

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

Кафедра физики твёрдого тела

БРЭГГОВСКИЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ СТРУКТУРЫ
НА ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВЫХ ЛИНИЯХ С
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, УПРАВЛЯЕМЫМИ $P-I-N$ -ДИОДАМИ

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 411 группы
направления (специальности) 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника»
код и наименование направления (специальности)
факультета нано- и биомедицинских технологий

Комарова Андрея Александровича

Научные руководители:

профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

А.В. Скрипаль

инициалы, фамилия

аспирант

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Д.С. Рязанов

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Д.А. Усанов

инициалы, фамилия

Саратов 2016

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одной из наиболее интенсивно развивающихся областей науки является направление по созданию и исследованию свойств метаматериалов, представляющих собой искусственно созданные гетерогенные среды, в которых геометрические размеры и электрофизические параметры специально подобранных составляющих элементов периодически изменяются вдоль одного или нескольких пространственных направлений. К метаматериалам относится класс фотонных кристаллов – искусственных периодических структур с периодом, сравнимым с длиной волны распространяющегося в них электромагнитного излучения. По аналогии с реальными кристаллами, в фотонных кристаллах существуют разрешенные и запрещенные для распространения электромагнитного излучения частотные области.

Уникальные свойства фотонных кристаллов, обусловленные резонансным взаимодействием электромагнитной волны с периодической структурой, позволяют создавать на их основе новые типы структур и устройств с управляемыми параметрами. А также реализовать новые высокочувствительные методы измерения параметров материалов. В настоящее время разработано большое число методов для определения электрофизических параметров веществ в СВЧ-диапазоне. Особую роль эти методы измерения играют при исследовании материалов и структур, используемых при создании приборов СВЧ электроники, так как информация, полученная с помощью низкочастотных методов, при переходе в СВЧ - диапазон может оказаться недостаточной для конструирования СВЧ устройств с заданными характеристиками.

С помощью СВЧ - методов измерения могут быть определены удельная проводимость, диэлектрическая и магнитная проницаемость материала, время жизни, подвижность, эффективная масса носителей заряда, скорость

поверхностной рекомбинации, толщина слоев и другие параметры. При этом оказывается возможным проводить неразрушающее измерение нескольких параметров на одной установке с использованием одного образца. [1-6]

Целью бакалаврской работы является разработка и исследование характеристик брэгговских сверхвысокочастотных структур на волноводно-щелевых линиях с характеристиками, управляемыми $p-i-n$ -диодами, управление характеристиками и исследование возможностей фотонных кристаллов на основе волноводно-щелевых линий с встраиваемым $p-i-n$ -диодом.

1 Теоретическое исследование СВЧ фотонных кристаллов на основе волноводно-щелевых линий передачи

Исследования были проведены при помощи системы электродинамического моделирования и проектирования HFSS. На рис.1 приведена общая модель структуры СВЧ-диапазона на основе волноводно-щелевых линий передачи.

