DOI: 10.17117/na.2016.10.03.413

<http://ucom.ru/doc/na.2016.10.03.413.pdf>

Поступила (Received): 24.10.2016

Пукса А.О., Васильева А.В., Шевченко А.А. Метаматериалы как новое перспективное направление в науке

Puksa A.O., Vasileva A.V., Shevchenko A.A.
Metamaterials as a promising new direction in science

Метаматериал – композиционный материал, освоение которого началось на рубеже XX и XXI веков. Искусственная периодическая структура в составе метаматериала модифицирует его диэлектрическую и магнитную проницаемости, что позволяет управлять законами отражения и преломления электромагнитных волн, дисперсии в метаматериале. Рассмотрены основные резонаторы, применяемые в метаматериалах. Уделено внимание областям применения данных материалов

Ключевые слова: метаматериалы, диэлектрическая проницаемость, магнитная проницаемость, показатель преломления, резонаторы

Пукса Артём Олегович

Аспирант, инженер-программист 2 категории
Омский научно исследовательский институт
приборостроения;
Омский государственный технический
университет
г. Омск, ул. Масленникова, 231;
г. Омск, пр. Мира, 11

Васильева Александра Васильевна

Аспирант, инженер-программист 2 категории
Омский научно исследовательский институт
приборостроения;
Омский государственный технический
университет
г. Омск, ул. Масленникова, 231;
г. Омск, пр. Мира, 11

Metamaterial – composite which development began at a boundary of XX and the XXI centuries. The simulated periodic structure as a part of metamaterial modifies its dielectric and magnetic transmittivities that allows to operate laws of reflection and refraction of electromagnetic waves, dispersions in metamaterial. The main resonators used in metamaterials are considered. The attention is paid to ranges of application of these materials

Key words: metamaterials, dielectric permittivity, magnetic conductivity, index of refraction, resonators

Puksa Artem Olegovich

Graduate, Software Engineer 2 categories
Omsk communications research institute;
Omsk state technical university
Omsk, Maslenikova st., 231;
Omsk, Mira ave., 11

Vasileva Aleksandra Vasilevna

Graduate, Software Engineer 2 categories
Omsk communications research institute;
Omsk state technical university
Omsk, Maslenikova st., 231;
Omsk, Mira ave., 11

Шевченко Александр Александрович

Аспирант, инженер-программист 3 категории
Омский научно исследовательский институт
приборостроения;

Омский государственный технический
университет

г. Омск, ул. Масленикова, 231;

г. Омск, пр. Мира, 11

Shevchenko Aleksandr Aleksandrovich

Graduate, Software Engineer 3 categories
Omsk communications research institute;

Omsk state technical university

Omsk, Maslenikova st., 231;

Omsk, Mira ave., 11

В течение прошедших лет ученые научились производить материалы с необычными оптическими свойствами, так называемые метаматериалы. Их применение – это новое и чрезвычайно перспективное направление в науке. Что это за материалы и что делает их интересными для применения?

Метаматериал – композиционный материал, свойства которого обусловлены не столько свойствами составляющих его элементов, сколько искусственно созданной периодической структурой [1]. Его освоение началось на рубеже XX и XXI веков. Идея о создании нового материала с отрицательным показателем преломления впервые возникла у советское и русского физика Виктора Веселаго. Интересно то, что его статья в журнале «Успехи физических наук» за 1967 г. стала наиболее цитируемой публикацией в истории издания. В своей работе В.Г. Веселаго показал, что рефракция – отклонение электромагнитной волны при прохождении границы раздела двух сред – изменяется в материалах с отрицательным коэффициентом преломления. В условиях, когда оба материала имеют одинаковый знак коэффициента преломления, волна, пересекая границу раздела, появляется на противоположной стороне линии, проходящей перпендикулярно к этой границе (нормаль к поверхности). Однако, если коэффициент преломления у одного материала положительный, а у другого – отрицательный, то волна будет появляться на той же стороне нормали, с которой она подходила к границе раздела [2].

