

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»



А. Г. Вострецов

« _____ » апреля 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» – на диссертацию Мироньчева Александра Сергеевича «Метаматериал из кольцевых проводников для радиодиапазона», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика

Диссертационная работа Мироньчева Александра Сергеевича посвящена разработке проблемы создания широкополосных метаматериалов радиодиапазона, а также развитию метода расчета электромагнитных полей в плоскостойких метаматериалах с произвольным комплексным показателем преломления.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и одного приложения.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель работы и выносимые на защиту научные положения, отмечена научная новизна, научно-практическая ценность работы.

Первая глава посвящена исследованию состояния проблемы создания метаматериала. Дан обзор литературы по теме диссертации. Приводятся различные структуры со свойствами метаматериалов, на основе упорядоченного определенным образом множества проводников электрически малого размера, методы конструирования таких сред и их возможное практическое применение. Сформулированы основные задачи диссертации.

Во второй главе проведено исследование возможности появления отрицательного показателя преломления и предлагается метод описания распространения волн в плоскостойких метаматериалах. Данный метод основан на разложении исходной сферической волны в спектр по плоским волнам. При этом в разложении участвуют как однородные, так и неоднородные волны. Для обеспечения корректности работы данного метода предлагается, согласно принципу предельного поглощения, исключить из

рассмотрения все асимптотически незатухающие составляющие многократно переотраженного поля. Представлены результаты моделирования взаимодействия плоских волн со слоем метаматериала, описаны процессы многократного отражения, поглощения и прохождения волны через плоский слой метаматериала с отрицательной вещественной частью показателя преломления. Основываясь на созданном методе расчета полей, проведено моделирование эффекта фокусировки плоским слоем метаматериала, а также показана возможность превзойти при этом дифракционный предел Релея. Для приложений важно, что метод основан на использовании Фурье преобразования.

В третьей главе приводится электродинамический анализ искусственных сред, составленных из разомкнутых и замкнутых металлических проводников, ориентированных определенным образом. Представлены результаты численного расчета, которые показывают, что для кольцевого проводника наблюдается одновременное наличие отрицательных намагничиваемости и поляризуемости в широкой полосе частот. В данной главе также приводятся результаты численного моделирования различных структур с использованием известного программного продукта CST Microwave studio. Для структуры из четырёх слоев кольцевых элементов были получены наиболее важные результаты, демонстрирующие возможность создания метаматериала по крайней мере из кольцевых проводников.

В четвертой главе представлены результаты экспериментального исследования по измерению в сверхширокой полосе частот комплексного показателя преломления созданного макета метаматериала из кольцевых проводников. Продемонстрировано, что матричная структура, составленная из периодически расположенных стальных кольцевых проводников с внешним и внутренним диаметрами 8 мм и 4 мм, расположенных во вспененном полистироле на расстоянии 10 мм между центрами колец, и ориентированных параллельно вектору напряженности электрического поля падающей плоской волны, обеспечивает эффект отрицательного фазового набега в полосе частот 9,9–10,9 ГГц. Установлено, что в случае использования 2-х слоев достигается комплексный коэффициент преломления равный $n = -3,84 + i 1,8$ в. Удвоение же поперечной плотности расположения кольцевых проводников обеспечивает коэффициент преломления порядка $n = 0,46 + i 0,09$ при использовании структуры из одного слоя, причем уже в сверхширокой полосе частот 6 – 20 ГГц. В численном эксперименте, на примере металлического шара показано, что использование такого метаматериала для покрытия объектов позволяет снизить их эффективную площадь рассеяния (ЭПР).

Актуальность темы

В настоящее время метаматериалы привлекают большой интерес научного сообщества своими уникальными электромагнитными свойствами. Для таких материалов характерны "неординарные" значения физических параметров сред: отрицательное значение диэлектрической и/или магнитной проницаемостей; пространственное распределение величин диэлектрической и/или магнитной проницаемостей (в частности, периодическое изменение

коэффициента преломления как у фотонных кристаллов). Стоит также отметить возможность управления параметрами такой среды в результате внешних воздействий (метаматериалы с электрически управляемой диэлектрической и магнитной проницаемостями) в широкой полосе частот. Такие материалы должны обеспечивать дополнительные возможности при создании антенной техники, например, плоскопараллельные пластины, выполненные из таких материалов, могут обладать фокусирующими свойствами и выступать в роли линзы, что может привести к преодолению дифракционного предела. Это теоретически просчитано на простейших структурах. Кроме того, метаматериалы возможно использовать для маскировки различных объектов в радиодиапазоне. Поэтому не случайно, что в последние десятилетия во многих странах проводятся интенсивные исследования по широкому кругу вопросов, относящихся к физике сложных электромагнитных сред и искусственных материалов. Это же стимулировало постановку рассматриваемой работы.

Научная новизна полученных результатов

Разработан новый метод расчета поля при прохождении волны через плоский слой метаматериала с произвольным и даже комплексным показателем преломления. С использованием этого метода продемонстрированы существование отрицательного преломления и фокусирующих свойств плоскопараллельной пластины из метаматериала с произвольным показателем преломления. Впервые удалось рассчитать влияние многократных переотражений в слое метаматериала с учетом как однородных, так и неоднородных затухающих плоских волн. Показана существенная роль полей ближней зоны в формировании свойств метаматериала. Разработан макет матричной структуры из кольцевых проводников, имеющий отрицательный показатель преломления. Впервые отмечается потенциальная широкополосность композиционных метаматериалов.

