

УДК 537.87

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАМАТЕРИАЛОВ ПРИ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДАХ
Шапошников Л.А. (Университет ИТМО), Сахно Д.И. (Университет ИТМО), Бобылев Д.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., с.н.с., доцент Горлач М.А.
(Университет ИТМО)

Аннотация

Фотонные топологические изоляторы представляют собой структуры, поддерживающие локализованные краевые моды, защищенные глобальными симметриями структуры от рассеяния на дефектах. Современное описание подобных структур основано на симметричном анализе блоховских мод, требующем либо тщательного аналитического исследования, либо многократного численного моделирования, что особенно затруднительно при исследовании топологических переходов. В настоящей работе мы предлагаем альтернативный подход, позволяющий обнаруживать топологические переходы из анализа эффективных материальных параметров субволновых структур.

Введение.

Фотонные топологические изоляторы представляют собой структуры, поддерживающие локализованные краевые моды (топологические состояния). Данные состояния открывают беспрецедентные возможности в управлении распространением электромагнитного излучения по сложным траекториям без рассеяния. При этом частота таких состояний оказывается устойчивой к различным видам беспорядка. Однако современная классификация и способы проектировки фотонных топологических изоляторов основываются на исследовании объемных свойств кристаллических структур – топологии зон, изучение которой, во-первых, опирается на сложный математический анализ блоховских мод или конструирование эффективного гамильтониана системы, а во-вторых, не подходит для анализа квазикристаллических и апериодических топологических структур. Таким образом, научная проблема заключается в отсутствии универсального подхода, упрощающего оптимизацию известных и предсказание новых фотонных топологических систем и топологических переходов в них.

На сегодняшний день существует метод, не привязанный к кристаллической структуре и основанный на использовании модели эффективной сплошной среды. В рамках этой модели определены как топологические инварианты для систем с нарушенной симметрией к обращению времени, так и с сохраненной. Однако до сих пор не исследовалось поведение эффективных материальных параметров при топологических фазовых переходах, причем данный метод не использовался ранее для предсказания новых типов топологических систем.

Основная часть.

Топологические защищенные состояния зачастую возникают внутри запрещенной зоны, что делает распространение объемных мод на данных частотах невозможным. В таком случае следует ожидать, что эффективные материальные параметры материала (диэлектрическая и магнитная проницаемости) будут иметь различные знаки. В нашей работе демонстрируется, что при топологическом переходе эффективные материальные параметры структуры одновременно меняют свои знаки.

В первую очередь была рассмотрена структура на основе деформированной решетки типа пчелиных сот, топологические свойства которой хорошо изучены. Мы убедились в том, что при топологическом переходе происходит одновременная смена знаков эффективных материальных параметров.

Далее была рассмотрена другая фотонная структура, которая отличается от предыдущей поворотом мета-атомов в элементарной ячейке на 30° . Был проведен анализ эффективных материальных параметров данной структуры, которые при определенных геометрических

параметрах меняют свои знаки, обозначая потенциальные точки топологических переходов. Чтобы убедиться в том, что найденные точки соответствуют топологическому переходу, мы провели исследование топологических свойств данной структуры ранее известными методами. Анализ зонной структуры, а именно вычисление топологических индексов, показывает, что несмотря на то, что топология зон данной структуры отличается от классической структуры на основе деформированной решетки типа пчелиных сот, поведение эффективных материальных параметров во время топологического фазового перехода остается тем же.

Для экстракции эффективных материальных параметров проводится численное моделирование рассеяния света от структуры конечной толщины. Результатом моделирования являются комплексные коэффициенты отражения и прохождения. Применяв к данным коэффициентам процедуру Николсона-Росса-Вейера, можно получить абсолютные значения эффективных материальных параметров. Для определения того, какой из материальных параметров имеет отрицательный знак, мы анализировали фазу коэффициента отражения.

Выводы.

Был предложен метод анализа топологических свойств метаматериалов посредством исследования его эффективных материальных параметров. В то время как большинство экспериментальных работ исследуют топологические состояния в конечных системах, данный метод дает прямой доступ к объемным свойствам системы. Также, этот метод относительно прост с экспериментальной точки зрения, что позволит упростить определение топологических переходов на эксперименте. Кроме того, предложенный метод может оказаться применимым для анализа квазикристаллических и аперидических топологических структур.

Шапошников Л.А. (автор)

Подпись

Горлач М.А. (научный руководитель)

Подпись