Метаматериалы в природе не существуют. Это объекты, созданные исключительно человеком, позволяющие за счет созданной неоднородности их структуры управлять свойствами света и добиваться захватывающих эффектов. Главная их особенность – отрицательный показатель преломления, который проявляется при одновременной отрицательности диэлектрической и магнитной проницаемостей.

Метаматериалы синтезируются внедрением в исходный природный материал различных периодических структур с самыми различными геометрическими формами, которые модифицируют диэлектрическую ϵ и магнитную μ восприимчивости исходного материала.

Строительными блоками метаматериалов являются электромагнитные резонаторы, обычно в виде металлических полосок, спиралей, разорванных колец (рис.1) [1].

Изменяя форму, размеры, взаимное расположение резонаторов, можно направленно формировать свойства метаматериалов.

Для всех сред, существующие в природе, лучи падающего и преломленного света находятся по разные стороны от нормали, восстановленной к границе раздела сред в точке преломления.

Рис. 1. Включения, применяемые при изготовлении метаматериалов: проволока (а), разрезанное кольцо (б), нагруженное кольцо (в), двойное разрезанное кольцо (г), Ω -включение (д), спираль (е), бифилярная спираль (сегнетоэлектрические куб (з) и шар (и), рулет (к)

Хорошо известны природные материалы с отрицательной диэлектрической проницаемостью – это любой металл при частотах выше плазменной частоты. В этом случае $\epsilon < 0$ достигается за счет того, что свободные электроны в металле экранируют внешнее электромагнитное поле. Гораздо труднее создать материал с $\mu < 0$, в природе такие материалы не существуют.

Для достижения $\mu < 0$ используют систему проводящих колец с зазором, помещенных в переменное магнитное поле.

Д.Р. Смит с сотрудниками сформировали комбинацию структур Дж.В. Пендри с отрицательной диэлектрической и магнитной проницаемостями (рис. 2). Образованная структура обладала отрицательным коэффициентом преломления [3].

Рис. 2. Комбинация структур с отрицательной диэлектрической и отрицательной магнитной проницаемостями (экспериментальная реализация)

Метаматериальная структура Дж. Пендри и Д.Р. Смита анизотропна. Она управляет распространением плоских волн, волновой вектор которых параллелен плоскости, вдоль которой сформирована периодическая структура электрических и магнитных моментов [1].

Физики из университета штата Айова и университета Карлсруэ в Германии сумели создать метаматериал с показателем преломления – 0.6 для красного света с длиной волны 780 нм.

Пример того, как как выглядел бы отрицательный показатель преломления для воды (рис.3).

Метаматериалы позволят работать с любыми длинами волн – и для любых целей.

Рис. 3. Отрицательный показатель преломления для воды

Потенциальное применение метаматериалов охватывает все области, в которых используется электромагнитное излучение – от космических систем до медицины. Работы области нанопотоники позволяют создать устройства, гораздо быстрее обрабатывающие информацию, чем существующие компьютеры. Благодаря тому, что метаматериалы обладают отрицательным показателем преломления, они идеальны для маскировки объектов, так как их невозможно обнаружить средствами радиолокации.

Основными достижениями с использованием метаматериалов являются: суперлинза; видение сквозь стены; блеф-стена; антизеркало; плащ-невидимка.

В каждой из областей ученые добились хороших достижений, но пока технологии на основе метаматериалов не получили широкого применения в обществе. Основная проблема во всех областях-миниатюризация технологий.

Список используемых источников:

1. Лагарьков А.Н., Кисель В.Н., Сарычев А.К., Семененко В.Н. Электрофизика и электродинамика метаматериалов // ИТПЭ РАН, 2010. С.30
2. Вендик И.Б., Вендик О.Г. Метаматериалы и их применение в технике сверхвысоких частот // Санкт-Петербургский электротехнический университет. Журнал технической физики, 2013, том 83, вып. 1 С.3-18.
3. Shelby R.A., Smith D.R., Schultz S. // Science. 2001. Vol. 292, P. 77–79.