

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**
(СГУ)

Кафедра физики полупроводников

Изготовление и экспериментальное исследование метаматериалов

АФТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 4052 группы

направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

института физики

Чернышева Глеба Ильича

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Сергеев С.А.

фамилия, инициалы

Зав. кафедрой физики

полупроводников:

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Михайлов А.И.

фамилия, инициалы

Саратов 2021

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика темы.

Исследования метаматериалов представляют, как фундаментальный интерес, так и открывают широкие прикладные возможности по созданию приборов для управления электромагнитным полем, включая новые типы электромагнитных сенсоров, линзы с субволновым разрешением, малогабаритные антенны, “невидимые” объекты, в определенном диапазоне частот и др.

Благодаря искусственному созданию структуры, объект приобретает совершенно новые свойства, которых нет у материалов природного происхождения. Благодаря полученной форме, в структурах изменяется магнитная, диэлектрическая проницаемость, а также иные физические показатели выбранного объекта. В результате данные структуры приобретают уникальные оптические, радиофизические, электрические и иные свойства, которые открывают широкие перспективы для развития научного прогресса. Работы в данном направлении могут привести к появлению совершенно новых устройств.

Цель и задачи бакалаврской работы

Целью данной работы является изготовление и экспериментальное исследование метаматериалов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. литературный обзор по метаматериалам;
2. технологии создания структур (химический, механический, лазерная гравировка, 3D – печать);
3. изготовление структур для прямоугольного волновода WR90 с использованием шелкографии и FDM-печати;
4. измерение коэффициентов отражения и пропускания полученных структур;
5. анализ полученных результатов измерения.

Структура бакалаврской работы.

Кроме ВВЕДЕНИЯ, ЗАКЛЮЧЕНИЯ, СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ работа включает 3 основных раздела:

В разделе 1 исследованы методы изготовления структур.

В разделе 2 описано оборудование и методика измерений.

Раздел 3 посвящен изготовлению и исследованию 2-мерных и 3-мерных структур.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Методы изготовления структур

Структуры на текстолите изготавливались несколькими методами:

В первом методе в программе Altium Designer была создана модель формы омега. Затем, на текстолит с медным слоем, с помощью шелкографии была перенесена модель омеги и используя водный раствор хлорного железа производилось травление. Полученный результат практически схож с результатом, найденным в литературе.

Во втором методе при помощи программы OpenSCAD была создана модель структуры омега, которая впоследствии была изготовлена с помощью ЧПУ станка (числовое программное управление).

К 3D печати относятся изготовление принтерами такими как: FDM принтер, SLA принтер, SLS принтер. В данной работе структуры изготовлены с помощью FDM принтера, используя PETG пластик. В программе OpenSCAD были созданы модели структур с разной длиной и коэффициентом заполнения. (15,35,65,85%).

Оборудование и методика измерений

Измерения проводились на установке КСВН и ослабления P2-61 в диапазоне частот 7,8-12,5 ГГц. Прямоугольный волновод имел сечение 23x10 мм².

Эксперимент

В программе Altium Designer была создана модель формы (рисунок 1, 2) омега с параметрами толщина линии $w = 0,8$ мм, радиус $r = 1,6$ мм, зазор между

линиями $g = 0,6$ мм, длина линий $Hline = 12$ мм. Размер подложки $22,86 \times 10,16$ мм², представлена на рисунке 1.

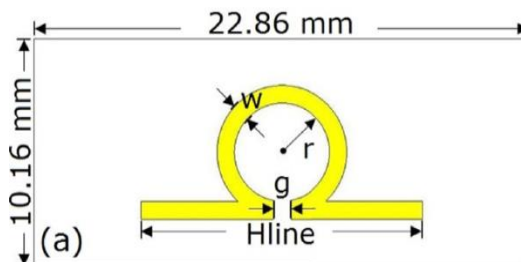


Рисунок 1 – Модель структуры.