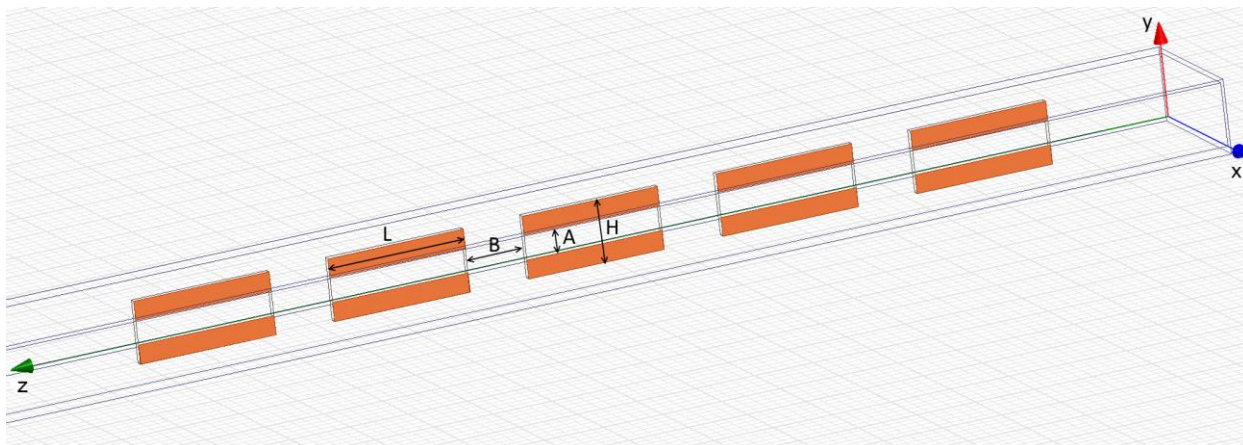


Рис.1 Модель фотонного кристалла на основе волноводно-щелевой линии передачи, состоящая из 5 пластин. L - длина поликоровой подложки 23 мм; B - длина отрезков регулярного волновода 10 мм; H - ширина поликоровой подложки 10,16 мм; A - ширина щели 4 мм. Размеры волновода 22,86 x10,16 мм

Исследовалась частотная зависимость коэффициентов отражения и прохождения для структуры, состоящей из 5 пластин длиной 23 мм, с промежутком 10 мм, покрытием из алюминия, толщиной 0.012 мм, ширина щели 4 мм.

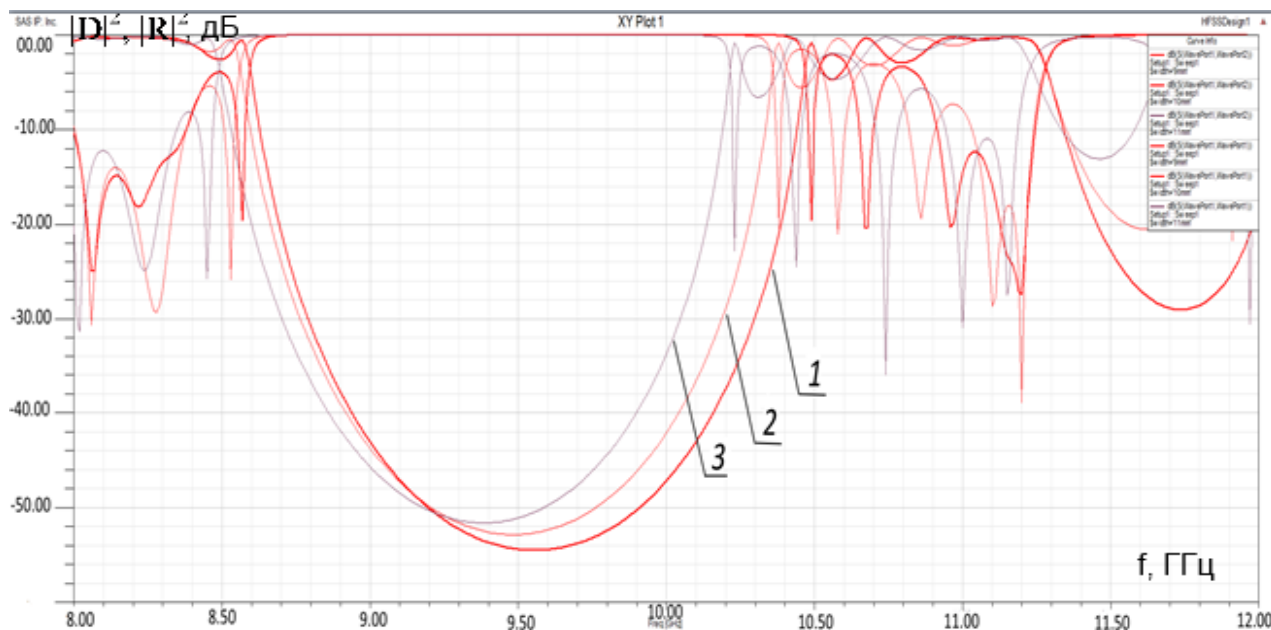


Рис.2 Амплитудно-частотные характеристики СВЧ фотонного кристалла без нарушений для различных длин отрезков регулярного волновода B , мм:
 1–8 мм; 2–9 мм; 3–10 мм

Из результатов, представленных на рис.2, при использовании данной модели следует, что возникает смещение АЧХ в область низких частот и углубление запрещенной зоны.

