

“УТВЕРЖДАЮ”

Директор

Института спектроскопии

РАН

член-корр. РАН

Е.А. Виноградов



2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Зябловского А.А. «Оптика и магнитооптика лазеров на основе фотонных кристаллов и метаматериалов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям: 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки.

Фотонные кристаллы и метаматериалы – это искусственные материалы, демонстрирующие резонансный отклик на падающее электромагнитное поле. Благодаря своей структуре фотонные кристаллы и метаматериалы обладают свойствами, не встречающимися у природных материалов, что позволяет создавать на их основе электромагнитные устройства (волноводы, антенны, переключатели) с принципиально новыми свойствами. *Поэтому диссертация Зябловского А.А. безусловно является актуальной.*

Несмотря на большое количество полезных свойств, композитные материалы обладают большими потерями, которые затрудняют их практическое применение. Для компенсации потерь применяют усиливающие компоненты (возбужденные атомы, молекулы, квантовые

точки), которые помещают внутрь фотонных кристаллов и метаматериалов. Добавление усиливающей среды приводит к изменению спектральных свойств композитных материалов. Например, как показано в диссертационной работе, границы запрещенной зоны фотонного кристалла, содержащего усиливающие компоненты, отличаются от границ запрещенной зоны фотонного кристалла без усиливающей среды. Другим примером подобного рода являются РТ-симметричные оптические системы. В этом случае добавление усиливающей и поглощающей среды приводит к фазовому переходу с нарушением симметрии собственных решений системы. Таким образом, добавление усиливающей среды может приводить не только к компенсации потерь, но и к изменению спектральных свойств композитных материалов. Для практических применений необходимо точно знать свойства фотонных кристаллов и метаматериалов, *поэтому проведенные в работе исследования свойств композитных материалов, содержащих усиливающие слои, будут полезными для разработки электромагнитных устройств на основе фотонных кристаллов и метаматериалов.*

Отдельный интерес представляют лазеры с резонаторами на основе фотонных кристаллов и метаматериалов, которые применяются в качестве источников электромагнитных сигналов в линиях передачи информации. Использование фотонных кристаллов и метаматериалов позволяет уменьшить характерные размеры подобных устройств и увеличить скорость модуляции электромагнитного сигнала, что необходимо для повышения быстродействия современных вычислительных устройств. *В работе предложены два источника когерентного электромагнитного излучения на основе композитных материалов, которые могут оказаться полезными для развития оптоэлектроники.*

В первой главе диссертации дается обзор подходов и вспомогательных результатов, используемых в диссертационной работе. Обсуждаются способы описания усиливающей среды при помощи системы уравнений Максвелла-Блоха и диэлектрической проницаемости с отрицательной мнимой частью. Во второй части главы приводятся определения PT -симметричных квантово-механических и оптических систем, а также рассматриваются условия наблюдения фазового перехода в PT -симметричных системах.

Вторая глава посвящена исследованию электромагнитных свойств однородного слоя, содержащего усиливающие компоненты. Стандартно распределение поля в случае однородного слоя находят по методу Френеля или методу Эйри. Однако при наличии в системе усиливающих компонент в слое может наблюдаться лазерная генерация. В этом случае, распределение поля в системе не описывается в рамках линейных подходов Френеля и Эйри и необходимо учитывать нелинейные эффекты. В работе для определения области параметров, в которой наблюдается лазерная генерация, исследовались аналитические свойства передаточные функции системы. Подобное рассмотрение возможно потому, что условие перехода полюса передаточной функции в верхнюю полуплоскость комплексных частот совпадают с условием начала лазерной генерации. В работе проведен подробный анализ особенностей передаточной функции системы при различных параметрах задачи. Также в работе был найден критический угол падения, при углах падения меньших которого лазерная генерация развивается с увеличением толщины усиливающего слоя, а при углах больших критического подавляется с увеличением толщины слоя. Полученный угол совпадает с углом полного внутреннего отражения от слоя, не содержащего усиливающие компоненты.

