

## МЕТАПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛЕНТ

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Численно исследовано взаимодействие плоской электромагнитной волны с метаповерхностями, элементы которых состоят из металлодиэлектрических лент различной конфигурации. Установлено, что замена сплошных проводников слоистыми металлодиэлектрическими структурами, а также использование металлических перемычек между лентами позволяет существенно расширить электромагнитные свойства метаповерхностей и метаматериалов.

Метаматериалы и метаповерхности представляют большой интерес для разработки электродинамических систем различного назначения (частотно-селективных поверхностей, пространственно-поляризационных фильтров, поляризаторов, радиопоглощающих материалов и покрытий) [1-3].

На основе метода минимальных автономных блоков [4], метода конечных интегралов [5] и теории периодических структур [6] разработаны вычислительные модели метаповерхностей в виде плоских периодических решеток из элементов, образованных из параллельных металлических лент, пространство между которыми заполнено диэлектриком. Форма элементов может быть произвольной. В состав структурных элементов метаповерхностей могут входить металлические перемычки.

На базе разработанных вычислительных моделей исследовано взаимодействие плоской линейно поляризованной электромагнитной волны с метаповерхностями, в состав которых входят угловые элементы, плоские и объемные спирали, омега-частицы. Рассмотрено влияние слоистости элементов и наличие металлических перемычек между лентами на электромагнитные свойства метаповерхностей.

В качестве примера исследованных структур рассмотрим взаимодействие плоской линейно поляризованной электромагнитной волны с метаповерхностью, элементами которой являются омега-частицы из слоистых металлодиэлектрических лент. Фрагмент метаповерхности представлен на рисунке 1.

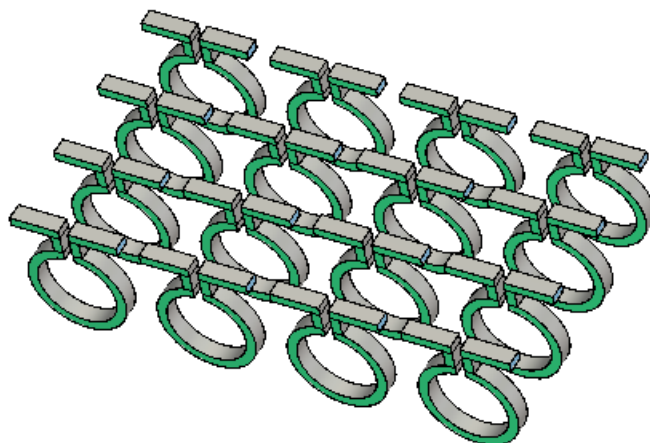


Рисунок 1 – Метаповерхность из омега-частиц.

Омега-частицы широко используются в составе композитов, метаматериалов и метаповерхностей с бианизотропными свойствами. За счет формы частиц в них реализуется магнитоэлектрическое взаимодействие электрической и магнитной компонент электромагнитного поля. Обычно омега-частицы изготавливаются из проводника круглого или прямоугольного сечения. Использование вместо сплошных проводников металлодиэлектрических лент позволяет осуществлять управление свойствами метаповерхностей не только за счет конструк-

ционных параметров  $\omega$ -частиц, но и путем изменения диэлектрической проницаемости материала между металлическими лентами, введением проводящих перемычек на торцах и во внутренней области лент. Ниже представлены результаты моделирования для однослойных решеток из  $\omega$ -частиц со следующими конструкционными параметрами: толщина металлической ленты равна 0.1 мм; ширина металлической ленты равна 5 мм; радиусы внешнего и внутреннего металлических колец соответственно равны 15 и 14 мм; длины прямолинейных полосков равны радиусу внешнего кольца.

На рисунках 2 и 3 представлены результаты моделирования для структуры, в которой внутренний слой лент соответствует вакууму. Рассмотрено два варианта метаповерхности, различающиеся наличием и отсутствием металлических прямоугольных пластин на торцах лент  $\omega$ -частиц.