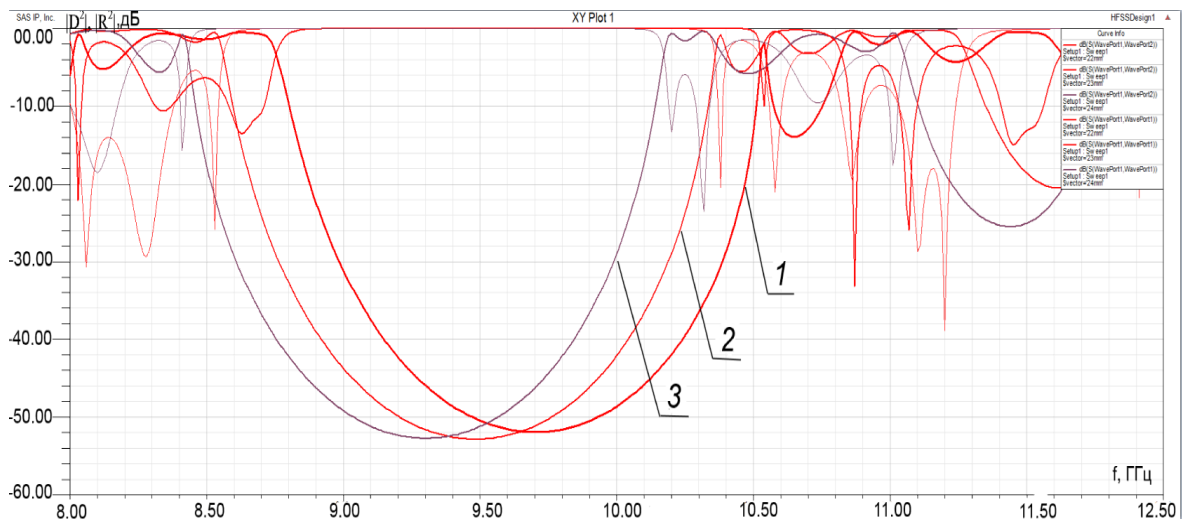


Рис.3 Амплитудно-частотные характеристики СВЧ фотонного кристалла без нарушений для различных длин поликоровой подложки L , мм: 1–22 мм; 2–23 мм; 3–24 мм

Результаты представленные на рис.3 говорят о том, что при изменении длины пластины возникает похожая закономерность в смещении АЧХ в область низких частот и углублении запрещенной зоны.

