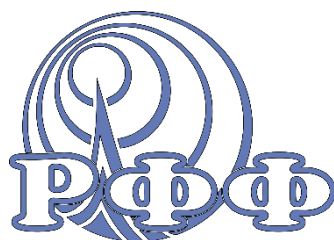


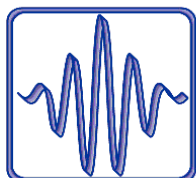


Национальный
исследовательский

**Томский
государственный
университет**



Радиофизический факультет



9-я Международная научно-практическая конференция
**Актуальные проблемы радиофизики
АПР-2021**

Сборник трудов конференции

при поддержке:



20-22 октября 2021 года
г. Томск

Широкополосная селекция КВЧ излучения метаматериальной поверхностью, полученной фотолитографией

Билинский Кирилл Владимирович

*Дорожкин Кирилл Валерьевич, Москаленко Виктория Дмитриевна, Кулешов Григорий Евгеньевич,
Бадьин Александр Владимирович, Трофимов Егор Александрович, Бердюгин Александр Игоревич
Национальный исследовательский Томский государственный университет
E-mail: thzlab@mail.ru*

В 60-х годах прошлого века появилось описание необычных свойств сред с одновременно отрицательными значениями диэлектрической и магнитной проницаемостей. Для таких сред знак показателя преломления мог быть отрицательным вследствие изменения направления вектора Пойнтинга на противоположное, которое образует с векторами напряженностей магнитного и электрических полей левовинтовую тройку. По этой аналогии среды получили название «левых» или отрицательно преломляющих. В англоязычной литературе такие среды чаще упоминаются как LHM (left-handed materials). В последнее время широкое распространение получил термин «метаматериал», который указывает на зависимость свойств материала от особенностей искусственно созданной конструкции из наноразмерных емкостных и индуктивных элементов. Явление отрицательной рефракции электромагнитных волн нашло применение в создании частотно-избирательных диэлектрических метаповерхностей, которые можно представить как фильтр, управляющий волновым фронтом в режиме отражения или передачи путем введения резких фазовых изменений в определенных частотных диапазонах [1, 2]. Особенно актуально создание метаматериальных поверхностей с геометрическими размерами, позволяющими получить частотно-избирательную характеристику для различных частотных диапазонов.

Представляет интерес провести комплексное исследование характеристик таких структур используя математическое моделирование электромагнитного отклика и измерения методом непрерывной спектроскопии в КВЧ диапазоне.

В рамках данной работы был создан образец метаматериала (Рис. 1а), который представляет собой массив из одинаковых элементарных split-ring ячеек, полученных методом двухсторонней фотолитографии на текстолите.

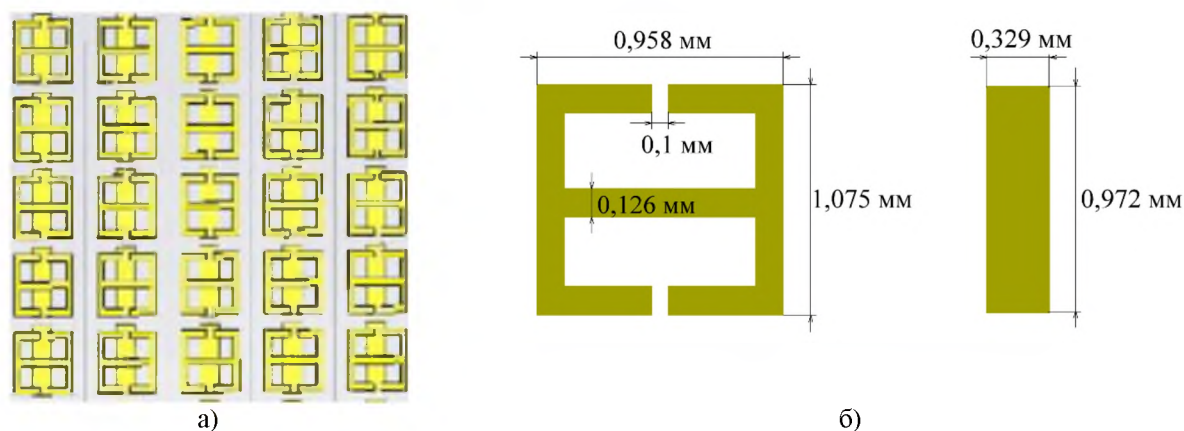


Рис. 1 Модель метаматериальной поверхности (а); геометрические размеры отдельных элементов (б)

На верхней стороне текстолита нанесена металлизация в виде электрически связанных между собой контуров, имеющих небольшой разрыв. На нижней стороне ортогонально общей стенке контуров расположены отрезки проводников. Размеры элементов приводятся на рис. 1б. Толщина металлизации равна 18 мкм. Элементы, составляющие метаматериал, разнесены в пространстве на толщину текстолита FR4, равную 0,3 мм. Действительная часть диэлектрической проницаемости подложки $\epsilon' = 4,3$; тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta = 0,025$.

