

**О КНИГЕ «ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ПРЕЛОМЛЕНИЕ ВОЛН. ВВЕДЕНИЕ
В ФИЗИКУ И ТЕХНОЛОГИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
МЕТАМАТЕРИАЛОВ»**

Кузьмичёв А. Г.¹, к.т.н., доцент; Вольпян О. Д.²

¹ НТУУ «КПИ», ФЭЛ, каф. ЭПиУ, Киев, Украина

² НИИ «Полюс», Москва, Россия

Разработка новых типов радиоэлектронных и фотонных приборов и устройств, как правило, требует создания новых материалов, и наоборот, появление новых материалов стимулирует разработки приборов на новых физических принципах. Сказанное в полной мере относится к недавно созданным метаматериалам. Электромагнитные метаматериалы — это искусственные структурированные особым образом среды, электрические и магнитные свойства которых существенно отличаются от свойств исходных конструкционных материалов. Например, метаматериал может иметь отрицательный показатель преломления, который не наблюдается у природных кристаллов. Отрицательное преломление — это преломление света, когда он идёт не вправо, как обычно, а влево под отрицательным углом, т.е. векторы напряжённости \mathbf{E} и \mathbf{H} вместе с волновым вектором \mathbf{k} электромагнитной волны образуют «левую» тройку векторов.

Внутренняя структура метаматериалов играет важнейшую роль в формировании характеристик и параметров. Метаматериалы обычно конструируют из дискретных резонансных микро- и наноэлементов — «метаатомов», имитирующих электромагнитную реакцию атомов и молекул природных веществ. Метаатомы группируются в виде одно- или многослойной «кристаллической» решётки или сетки, а их небольшой размер (намного меньше длины волны излучения) позволяет считать решётку однородной для данной длины волны средой по аналогии с природными кристаллами.

На базе метаматериалов разрабатываются принципиально новые приборы функциональной радиоэлектроники и фотоники: устройства с отрицательным преломлением для управления излучением в гигагерцевом, терагерцевом и видимом диапазонах волн; высоконаправленные антенны и резонаторы очень малых размеров, фильтры, поляризаторы, рефлекторы; генераторы и усилители света, умножители частоты; суперлинзы, позволяющие получать чёткое изображение элементов с размерами намного меньшими длины волны без дифракционных искажений; оптические магнитные зеркала; безотражательные покрытия и системы для электромагнитной невидимости и *Stealth*-технологии.

Вопросы электродинамики метаматериалов и технологии их изготовления начинают изучаться во многих высших учебных заведениях, и возникла потребность в соответствующей литературе. К сожалению, основная

литература по метаматериалам издана на английском языке, а многие источники малодоступны; это затрудняет её изучение студентами и молодыми специалистами. В связи с этим авторы посчитали целесообразным подготовку и издание на русском языке книги (см. рис. 1) [1], в которой сконцентрированы основные сведения о новых электромагнитных материалах и предполагаемых применениях.



Рисунок 1. Обложка книги

Содержание книги можно разделить на три части. В первой излагаются предыстория и научные предпосылки появления метаматериалов, а также вопросы терминологии. Написано, как формировались представления об отрицательном преломлении на протяжении прошлого века. Показано, что метаматериалами называют то, что раньше в радиофизике именовали искусственными диэлектриками, магнетиками и искусственной плазменной средой. Отражен существенный вклад наших соотечественников в развитие этого направления, а ключевым идеям в этой области, высказанным Л. И. Мандельштамом и В. Г. Веселаго, посвящены отдельные параграфы

Вторая часть книги посвящена метаматериалам для СВЧ (гигагерцевого) диапазона волн и некоторым успешным устройствам на их основе. Эти материалы в научном, конструктивном и технологическом отношении проще оптических и исторически были изготовлены первыми. В этом диапазоне не требуются нанотехнологии и вполне достаточно использовать композиты из субсантиметровых элементов/метаатомов. Поэтому в гигагерцевом диапазоне практические успехи в создании метаматериалов наиболее значительны.

Третья часть книги посвящена оптическим (фотонным) метаматериалам, которые в настоящий момент особенно интенсивно разрабатываются и очень перспективны в связи со стремительным развитием нанофотоники. Однако здесь трудности исследователей и разработчиков связаны с ограничениями современных нанотехнологий, поскольку среда должна состоять из элементов нанометровых размеров. Соответственно, большое внимание уделяется вопросам технологии этих материалов.

Дополнением к обеим частям книги служат разделы, посвящённые так называемым градиентным метаматериалам, которые могут оказаться полезными для ряда приложений, а также разделы с описанием некоторых применений (линз с субволновым разрешением и «плаща-невидимки» для получения эффекта невидимости) и альтернативных структур метаматериалов (структур на основе распределённых в пространстве передающих ВЧ линий, фотонных и электромагнитных кристаллов, структур на основе га-

зо-плазменных образований). В приложении представлены материалы для углублённого изучения.

Подобная последовательность изложения темы представляется нам методологически обоснованной, так как последовательно, с единых позиций, знакомит читателей с логикой разработок электромагнитных метаматериалов, физикой их функционирования и технологией изготовления.

Авторы полагают, что книга может служить учебным пособием для студентов и аспирантов, специализирующимся в области нанофотоники и техники СВЧ. Она должна быть интересной также научным и инженерно-техническим работникам [2].

Литература

1. Вольпян О. Д. Отрицательное преломление волн. Введение в физику и технологию электромагнитных материалов / О. Д. Вольпян, А. И. Кузьмичёв. — К.-М. : Аверс, 2012. — 360 с. — ISBN 966-8934-23-7.

2. Масалов А. В. О книге О.Д. Вольпяна и А.И. Кузьмичёва «Отрицательное преломление волн» / А. В. Масалов // Квантовая электроника. — 2013. — Т. 43. — №1 (487). — С. 94.

Анотація

Представлена інформація про нову книгу, в якій викладені основи фізики і технології метаматеріалів, що мають негативний показник заломлення для електромагнітних хвиль оптичного та НВЧ діапазонів. Книга призначена для студентів, аспірантів, наукових і інженерно-технічних працівників, що спеціалізуються в області нанофотоники і техніки НВЧ.

Ключові слова: Електромагнітні метаматеріали, фізика, технологія.

Аннотация

Представлена информация о новой книге, в которой изложены основы физики и технологии метаматериалов, обладающих отрицательным показателем преломления для электромагнитных волн оптического и СВЧ диапазонов. Книга предназначена для студентов, аспирантов, научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области нанофотоники и техники СВЧ.

Ключевые слова: Электромагнитные метаматериалы, физика, технология.

Abstract

The paper provides information on the new book, which outlines the basics of physics and technology of metamaterials, which have a negative refractive index for electromagnetic waves in the optical and microwave ranges. The book is intended for undergraduate and graduate students, scientific and technical workers, specializing in the field of nanophotonics and microwave technology.

Keywords: Electromagnetic metamaterials, physics, technology.