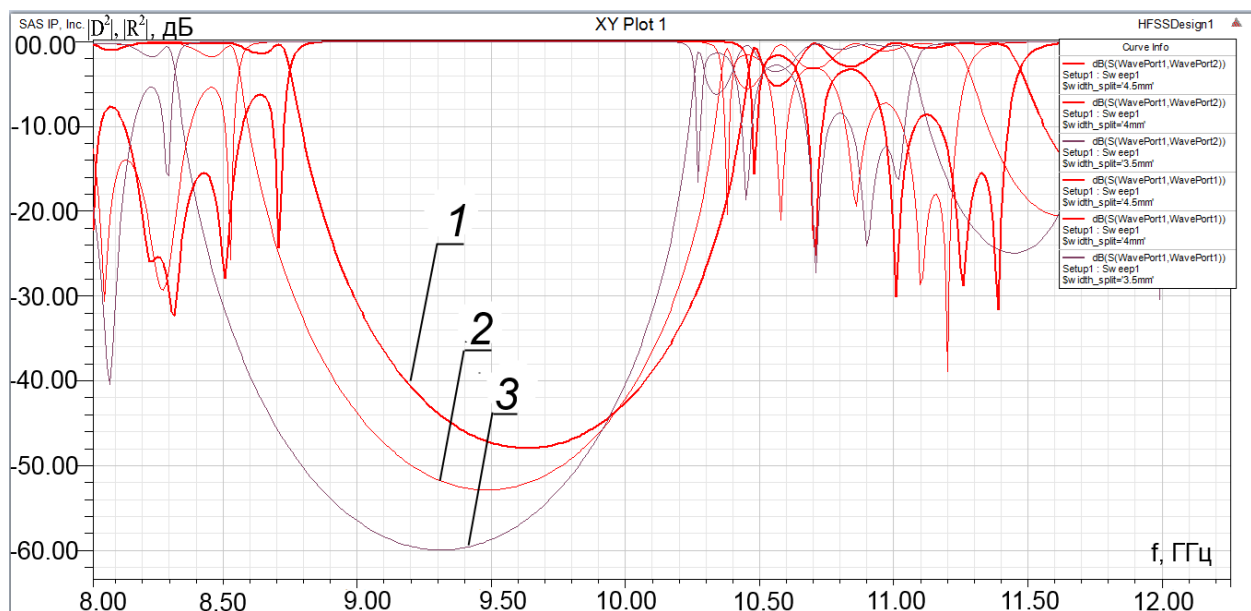


Рис.4 Амплитудно-частотные характеристики СВЧ фотонного кристалла без нарушений для различной ширины щели A , мм: 1–3,5 мм; 2–4 мм; 3–4,5 мм

На рис. 4 приведена зависимость АЧХ при изменении ширины щели во всех 5 пластинах.

В данном случае использовалась структура и исследовалась частотная зависимость коэффициентов отражения и прохождения, состоящая из 5 пластин длиной 23 мм, с промежутком 10 мм, покрытием из алюминия, толщиной 0.012 мм, ширина щели 4 мм, с нарушением, в виде изменения длины центральной пластины составляющей 9 мм (рис.5)

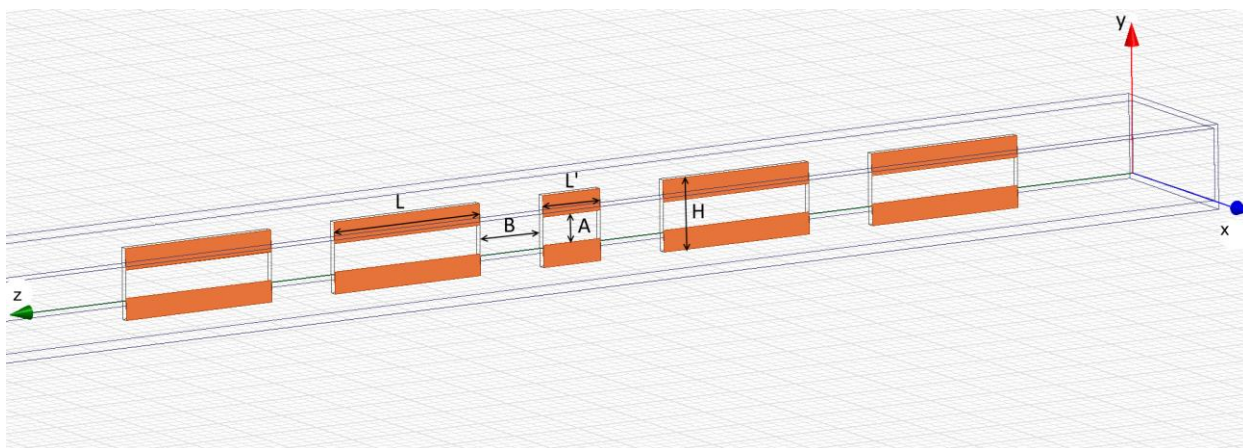


Рис.5 Модель фотонного кристалла на основе волноводно-щелевой линии передачи. L - длина поликоровой подложки 23 мм; B - длина отрезков регулярного волновода 10 мм; H - Ширина поликоровой подложки 10,16 мм; A - ширина щели 4 мм, L' - длина центральной пластины 9 мм; Размеры волновода 22,86 x10,16мм