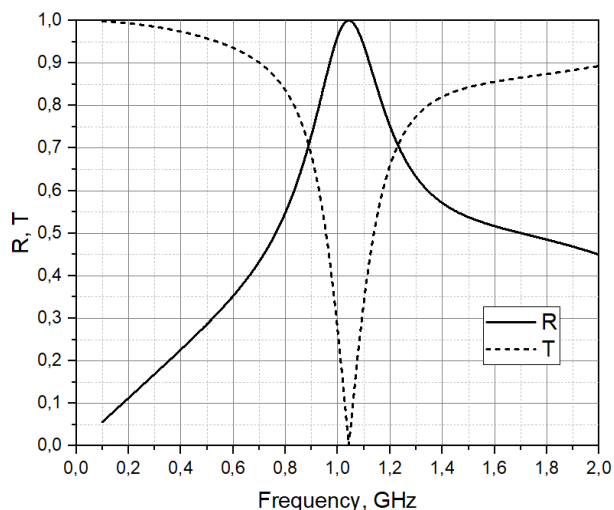


Рисунок 2 – Частотная зависимость модуля коэффициентов отражения и прохождения для метаповерхности из слоистых  $\omega$ -частиц с металлизированными торцами.

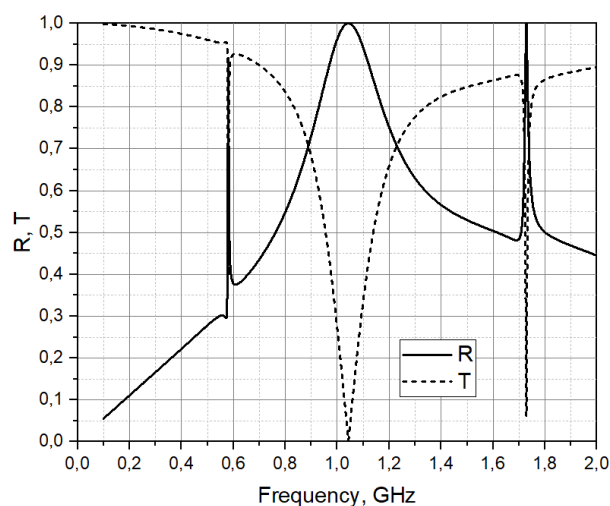


Рисунок 3 – Частотная зависимость модуля коэффициентов отражения и прохождения для метаповерхности из слоистых  $\omega$ -частиц с одним металлизированным торцом.

Анализ результатов моделирования подтверждает возможность использования слоистых металлодиэлектрических лент для расширения электромагнитных свойств метаповерхностей и метаматериалов. Слоистость лент приводит к возникновению дополнительных резонансов в частотной зависимости коэффициентов отражения и прохождения, обусловленных интерференцией электромагнитного поля, возбуждаемого наведенными электрическими токами на поверхности металлических лент, и полей, сосредоточенных между металлическими лентами. Металлические перемычки, соединяющие ленты, позволяют управлять резонансными частотами полосковых резонаторов, образованных лентами.

#### Список литературы

1. B. Munk, Frequency-Selective Surfaces: Theory and Design, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2000.– 410 p.
2. Nader Engheta and Richard W. Ziolkowski. Metamaterials: physics and engineering explorations. Wiley. – 2006.
3. K. Achouri and C. Caloz, Electromagnetic Metasurfaces: Theory and Applications. Wiley - IEEE Press. – 2021.
4. Никольский В. В., Никольская Т. И. Декомпозиционный подход к задачам электродинамики. -М.: Наука, 1983.-304 с.
5. M. Clemens, T. Weiland, "Discrete Electromagnetism with the Finite Integration Technique"// Progress In Electromagnetics Research, PIER 32, 2001.– P. 65–87
6. N. Amitay, V. Galindo, and C. P. Wu, Theory and Analysis of Phased Array Antennas, Wiley-Interscience, Hoboken, NJ, 1972.