Исследование спектров коэффициента прохождения проводилось на спектрометре терагерцового диапазона СТД-21 (Рис. 2) в интервале частот от 34 до 177 ГГц. Для перекрытия указанного диапазона были использованы четыре лампы обратной волны (ЛОВ) пакетированного типа. Детектирование осуществлялось при помощи оптоакустического преобразователя (ячейка Голея).

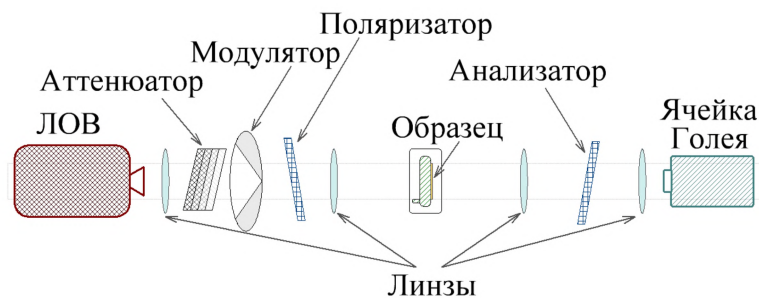


Рис. 2 Схема спектрометра терагерцового диапазона СТД-21

Излучение, генерируемое источником, имеет линейную поляризацию. Образец располагался таким образом относительно падающей электромагнитной волны, чтобы вектор электрической поляризации \vec{E} был ориентирован вдоль проводников на нижнем слое и ортогонален общей стенке контуров.

Теоретический расчет электромагнитного отклика происходил в программном продукте CST Studio. Моделирование осуществлялось в частотном диапазоне 30 – 200 ГГц (Рис. 3). Как видно из полученных результатов, для образца метаматериала при таком расположении наблюдается минимум коэффициента прохождения (менее 10%) в широком интервале частот от 54 до 130 ГГц. При этом коэффициент отражения в том же диапазоне превышает 85%, что говорит о создании эффективного заграждающего фильтра. Также данная структура обладает узким пиком поглощения на частоте 55 ГГц.

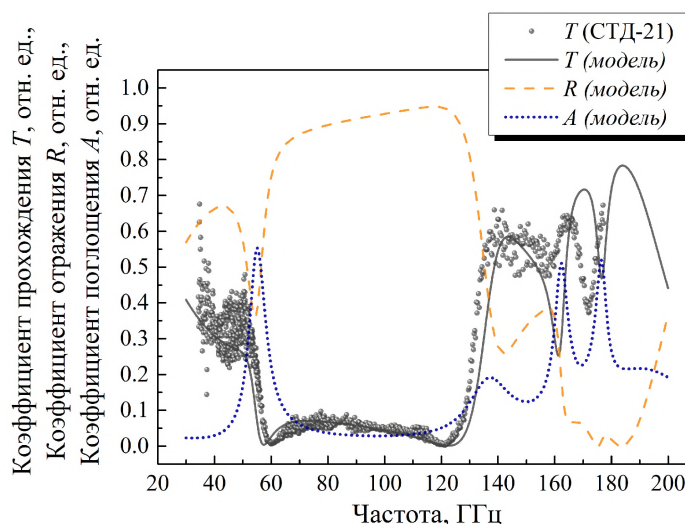


Рис. 3 Результаты измерения и моделирования электромагнитного отклика от метаматериала

Стоит отметить, что спектры коэффициентов прохождения, полученные на практике, хорошо согласуются с теоретическими расчетами, что позволяет говорить о корректности получаемых результатов.

Полученная структура метаматериальной поверхности позволяет создавать конструкцию с высокой отражательной способностью в широком диапазоне частот, причем данный материал также будет обладать узкополосными максимумами поглощения. Применение двух таких материалов с разной топологией могут позволить выделить узкую полосу полезного КВЧ-сигнала, так как каждый из материалов в отдельности является полосно-заграждающим фильтром с достаточно высоким коэффициентом прямоугольности.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № FSWM-2020-0038.

Список публикаций:

- [1] Veselago V. G. // *Electromagnetic Materials*. 2003. С. 115–122
 [2] Landy N., Mock J., Padilla W. // *Physical Review Letters*. 2008. Т. 100. С. 207402