Отличие данной модели от предыдущей заключается в том что в ней длина центральной пластины составляет 9 мм. Тем самым создается нарушение в СВЧ фотонном кристалле.

В данном случае изменение параметров модели СВЧ фотонного кристалла влечет за собой изменение амплитудно-частотных характеристик. При внесении нарушения в виде изменения длины центральной пластины в

структуру кристалла в запрещенной зоне появляется пик, называемый “окно прозрачности”.

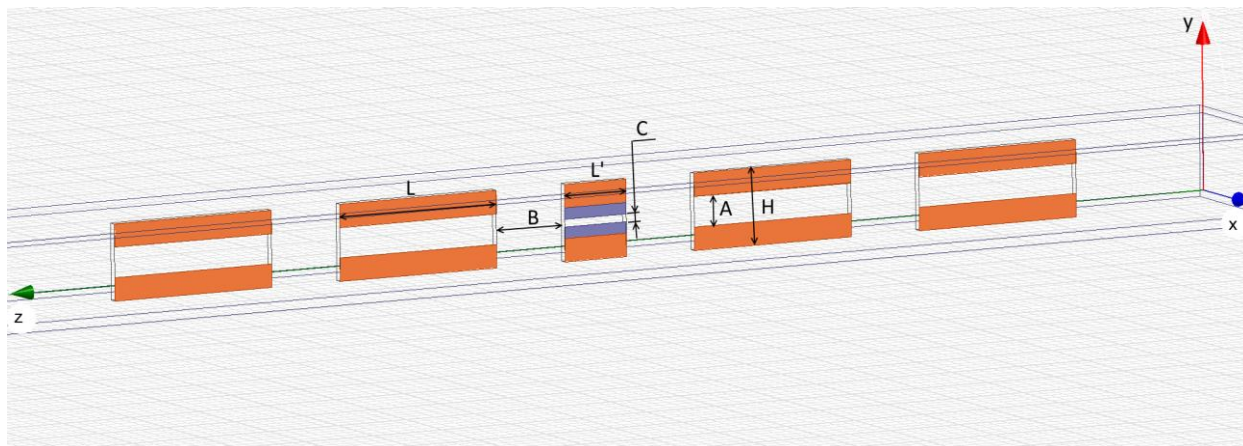


Рис.6 Модель фотонного кристалла на основе волноводно-щелевой линии передачи. L - длина поликоровой подложки 23 мм; B - длина отрезков регулярного волновода 10 мм; H - Ширина поликоровой подложки 10,16 мм; A - ширина щели 4 мм; C -ширина щели с нарушением; L' - длина центральной пластины 15 мм; Размеры волновода 22,86 x10,16мм

Использовалась структура и исследовалась частотная зависимость коэффициентов отражения и прохождения, состоящая из 5 пластин длиной 23 мм, с промежутком 10 мм, покрытием из алюминия, толщиной 0.012 мм, ширина щели 4 мм, с нарушением в виде длины центральной пластины 9 мм, а также шириной щели в ней 1 мм.

Из результатов, можно видеть, что с увеличением ширины нарушенного слоя окно прозрачности смещается в низкочастотную область, а при уменьшении – в высокочастотную.