Практическая значимость работы

Разработана новая методика расчета полей при прохождении слоя метаматериала с произвольным показателем преломления, в том числе отрицательным и вообще комплексным. Эта методика позволяет оценивать электрофизические свойства среды, исходя из любых реалистичных значений показателя преломления при конструировании новых материалов. Предложена методика реального метаматериала с отрицательным значением вещественной части комплексного показателя преломления в полосе частот от 8,5 до 10,9 ГГц, что актуально при создании широкополосных «суперлинз» (превосходящих дифракционный предел Рэлея) для радиоволновой томографии, при разработке новых антенных систем и маскирующих покрытий. В численном эксперименте показано, что эффективная площадь рассеяния (ЭПР) шара, покрытого метаматериалом с показателем преломления $n = 0.5 + 0.1i$, составляет 42 – 60% по отношению к ЭПР шара без покрытия в диапазоне частот 5 – 11 ГГц, что демонстрирует перспективу применения разработанного метаматериала для маскировки радиолокационных целей.

Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа А.С. Мироньчева представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение задачи в области взаимодействия электромагнитных волн с метаматериалами. Основные результаты отражены в 31 публикациях, из которых - 9 статей, в журналах включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук (из них 2 статьи в российском научном журнале, переводная версия которого индексируется Web of Science), 22 публикации в сборниках материалов международных, всероссийских и региональной научных, научно-практических и научно-технических конференций и молодежных научных школ (из них 7 публикаций в сборниках, изданных за рубежом и индексируемых Web of Science или Scopus). В публикациях достаточно полно отражены главные результаты.

Основные результаты диссертационной работы внедрены в производственный процесс ООО «Радиовидиние», использовались в отчетах по НИР СФТИ ТГУ, а также внедрены в учебный процесс НИ ТГУ, что подтверждают приложенные к диссертации акты.

Защищаемые положения и основные результаты работы не вызывают сомнений. Автореферат в целом правильно и полно отражает основное содержание диссертации.

Имеются замечания по работе

1. Некоторые оценки свойств метаматериалов, важные для практического применения, даны в диссертации на качественном уровне, что затрудняет оценку реальной практической перспективы. Так, при рассмотрении фокусирующих свойств говорится, что «изображение, полученное с помощью метаматериала, лучше изображения, полученного линзой».

При обсуждении возможности использования метаматериала в качестве покрытия для антенны говорится, что за счет этого можно уменьшить ее габариты, при этом не вполне ясно, каким может быть уменьшение.

При анализе влияния покрытия на эффективную поверхность рассеяния металлического шара зафиксировано ее снижение до 40%. При всех ли соотношениях диаметра шара к длине волны это имеет место?

2. Формулировка первого защищаемого положения соответствует только части полученных результатов, отражая лишь условия, при которых материал приобретает отрицательную величину коэффициента преломления. Фактически защищаются результаты, имеющие значительно более широкое научное и практическое значение.

3. Неудачна и формулировка третьего защищаемого положения, в котором указаны лишь некоторые наборы конкретных численных данных, напоминающие по форме протокол испытаний и не вполне отражающие научную результативность и значимость исследований.

4. В целом, диссертация написана хорошим профессиональным языком, однако встречаются опечатки и неточности в оформлении работы. Автор иногда пренебрегает знаками препинания, иногда возникают лишние. В тексте может появиться предложение типа «амплитуда имеет линейный характер».

Перечисленные недостатки не снижают значение результатов работы в целом.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Полученные теоретические результаты работы рекомендуется использовать для оценки взаимодействия электромагнитных волн с плоскостойкими метаматериалами. Разработанная в работе методика позволяет оценивать электрофизические свойства любой метаматериальной среды, исходя из реалистичных значений показателя преломления при конструировании новых структур.

Предложенная конструкция метаматериала, построенного из малых кольцевых проводников, обладает работоспособностью в широкой и сверхширокой полосах радиочастот и найдет практическое применение в перспективных системах радиомаскировки.

Выявленные в работе закономерности по взаимодействию проводников в структуре метаматериала возможно использовать при моделировании новых радиолокационных покрытий, пригодных для работы в широкой и сверхширокой полосах частот.

Предложенный подход к практическому конструированию материалов из замкнутых проводниковых кольцевых структур со свойствами широкополосности стимулирует начало новых исследований по использованию метало-диэлектрических кольцевых структур для радиодиапазона, а масштабирование позволяет переносить их практическое применение на другие частотные диапазоны, возможно, на оптический и инфракрасный.

Результаты, полученные в работе, найдут свое применение в радиотомографии, медицине, военной тематике (при создании покрытий, снижающих эффективную площадь рассеивания объектов), создании материалов и устройств космического назначения (существенное уменьшение размеров антенн без потери характеристик, а, возможно, и их улучшение).

Заключение

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой решена важная научно-техническая задача – теоретически показана возможность создания и использования широкополосных метаматериалов как среды для распространения электромагнитных волн, а также предложена конкретная конструкция такого материала, составленного из кольцевых проводников.

Диссертационная работа А.С. Мироньчева «Метаматериал из кольцевых проводников для радиодиапазона» соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для кандидатских диссертаций, а ее автор, Мироньчев Александр Сергеевич, заслуживает

присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры теоретических основ радиотехники факультета радиотехники и электроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» 4 апреля 2018 г., протокол № 2.

Отзыв составил:

Заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники
Новосибирского государственного технического университета,
доктор технических наук (05.12.14 – Радиолокация и радионавигация),
профессор  Спектор Александр Аншелевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

Почтовый адрес: 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20; телефон: (383) 346 08 43 ; адрес электронной почты: rector@nstu.ru; адрес сайта: www.nstu.ru

подпись 
заверяю. Начальник отдела кадров

