

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

*Кафедра физики твердого
тела*

**Управление характеристиками фотонного кристалла
СВЧ- диапазона**

ВНЕШНИМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

АВТОРЕФЕРАТ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ
МАГИСТРА

Студентки 2 курса 201 группы
по направлению 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»,
профиль подготовки «Диагностика нано- и биомедицинских систем»
факультета нано- и биомедицинских технологий

Каревой Анны Андреевны

Научный руководитель
Доцент, к. ф.- м.н.

А.Э. Постельга

_____ *подпись, дата*

Введение

В настоящее время большой интерес вызывают исследования свойств и создание метаматериалов, которые представляют собой искусственно созданные гетерогенные среды с изменяющимися вдоль пространственных направлений геометрическими размерами и электрофизическими параметрами элементов. К классу метаматериалов относят фотонные кристаллы.

Известно, что фотонные кристаллы создают в оптическом, инфракрасном, ультрафиолетовом, СВЧ-диапазоне. Наиболее простым и удобным для создания фотонного кристалла является диапазон СВЧ.

Создание таких фотонных структур СВЧ-диапазона и исследование их свойств имеет важное практическое значение ввиду возможности использования их в системах телекоммуникации, измерительного оборудования, лазерной техники, информационных системах, в различных типах СВЧ фильтров, в том числе с управляемыми характеристиками, и др. [1-2].

Известно, что в спектре пропускания периодических структур, таких, как, фотонные кристаллы, имеется запрещенная зона, в которой по аналогии с кристаллами, не может распространяться электромагнитная волна. Впервые запрещенная зона фотонного кристалла была обнаружена и рассчитана в 1900г. В этой зоне могут возникать резонансные частотные особенности - узкие "окна" прозрачности, если есть какие-либо нарушения в периодической структуре фотонного кристалла и/или изменения электрофизических параметров одного или нескольких элементов [3].

При введении в межглобулярное пространство сторонних включений (например, магнетиков) открывается возможность "управления" свойствами метаматериала – фотонного кристалла, например, при приложении внешнего электрического и магнитного поля, изменении температуры, давления и т. д., что позволяет создавать различные устройства, такие как волноводы, резонаторы, фильтры, разветвители, и др. В данной работе за нарушение был взят слой магнитной жидкости.

Магнитным жидкостям уделено большое внимание ученых из-за уникальности их свойств и возможности их применения в различных отраслях, таких как медицина, техника и машиностроение. Физические свойства магнитных жидкостей во многом определяются взаимодействием ферромагнитных однодоменных наночастиц между собой и с внешними электрическими и магнитными полями. Одним из перспективных направлений в применении магнитной жидкости является использование ее в качестве материала для создания сред с управляемыми внешним магнитным полем характеристиками.

Особый интерес представляют собой магнитные жидкости в СВЧ-диапазоне благодаря своей высокой прозрачности в таком диапазоне длин волн и высокой точности измерительной аппаратуры.

Возможность электрического управления амплитудно-частотными характеристиками СВЧ фотонных кристаллов экспериментально продемонстрирована в [4]. В [5] показана возможность создания волноводного фотонного кристалла с перестраиваемым частотным положением окна прозрачности, связанным с нарушением периодичности в фотонном кристалле, и управляемым с помощью р-і-п-диодов величиной затухания в этом окне.

Цели и задачи работы

Цель исследования – показать возможность управления характеристиками фотонного кристалла СВЧ-диапазона с нарушением в виде слоя магнитной жидкости внешним магнитным полем.

Задачи исследования:

- 1) Провести критический анализ литературы, посвященной созданию управляемых метаструктур;
- 2) Смоделировать и создать периодическую фотонную структуру СВЧ диапазона, состоящую из периодически чередующихся слоев керамики (Al₂O₃) и пенопласта при наличии и отсутствии нарушения периодичности фотонной структуры в виде слоя магнитной жидкости;

- 3) провести экспериментальное исследование амплитудно-частотных характеристик коэффициента пропускания электромагнитного излучения СВЧ - диапазона, взаимодействующего с полученным фотонным кристаллом.