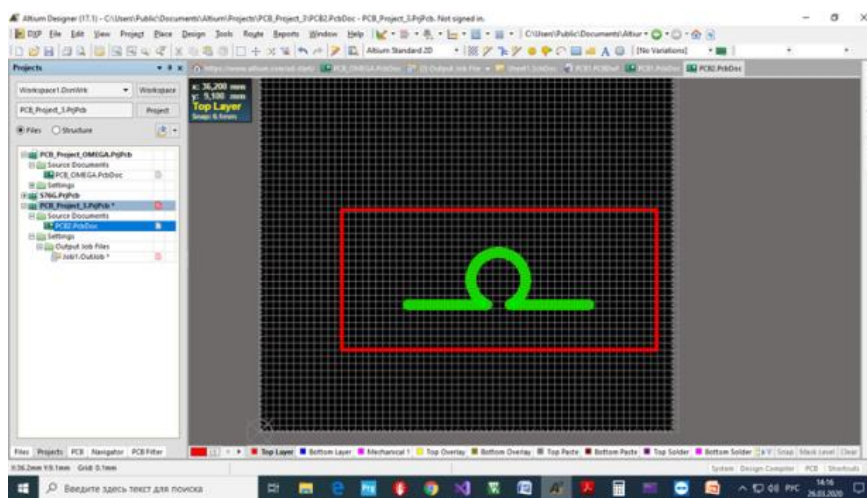


Рисунок 2 – Демонстрация созданной модели в Altium Designer.

На текстолит с медным слоем толщиной 18 мкм, с помощью шелкографии была перенесена модель омеги и, используя водный раствор хлорного железа, производилось травление. Результат представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – 2-мерная структура формы омега.

При помощи программы OpenSCAD была создана модель формы омега, которая в последствии была изготовлена с помощью фрезерно-гравировального станка, представленного на рисунке 4, а на рисунке 5 представлены получившиеся структуры формы омега.



Рисунок 4 – Фрезерно-гравировальный станок.



Рисунок 5 – 2-мерная структура формы омега.

В программе OpenSCAD были созданы модели с одинаковой длиной и шириной. Размеры равны длине $a = 22,86$ мм; ширине $b = 10,16$ мм; при разных высотах c равные 12,44; 13,47; 14,73; 16,30; 18,75; 24,95; 27,25; 30,05; 33,30; 37,37 мм. На рисунке 6 представлена демонстрация модели в OpenSCAD, которая впоследствии была напечатана на 3D-принтере, используя PETG пластик (рисунок 7).

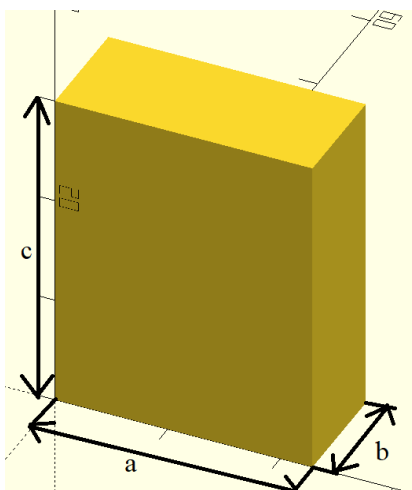


Рисунок 6 – Демонстрация модели в OpenSCAD.

Размеры структуры длина = a , ширина = b и высота = c .



Рисунок 7 – Пример напечатанной структуры на 3D-принтере.

Результаты измерения коэффициентов отражения и пропускания 2-мерных структур на текстолите помещенных в прямоугольный волновод на установке Р2-61, представлены на рисунке 8 и 9.



Рисунок 8 – 2-мерная структура изготовленная с помощью химического метода.

