

О. Н. ПРОЦ, В. В. ШЕПЕЛЕВИЧ

МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

МЕТАМАТЕРИАЛЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ПРЕЛОМЛЕНИЕМ

Природные физические материалы для оптики изучаются уже давно. Они хорошо известны и успешно применяются в различных областях науки и техники.

Искусственные изменения, которые претерпевают физические материалы, могут приводить к появлению новых структур. К таким структурам относятся и метаматериалы.

Метаматериал – композиционный материал, свойства которого обусловлены не только свойствами составляющих его элементов, но и совершенно новыми неожиданными свойствами, которые не проявляются у его составляющих.

Многие метаматериалы обладают уникальными оптическими, электрофизическими и радиофизическими свойствами, которые не обнаруживаются в природных материалах.

Разработка таких метаматериалов позволяет получить неожиданные электромагнитные свойства, например, отрицательное преломление электромагнитных волн, обращенные эффекты Доплера и Вавилова – Черенкова, искусственный магнетизм в оптике и др. [1].

В отличие от обычных природных материалов строительными элементами метаматериалов являются не атомы и молекулы, а более крупные объекты, в виде электромагнитных резонаторов, нередко в форме спиралей, разорванных или омегаобразных колец, металлических пластинок, металлических цилиндров.

Спектр возможных применений, разрабатываемых в настоящее время, электромагнитных метаматериалов огромен. Сюда входят СВЧ, радиочастоты, оптический диапазон. По своим свойствам это обычно метаматериалы с экстремально низкими или высокими значениями диэлектрической проницаемости.

Потенциальные области применения метаматериалов охватывают многие направления науки и техники, использующие электромагнитное излучение (от медицины до космических систем).

В данной работе мы сосредоточим внимание на особенностях строения метаматериалов, обладающих отрицательным преломлением.

Материалы, у которых отрицательна относительная диэлектрическая проницаемость ϵ либо магнитная проницаемость μ , на принятом зарубежном сленге называют SNG материалами (single negative, мононегативные).

Если $\epsilon < 0$, а $\mu > 0$, то SNG-материалы называются ENG-материалами (ϵ – негативные).

Если $\epsilon > 0$, а $\mu < 0$, то SNG-материалы называются MNG-материалами (μ – негативные).

Возможно множество вариантов создания метаматериалов. Рассмотрим несколько случаев.

1. Диэлектрическая матрица с упорядоченно внедрёнными металлическими наноцилиндрами. Цилиндры располагаются параллельно друг другу. Возможные размеры расположения этих цилиндров: 1см×1см. На цилиндры напыляется серебро либо золото слоем, толщина которого приблизительно составляет 50 нм. Свойства таких структур впервые были продемонстрированы при изучении отрицательного показателя преломления на длине волны 780 нм (рисунок 1) [2].

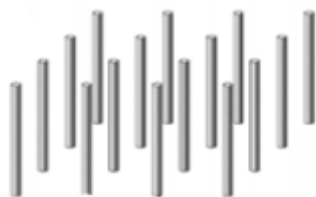


Рисунок 1. – Диэлектрическая матрица с упорядоченно внедрёнными металлическими наноцилиндрами

2. Модель кирального метаматериала в виде ДНК-подобных двойных спиралей. Такая спираль способна поворачивать плоскость поляризации СВЧ-излучения на определенный угол.

3. Если совместить диэлектрическую матрицу с цилиндрами и системой разорванных медных колец, то мы получим такой же эффект как от ДНК-подобных двойных спиралей.

4. Модель метаматериала, составленная из структуры линейно расположенных медных разорванных колец либо двойных разорванных колец, помещенных один внутри другого, с разрезами, направленными в противоположные стороны. Такие резонаторы (рисунок 2) обнаруживают поглощение СВЧ-излучения с соответствующей длиной волны, проявляя некоторые свойства мета-кожи. Мета-кожа представляет собой гибкий и эластичный материал, который может скрывать объект от радаров. В основе мета-кожи находятся полимеры с имплантированными частицами жидкого металла. Именно частицы жидкого галлистана, которым заполняют электрические резонаторы на мета-коже, способны поглощать до 75% радиоволн в диапазоне от 8–10 ГГц. Проблема использования галлистана в качестве отражателя состоит в том, что он токсичен [3].



Рисунок 2. – Модель метаматериала, составленная из множества линейно распределённых медных разорванных колец резонатора в жидком галлистане

Рассмотрим еще один интересный случай. Это получение метаматериала при напылении на определенную подложку серебра и кремния.

За подложку можно взять стеклянную пластинку, на нее нужно будет напылить слой серебра, затем слой кремния. При прохождении светового луча через этот образец будет наблюдаться отрицательная длина оптического пути [4].

Самые элементарные метаматериалы можно изготовить и использовать на уроках физики в школе. На наш взгляд, демонстрация опытов с использованием метаматериалов может заинтересовать современную молодежь и стать фундаментом для дальнейших исследований увлечённых молодых людей в области создания и применения метаматериалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Веселаго, В.Г. Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями ϵ и μ // В.Г. Веселаго // УФН. – 1967. – Т. 92, № 3. – С. 517–526.