Теоретическая база исследований сформирована публикациями, в которых описаны методики исследования свойств и создания фотонных кристаллов.

- Усанов, Д. А., Мерданов, М. К., Скрипаль, А. В., Пономарев Д. В. СВЧ фотонные кристаллы. Новые сферы применения. // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2015. Т. 15. Вып. 1. С. 57-73;
- Усанов, Д. А., Скрипаль, А. В., Абрамов, А. В., Боголюбов, А. С., Скворцов, В. С., Мерданов, М. К. Волноводные фотонные кристаллы с характеристиками, управляемыми р-і-п-диодами // Изв. вузов. Электроника. 2010. No 1. С. 24–29;
- Мухортов, В. М., Масычев, С. И., Маматов, А. А., Мухортов, Вас. М. Электрически перестраиваемый фотонный кристалл на основе копланарного волновода с нано-размерной сегнетоэлектрической пленкой // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. Вып. 20. С. 70–76;
- Усанов, Д.А., Никитов, С.А., Скрипаль, А.В., Фролов, А.П. Ближнеполевой СВЧ-микроскоп с фотонным кристаллом в качестве резонатора и регулируемым элементом связи.// РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА 2013.Т. 58. Вып. 12. С. 117-125.;
- Усанов, Д.А., Скрипаль, А.В., Романов, А.А. Характеристики дефектной моды одномерного СВЧ волноводного фотонного кристалла с металлическим включением в элементе, нарушающем его периодичность //Журнал технической физики, 2017, том 87, вып. 6. С. 884-887;

- Гуняков, В.А., Герасимов, В.П., Мысливец, С.А., Архипкин, В.Г. Термооптическое переключение в одномерном фотонном кристалле // ПЖТФ. 2006 Т. 32, вып. 21 С. 76–83;
- Усанов, Д. А., Скрипаль, А. В., Абрамов, А. В., Боголюбов, К. Волноводные фотонные кристаллы с характеристиками, управляемыми р-і-п-диодами // Изв. вузов. Электроника. 2010. № 1. С. 24–29.
- *Основное содержание*

Первая глава посвящена фотонным кристаллам и метаматериалам, где рассматривается их классификация, применение и анализ их характеристик. Фотонный кристалл - искусственно созданная периодическая структура со свойствами для электромагнитных волн. В фотонных кристаллах можно получить разрешенные и запрещенные зоны для энергии фотонов благодаря их периодической структуре, подобно полупроводниковым материалам, в которых наблюдаются разрешенные и запрещенные зоны для энергий носителей заряда. В спектре пропускания периодической структуры имеется область, где не могут распространяться электромагнитные волны, они полностью отражаются. Такой диапазон длин волн называется запрещенной зоной. При наличии нарушений в периодичности слоистой структуры в запрещенной зоне фотонного кристалла могут возникать узкие «окна» прозрачности, в которых происходит сильное увеличение амплитуды поля, а сторонние включения в межглобулярное пространство приводит к возможности "управлять" свойствами метаматериала – фотонного кристалла, например, при приложении внешнего электрического и магнитного поля, изменении температуры, давления и т. д.

Во второй главе приводится критический анализ литературы, посвященной магнитным жидкостям. В частности, их применению, взаимодействию их с СВЧ излучением и измерению параметров магнитных жидкостей.

