не разрушающий изучаемые эффекты.
2. В диссертации в качестве падающего на систему излучения рассматривается плоская волна, то есть подразумевается бесконечно широкая апертура источника и бесконечно узкая диаграмма направленности. При этом изучаемые эффекты (в том числе эффект суперпризмы, формирования «вырожденной границы» запрещенной зоны и др.) являются чувствительными

к малым изменениям угла падения. Необходимо провести оценку минимальной апертуры, позволяющей наблюдать изучаемые эффекты.

3. В тексте диссертации есть опечатки, некоторые утверждения сделаны недостаточно аккуратно, ряд графиков содержит подписи на английском языке. Кроме того, в главе 5, посвященной андерсоновской локализации, во введении приведен достаточно обширный обзор литературы, однако не представлены ссылки на классические работы советских ученых М.Е. Герценштейна, В.Б. Васильева, опубликовавших в 1959 году пионерную работу «Волноводы со случайными неоднородностями и броуновское движение в плоскости Лобачевского».

Отмеченные недостатки и сделанные замечания не затрагивают основных результатов работы. Проведенные Мерзликиным А.М. исследования и полученные результаты обладают обширным фундаментальным и прикладным значением и полностью опубликованы в ведущих российских и международных научных изданиях. Достоверность обеспечивается использованием комплекса многократно апробированных теоретических методов, проведением предельных переходов к ранее существовавшим теориям, сравнением с экспериментальными и теоретическими результатами других авторов. Основные положения диссертационной работы неоднократно обсуждались на семинарах различных научных организаций, а также докладывались на 48 международных конференциях (в том числе 13 приглашенных докладов).

Автореферат правильно и полно отражает основное содержание работы, а представленная диссертация соответствует заявленной специальности 01.04.13 – «Электрофизика, электрофизические установки».

Диссертация и доклад Мерзликина А.М. обсуждены на заседании научно-квалификационного семинара по направлению «Физика твердого тела, магнитных и акустических явлений» (от 19 мая 2016 г., протокол №5) ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН и получили поддержку участников семинара. Сделан вывод, что диссертация Мерзликина Александра Михайловича «Мезоскопические эффекты когерентного распространения и локализации поляризованных электромагнитных волн в фотонных кристаллах и неупорядоченных слоистых средах» является законченной научно-квалификационной работой в области электродинамических свойств

наноструктур, которая вносит существенный вклад в развитие направления, посвященного созданию функциональных наноматериалов. Представленная работа соответствует п. 9 положения «О порядке присуждения ученых степеней» № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор Мерзликин Александр Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.13 – «Электрофизика, электрофизические установки»

Отзыв составлен д.ф.-м.н., проф. Ю.Н. Барабаненковым

Главный научный сотрудник лаборатории 141

Д.ф.- м.н., проф.

125009 г.Москва

Ул.Моховая д.7 корп.11,

+7 905 570 1611, barab24@mail.ru

Ю.Н. Барабаненков

Ю.Н. Барабаненков

Подпись Ю.Н. Барабаненкова заверяю

Ученый секретарь

ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН

к.ф.-м.н.

125009 г.Москва

Ул.Моховая д.7 корп.11,

8 (495) 629 3628, chusov@cplire.ru

И.И. Чусов

И.И. Чусов



Данные ведущей организации

Полное название: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

Почтовый адрес: 125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7.

Телефон: +7 (495) 629 3574

Электронная почта: ire@cplire.ru