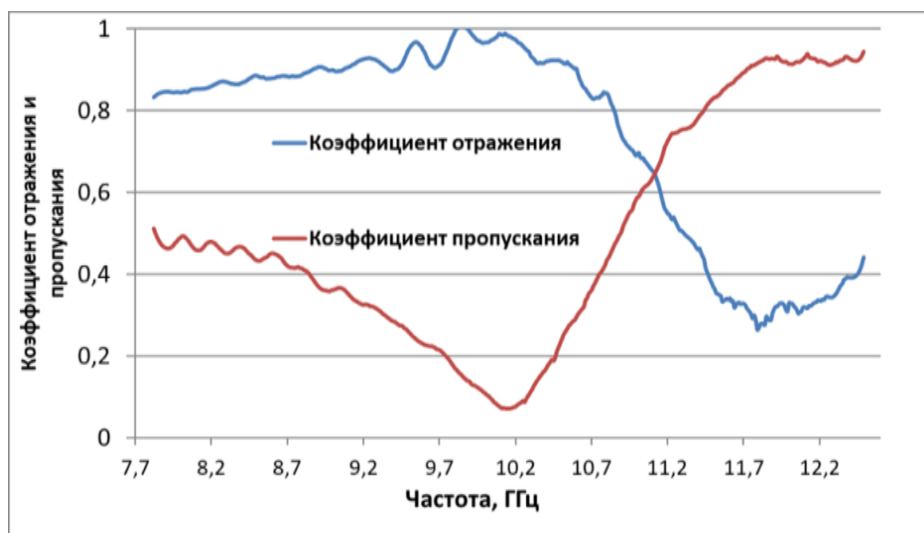


Рисунок 9 – 2-мерная структура изготовленная с помощью механического метода.

На графиках наблюдается переход в диапазоне от 10 до 11 ГГц. Полученный результат практически схож с результатом, найденным в литературе (рисунок 10).

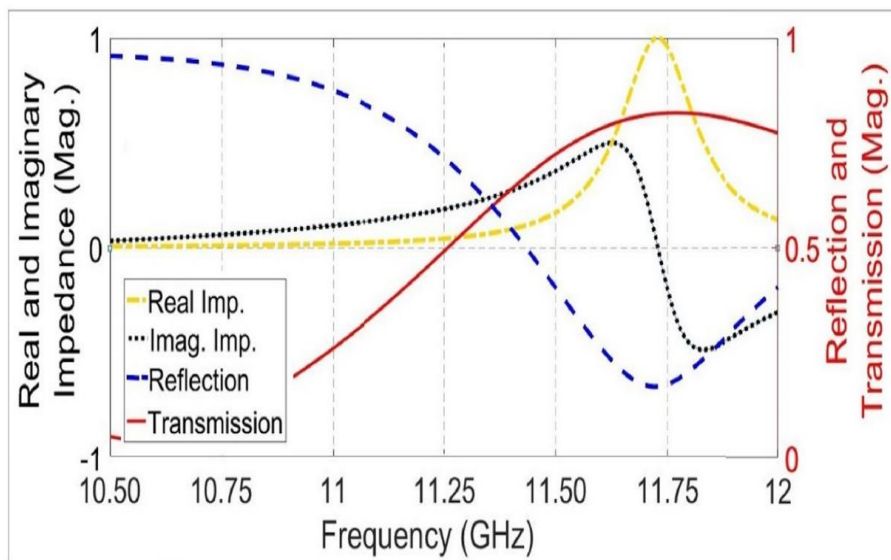


Рисунок 10 – Нормализованный реальный импеданс, мнимый импеданс, величина отражения и величина передачи предлагаемой структуры.

Результаты измерения коэффициентов отражения 3-мерной структуры, помещенной в прямоугольный волновод на установке P2-61, представлены на рисунке 11. Из графика следует, что минимальный коэффициент отражения при уменьшении длины структуры смещается в область больших частот.



Рисунок 11 – График зависимости коэффициента отражения и пропускания от частоты. Длина структуры 37,7 мм, коэффициент заполнения 100 % :1 – первый минимум, 2 – второй минимум.

Здесь мы можем наблюдать два минимума, которые с уменьшением длины структуры, смещаются в область больших частот. На рисунках 12-14 показано смещение от длины структуры при коэффициенте заполнения 100 %, 50 % и 20 %. Видно, что при всех заполнениях частота минимумов

уменьшается, при увеличении длины. На рисунке 15 можем наблюдать изменение положения минимумов для структур длиной 30 мм. С увеличением коэффициента заполнения, минимумы смещаются в область низких частот.