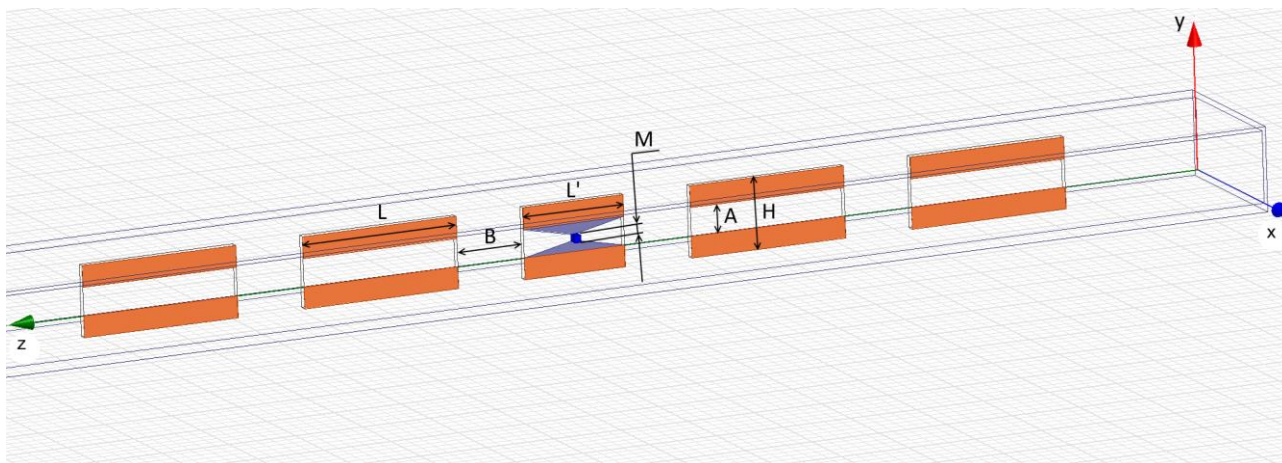


Рис.7 Модель фотонного кристалла на основе волноводно-щелевой линии передачи. L - длина поликоровой подложки 23 мм; B - длина отрезков регулярного волновода 10 мм; H - Ширина поликоровой подложки 10,16 мм; A - ширина щели 4 мм; M -высота $p-i-n$ -диода 1 мм; L' - длина центральной пластины 15 мм; Размеры волновода 22,86 x10,16мм

В данной модели использовалось нарушение в виде измененной центральной пластины и наличия $p-i-n$ -диода в щелевой линии передачи.

Сделано это для того чтобы уменьшить величину проседания АЧХ в полосе пропускания и чтобы было возможно показать зависимость от изменения диэлектрической проводимости.

Из результатов следует, что созданный фотонный кристалл на основе волноводно-щелевых линий передачи образует разрешенные и запрещенные зоны в диапазоне частот 8-12 ГГц. При создании предложенных нарушений, в виде изменения длины центральной пластины, образующих фотонный кристалл, в запрещенной зоне образуется пик пропускания—«окно прозрачности».

2 Экспериментальное исследование СВЧ фотонных кристаллов на основе волноводно-щелевых линий передачи

В качестве экспериментальной модели был создан фотонный кристалл, состоящий из отрезков волноводно-щелевых линий передачи, имеющих следующие параметры: толщина поликоровой подложки 1 мм, диэлектрическая проницаемость поликора 9.6, длина пластин поликора 23 мм, толщина алюминиевого слоя 0.012 мм, ширина щели 4 мм.

Частотные зависимости коэффициентов отражения и прохождения получены при помощи векторного анализатора цепей *N5230A Agilent PNA-L Network Analyzer*.

Исследовалась зависимость АЧХ для СВЧ фотонного кристалла состоящего из 5 пластин, в которой ширина щели 4 мм.

Результаты эксперимента были сопоставлены с результатами теоретического исследования.

