

**П. В. Сомов**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **И. В. Семченко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАМАТЕРИАЛА ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЛН В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ**

Исследование метаматериалов и метаповерхностей является весьма актуальной задачей для исследователей, так как уникальные свойства последних позволяют проектировать всё более сложные технические устройства, а также улучшить свойства уже имеющихся устройств. Метаматериалы применяются в различных областях науки и техники, например, в фотонике, оптике, радиофизике, физике твёрдого тела [1]. Особенно привлекательны метаповерхности, позволяющие достичь требуемых результатов даже при малой толщине структуры [2].

Задачей данной работы является спроектировать метаматериал для фильтрации отражённых волн для заданных частот терагерцового диапазона.

Данную задачу можно разделить на следующие шаги:

1. Постановка задачи, выбора объекта и предмета исследования.
2. Выбор параметров исследования модели.

3. Создание 3D модели исследуемой структуры, используя набор инструментов для построения геометрии в Comsol, либо импорт модели из CAD-программ [3].

4. Выбор материалов для исследуемых структур (необходимо определить материал подложки и структурных элементов метаматериала).

5. Выбор корректных граничных и начальных условий для решения задачи (начальные условия требуются для нестационарного анализа, в случае стационарного анализа достаточно выбрать граничные условия).

6. Задание свойств электромагнитного поля (модули электрического и магнитных полей, углы наклона векторов), выбор представления волнового уравнения в рассматриваемых элементах структуры.

7. Создание согласованной сетки метода конечных элементов.

8. Настройка алгоритма решения поставленной задачи и дальнейший анализ полученных результатов.

Геометрическая форма элемента метаматериала была выбрана близкой к П-образной (рисунок 1). Классическая П-образная форма имеет место при отсутствии выступов. Если направление выступов изменяется на противоположное, то элемент метаматериала приобретает прямоугольную омега-образную форму. Размеры мета-атомов должны удовлетворять условию полуволнового резонанса [4, 5]

$$P = \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где  $P$  – длина элемента в выпрямленном состоянии,  
 $\lambda$  – длина волны терагерцового излучения.

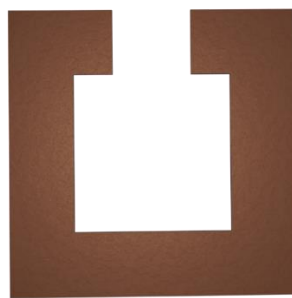


Рисунок 1 – Элемент метаматериала (микро-резонатор)

Точные размеры микро-резонатора можно подобрать путём моделирования периодической структуры в компьютерной среде Comsol при заданной частоте излучения, падающего на структуру. Для

максимизации резонанса необходимо решить оптимизационную задачу по поиску необходимых геометрических параметров.

В данном исследовании интересующими нас характеристиками будут являться: поляризация отражённой волны, коэффициент поглощения падающего излучения, распределение электромагнитного поля в структуре, оптимальные геометрические параметры.

В качестве материала микро-резонатора можно выбрать медь, серебро, золото, нихром (или другой материал, обладающий проводящими свойствами), в качестве подложки – материал, обладающий диэлектрическими свойствами.

Так как в реальных образцах метаматериалов используются периодические структуры, то для полноценного исследования образца необходимо смоделировать фрагмент массива периодической структуры (рисунок 2).

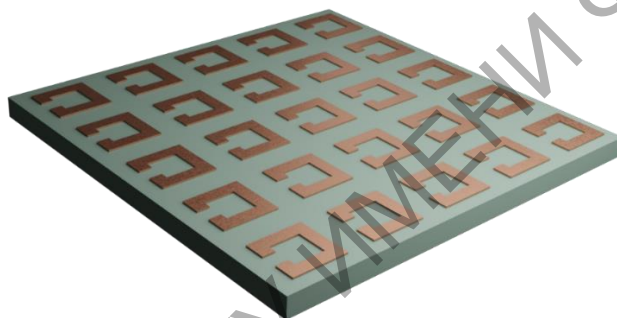


Рисунок 2 – Моделируемый метаматериал

Так как задача является стационарной, то необходимо указать корректные граничные условия всех элементов, входящих в данную рассматриваемую систему. Материал микро-резонаторов в первом приближении можно считать идеальным проводником (Perfect Conductor), чтобы не учитывать дополнительные параметры при вычислениях, так как в рамках поставленной задачи эти эффекты будут несущественными. В случае, если необходимо оставить границы открытыми, то граничными условиями станут идеально согласованные слои (Perfect Matched Layers).

После задания граничных условий можно приступить к настройке волнового уравнения падающего излучения. Данная опция позволяет выбрать как компоненты вектора напряжённости, так и угол наклона вектора напряжённости.

Заключительными этапами моделирования являются выбор размера элемента сетки (Meshing) и настройка параметров алгоритма

решения. После чего можно получить графики зависимости исследуемых характеристик электромагнитного поля терагерцового диапазона для дальнейшего анализа.

## Литература

1. Сомов, П. В. Киральные метаматериалы на основе волнистых поверхностей / П. В. Сомов // Актуальные вопросы физики и техники: X Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов : материалы : в 2 ч. Ч. 1. (Гомель, 22 апр. 2021 г.) / ГГУ им. Ф. Скорины ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 194 – 196.

2. Asadchy, V. S. Bianisotropic metasurfaces: physics and applications [Electronic resource] / V. S. Asadchy, A. Diaz – Rubio, S. A. Tretyakov // ResearchGate, 2018. – Mode of access: <https://www.researchgate.net/publication/324465386>. – Date of access: 12.02.2023.

3. Сомов, П. В. Метаматериалы на основе двойных спиралей с применением методов 3D-печати / П. В. Сомов // Актуальные вопросы физики и техники: XI Респуб. научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов : материалы: в 2 ч. Ч. 1. (Гомель, 21 апр. 2022 г.) / ГГУ им. Ф. Скорины ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2022. – С. 120 – 123.

4. Семченко, И. В. Поляризационная селективность электромагнитного излучения ДНК / И. В. Семченко, С. А. Хахомов, А. П. Балмаков // Радиотехника и электроника. – 2007. – Т.52, № 9. – С. 1078–1083.

5. Сомов, П. В. Проектирование метаматериалов на основе парных спиралей на волнистых поверхностях / П. В. Сомов, И. В. Семченко, А. Л. Самофалов, С. А. Хахомов. – Астрахань : Технические средства систем управления и связи. – 2021. – С 140–143.