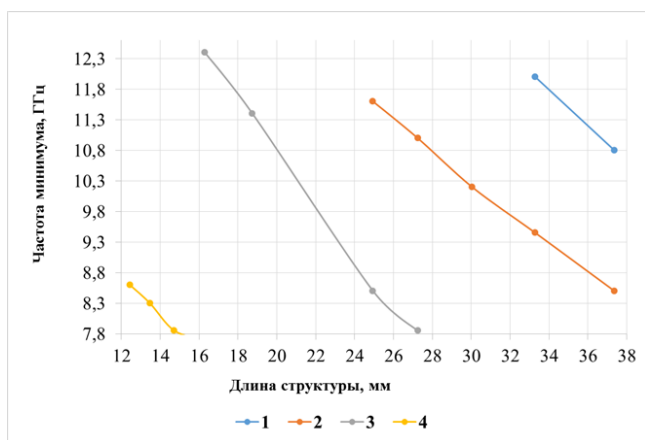


Рисунок 12 – График зависимости частоты минимума от длины структуры при коэффициенте заполнения 100 %.

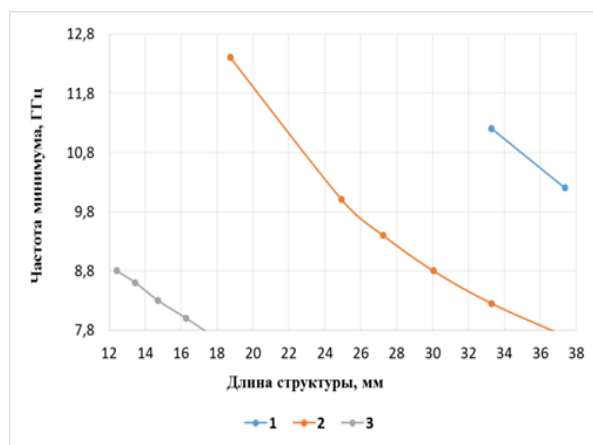


Рисунок 13– График зависимости частоты минимума от длины структуры при коэффициенте заполнения 50 %.

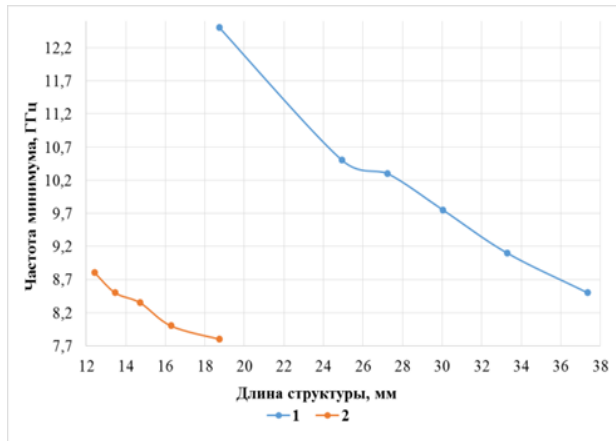


Рисунок 14 – График зависимости частоты минимума от длины структуры при коэффициенте заполнения 20 %.

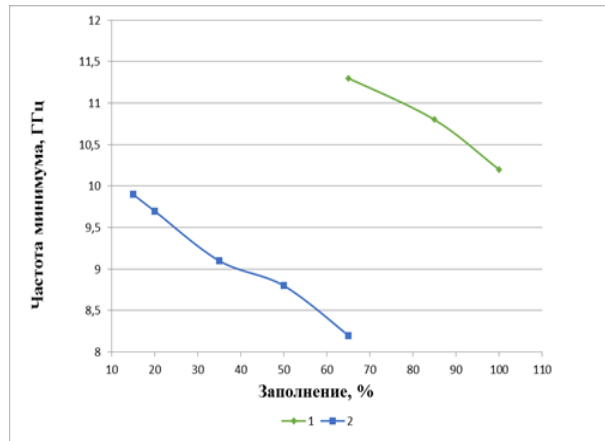


Рисунок 15 – График зависимости Частоты минимума от коэффициента заполнения при длине структуры 30 мм.

На рисунке 16 наблюдается две структуры омега, а между ними 3-мерная структура длиной 18,8 мм при различном коэффициенте заполнения.