Из результатов эксперимента следует, что созданный фотонный кристалл на основе волноводно-щелевых линий передачи образует разрешенные и запрещенные зоны в диапазоне частот 8–12 ГГц. Наблюдается качественное совпадение экспериментально полученных амплитудно-частотных характеристик фотонного кристалла с теоретическими зависимостями, приведенными на рис.2. Подтверждены выявленные в теоретическом исследовании закономерности изменения: АЧХ фотонного кристалла смещается в низкочастотную область, а также углубляется запрещенная зона.

Исследовалась амплитудно-частотная характеристика фотонного кристалла для различных размеров нарушения. Результаты эксперимента были сопоставлены с результатами теоретического исследования.

Из результатов следует, что созданный фотонный кристалл на основе волноводно-щелевых линий передачи образует разрешенные и запрещенные зоны в диапазоне частот 10-12 ГГц. При создании нарушения в виде изменённого расстояния между центральными отрезками щелевых линий, образующих фотонный кристалл, в запрещенной зоне образуется пик пропускания – «окно прозрачности».

Наблюдается качественное совпадение экспериментально полученных амплитудно-частотных характеристик фотонного кристалла с теоретическими зависимостями. Подтверждены выявленные в теоретическом исследовании закономерности изменения АЧХ в зависимости от длины нарушенного слоя.

Отличие количественных значений полученных АЧХ обусловлено неидеальностью созданной структуры, выражающейся в отличии параметров экспериментальной структуры от принятых в теоретической модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Проведен анализ электродинамических характеристик типичных волноводно-щелевых линий передачи, применяемых в СВЧ-диапазоне.

В среде HFSS построена модель фотонного кристалла в виде волноводно-щелевой линии передачи с встраиваемым $p-i-n$ -диодом.

Проведено компьютерное моделирование характеристик фотонного кристалла в виде волноводно-щелевой линии передачи с встраиваемым $p-i-n$ -диодом.

Проведен анализ амплитудно-частотных характеристик фотонного кристалла в виде волноводно-щелевой линии передачи при различных длинах центральной пластины, при различной ширине щели центральной пластины с нарушением и встраиваемым $p-i-n$ -диодом. Создан макет фотонного кристалла на основе волноводно-щелевой линии передачи.

Проведено экспериментальное исследование созданного фотонного кристалла в виде волноводно-щелевой линии передачи.

Исследованы амплитудно-частотные характеристики структуры при различной длине нарушенного слоя между центральными отрезками волноводно-щелевых линий передачи.

Показана возможность управления амплитудно-частотными характеристиками с помощью встраиваемого $p-i-n$ -диода и исследованы закономерности в процессе изменения различных параметров структуры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Патент РФ на изобретение №2360336. Широкополосная волноводная согласованная нагрузка // Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Абрамов А.В., Боголюбов А.С., Скворцов В.С., Мерданов М.К. Опубл. 27.06.2009. Бюл. № 18. (по заявке на изобретение 2008106244/09 от 21.02.2009. МПК H01P 7/00 (2006.01)).
2. Усанов Д.А., Никитов С.А., Скрипаль А.В., Фролов А.П., Орлов В.Е. Волноводы, содержащие рамочные элементы с электрически управляемыми характеристиками разрешенных и запрещенных зон // Радиотехника и электроника. 2014, том. 59. № 11. С. 1079–1084.
3. Конструирование и расчет полосковых устройств/Под ред. И.С. Ковалева.// М.: Советское радио, 1974. – 295 с.
4. Данилов В. В., Олейник В. В. Волноводные брэгговские структуры с запрещенными зонами в К-диапазоне //Известия ВУЗов. Радиоэлектроника, 2006,
5. Бритун Н. В., В. В. Данилов. Электронное управление параметрами структур с фотонной запрещенной зоной // Письма в ЖТФ, 2003, т.29, вып.7, с. 27-32.
6. Усанов Д.А., Мерданов М.К., Скрипаль А.В., Пономарев Д.В., СВЧ фотонные кристаллы. Новые сферы применения // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика Выпуск № 1 / том 15 / 2015