Магнитная жидкость, которая является устойчивой коллоидной взвесью однодоменных магнитных частиц в жидкости-носителе, интенсивно исследуется в большинстве стран с 70-х годов. Магнитная жидкость состоит из трех компонентов. Основным являются магнитные частицы, имеющие размер порядка 10 нанометров. Вторым компонентом выступает оболочка (стабилизатор), в частности, ПАВ - поверхностно активное вещество, которое предотвращает слипание частиц и имеет проводимость порядка 10^{-10} См/м. В качестве ПАВ обычно используются вещества, у которых короткая функциональная группа (кислотная или щелочная) и длинная хвостовая цепочка (углеводородная). Примером может служить олеиновая кислота. Третьим компонентом является среда, в которой растворены частицы. Частицы в магнитных жидкостях не оседают на дно, поэтому растворы сохраняют свои рабочие характеристики на много лет. Основным средством управления магнитными жидкостями, который обладает интересными физическими и химическими свойствами является магнитное поле. Магнитные наночастицы намагничиваются до насыщения под воздействием внешнего магнитного поля. Это объясняется наличием однодоменной структуры и отсутствием переходной области от одного домена к другому, где происходит разворот магнитного момента. Исследование данных жидкостей имеет не только теоретическое значение, которое связано с решением фундаментальных физико-химических проблем, но и практическое значение, которое способствует их применению в медицине, приборостроении, электронике, космической технике, машиностроении и т.д.

В третьей главе рассматриваются фотонные структуры с управляемыми характеристиками. Показана возможность управления характеристиками фотонного кристалла СВЧ диапазона с нарушением в виде слоя магнитной жидкости внешним магнитным полем.

В ходе данного исследования проводилось экспериментальное

исследование амплитудно-частотных характеристик коэффициента пропускания электромагнитного излучения СВЧ-диапазона, взаимодействующего с фотонным кристаллом, состоящим из периодически чередующихся слоев керамики (Al_2O_3) и пенопласта, при наличии нарушения периодичности фотонной структуры. В качестве нарушения периодичности использовался слой магнитной жидкости. Рассмотрена возможность влияния приложенного к нарушенному слою магнитного поля на характеристики фотонного кристалла.

Измерение АЧХ коэффициента пропускания исследуемого фотонного кристалла в трехсантиметровом диапазоне длин волн проводились с использованием панорамного измерителя КСВН и ослабления.

Источником однородного магнитного поля служил электромагнит на основе катушек Гельмгольца. Вектор индукции магнитного поля направлялся перпендикулярно широкой стенке волновода. Приложение к нарушенному слою магнитного поля позволяет управлять частотой и амплитудой дефектной моды фотонного кристалла, вплоть до полного ее подавления. Исчезновение дефектной моды фотонного кристалла, исследованного в работе, происходит при значениях вектора магнитной индукции порядка 500 мТ. С увеличением магнитного поля одновременно с уменьшением ширины запрещенной зоны происходит ее смещение в область высоких частот. После подавления, при дальнейшем увеличении магнитного поля запрещенная зона возникает в области более низких частот и смещается в сторону высоких частот. Изменение характеристик фотонного кристалла при приложении магнитного поля обусловлено влиянием ферромагнитного резонанса на взаимодействие электромагнитного излучения с магнитной жидкостью, в результате которого происходит изменение магнитной проницаемости и постоянной распространения нарушенного слоя.

Заключение

Таким образом, в ходе моей выпускной квалификационной работы был

проведен критический анализ литературы, посвященной созданию управляемых метаструктур, была смоделирована и создана периодическая СВЧ фотонная структура с нарушением в виде слоя магнитной жидкости и проведено экспериментальное исследование амплитудно-частотных характеристик коэффициента прохождения электромагнитного излучения СВЧ-диапазона, взаимодействующего с созданным фотонным кристаллом, Установлено, что, при приложении к слою магнитной жидкости магнитного поля, открывается возможность управления характеристиками фотонного кристалла. Определена величина магнитного поля, при котором полностью исчезает разрешенная зона исследованного фотонного кристалла.

Установленные закономерности могут быть использованы при разработке новых типов модуляторов, при тонкой настройке характеристик фотонного кристалла, создания управляемых магнитным полем полосно-пропускающих фильтров.

Фотонные кристаллы с нарушением в виде слоя магнитной жидкости имеют преимущество перед однородной магнитной средой, что приводит к новым возможностям их применения.