Рисунок 16 – Комбинация структур.

На рисунке 17 видно, что при уменьшении коэффициента заполнения минимум смещается в область более высоких частот. Наблюдается плато от 8,6 ГГц до 10 ГГц. И при уменьшении коэффициента заполнения происходит смещение левой границы плато в область более высоких частот. Аналогичная зависимость наблюдается и на рисунке 17.

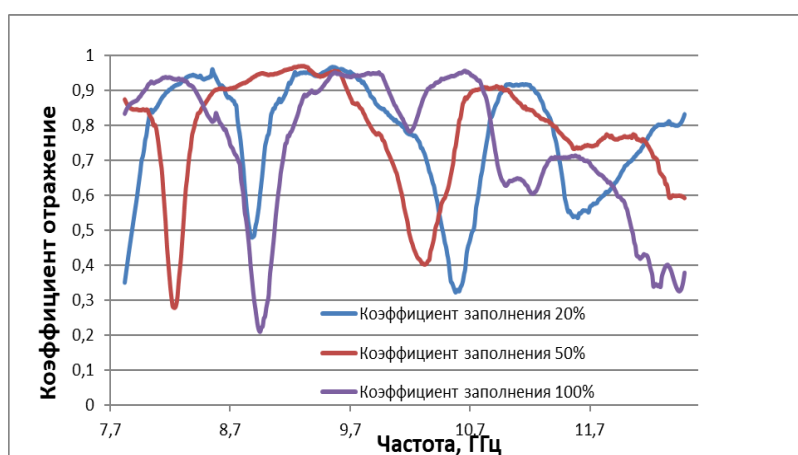


Рисунок 17 – График зависимости коэффициента отражения от частоты при коэффициенте заполнения 20 %, 50 %, 100 %.

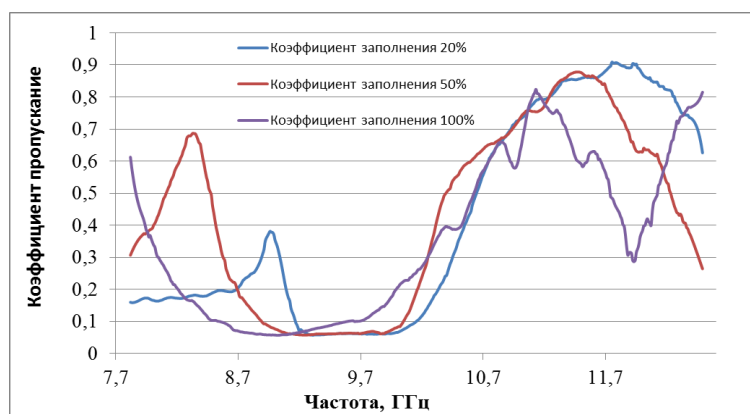


Рисунок 18 – График зависимости коэффициента пропускания от частоты при коэффициенте заполнения 20 %, 50 %, 100 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы были изучены методы изготовления структур применимые для трех сантиметрового диапазона. Данная технология позволяет изготавливать, например, полосовые и режекторные фильтры.

Таким образом, в результате проведенной работы можно сделать выводы:

1. Был проведен литературный обзор по технологиям изготовления структур.

2. Были изготовлены структуры формы «омега» на текстолите с применением двух методов. Результаты измерения данных структур схожи с найденной литературой.

3. Были изготовлены структуры на FDM принтере с различной длиной и коэффициентом заполнения. Экспериментальное исследование демонстрирует:

- Смещение минимумов в область низких частот при увеличении коэффициента заполнения.

- Смещение минимумов в область низких частот в результате увеличения длины структуры.

4. Скомбинирована структура, состоящая из двух структур омега которые перевернутые и между ними помещена структура из PETG длиной 18 мм наблюдается. Экспериментальное исследование демонстрирует:

- Минимум (11,8 ГГц) смещается в область более высоких частот при уменьшении коэффициенте заполнения.

- Наблюдается плато от 8,6 ГГц до 10 ГГц и при уменьшении коэффициента заполнения происходит смещение левой границы плато в область более высоких частот.