В третьей главе изучались электромагнитные свойства фотонных кристаллов, содержащих усиливающие слои. Для этого исследовались аналитические свойства передаточных функций фотонного кристалла. В результате была найдена граница между разрешенной и запрещенной зоной фотонного кристалла, содержащего усиливающие слои.

В четвертой главе исследуется влияние внешнего магнитного поля на режимы генерации лазера с анизотропным резонатором. Показывается, что в зависимости от величины внешнего магнитного поля и анизотропии резонатора излучение лазера может быть эллиптически или линейно поляризованным, или может полностью подавляться. В результате, оказывается возможным включать и выключать лазерную генерацию, изменяя величину внешнего магнитного поля.

В пятой главе исследуются электромагнитные свойства двумерной решетки спазеров. Показано, что в такой системе может наблюдаться эффект самосинхронизации колебаний дипольных моментов отдельных спазеров. Синхронизация колебаний приводит к увеличению суммарной интенсивности излучения от системы, вследствие эффекта сверхизлучения.

В шестой главе доказывается невозможность выполнения условий РТ-симметрии оптической системы в любом конечном интервале частот, и как следствие, невозможность наблюдения фазового перехода с нарушением симметрии решений при варьировании частоты падающей электромагнитной волны.

Среди полученных новых результатов можно выделить следующие:

1. Обнаружение эффекта синхронизации колебаний дипольных моментов отдельных наночастиц в двумерной решетке спазеров. Данный результат имеет как фундаментальное, так и прикладное значение.

2. Обнаружение эффекта подавления генерации в лазере с анизотропным резонатором при наложении внешнего магнитного поля.
3. Вывод критерия формирования запрещенной зоны в фотонном кристалле, содержащем усиливающие слои.
4. Доказательство невозможности выполнения условия РТ-симметрии оптической системы в любом конечном интервале частот.

Достоверность результатов не вызывает сомнений и подтверждается совпадением теоретических результатов с результатами численного моделирования.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. В пятой главе для объяснения эффекта синхронизации колебаний дипольных моментов отдельных наночастиц в двумерном массиве определяется мода с наименьшим пороговым значением накачки и утверждается, что в стационарном режиме генерации распределение поля совпадает с распределением поля в такой моде. В то же время, такой метод не позволяет учесть конечность размеров системы и возникающую из-за неё неоднородность распределения локального поля в системе, которая, как указано в работе, может приводить к рассинхронизации колебаний в массиве. Поэтому предложенное теоретическое объяснение может служить только для качественного, но не количественного описания эффекта.
2. Для улучшения восприятия материала, изложенного в диссертации, шестую главу следовало бы расположить после третьей так, чтобы сначала излагались бы результаты, связанные с изучением свойств композитных структур, содержащих усиливающую среду, а затем результаты исследования режимов лазерной генерации в системах на основе таких структур.

Однако отмеченные недостатки имеют скорее характер пожелания для будущей работы и не снижают общей ценности диссертационной работы, выполненной на высоком научном уровне. Полученные в диссертации результаты являются оригинальными и имеют хорошие перспективы практического применения.

Все основные результаты диссертации достаточно полно и своевременно опубликованы в авторитетных научных журналах. Диссертация является законченным исследованием и полностью соответствует требованиям ВАК. Автореферат и список опубликованных работ правильно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Зябловского А.А. «Оптика и магнитооптика лазеров на основе фотонных кристаллов и метаматериалов» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям, а автор безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв заслушан и одобрен на заседании лаборатории спектроскопии наноструктур Института спектроскопии РАН.
Протокол № 1 от "9" апреля 2014 г.

Отзыв утвержден на Ученом Совете ИСАН, протокол № 5 от 22 апреля 2014г.

Зав. лабораторией спектроскопии
наноструктур Института спектроскопии АН
к.ф.-м.н., профессор МФТИ

 Ю. Е. Лозовик

Подпись зав. лабораторией Ю. Е. Лозовика
Ученый секретарь
Института спектроскопии РАН
к.ф.-м.н.

заверяю



 Е.Б. Перминов