

О Т З Ы В

официального оппонента доктора физико-математических наук,
профессора Гошина Геннадия Георгиевича
на диссертацию Мироньчева Александра Сергеевича
«МЕТАМАТЕРИАЛ ИЗ КОЛЫЦЕВЫХ ПРОВОДНИКОВ
ДЛЯ РАДИОДИАПАЗОНА»,
на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.03 – Радиоп физика

В последнее время метаматериалы вызывают большой интерес у научного сообщества благодаря своим уникальным электрическим и магнитным свойствам. Такие искусственные материалы могут иметь значения физических параметров, которые не встречаются у естественных сред: отрицательные значения диэлектрической и магнитной проницаемостей или периодическое изменение их коэффициента преломления, а также возможность управления этими параметрами, в достаточно широкой полосе частот. Плоскопараллельные слоистые пластины из метаматериала могут обладать фокусирующими свойствами, то есть заменить линзы и даже преодолеть дифракционный предел Рэлея. Их можно использовать для создания противорадиолокационных покрытий. Поэтому актуальность темы диссертации и её важность сомнений не вызывают.

Работа написана по классической схеме и состоит из введения, четырёх глав, заключения и приложения. Во Введении определены цели и задачи диссертации, сформулированы защищаемые положения, отмечены новизна, научная ценность, практическая значимость проведённых исследований, отражены вопросы достоверности и апробации полученных результатов. Основной материал диссертации опубликован в 31-й работе, в том числе в 9-ти работах в изданиях, отвечающих требованиям ВАК (журналы «Известия ВУЗов. Физика» и «Доклады ТУСУР»), в 7-ми публикациях в сборниках материалов конференций, индексируемых в базах Web of Science или Scopus и 16-ти публикациях в других научных изданиях. Материал диссертации докладывался и обсуждался на 12-ти международных, 8-ми всероссийских и 3-х региональных научных конференциях. Большинство опубликованных работ написано в соавторстве с научным руководителем и коллегами по творчеству. В диссертации и автореферате отмечен личный вклад соискателя в проведённые исследования. Впечатляет внедрение и использование результатов диссертации в перечне из 14-ти позиций, включающих госконтракты, федеральные целевые программы и гранты.

В первой главе, носящей обзорно-аналитический характер, анализируются искусственные среды с различными электрическими и магнитными свойствами, описываемыми комплексными значениями диэлектрической и магнитной проницаемостей, в том числе и отрицательными. Рассматриваются различные реализации подобных сред. На основе проведённого обзора формулируются цель и основные задачи

проведения научного исследования по созданию метаматериалов для различных применений в высокочастотной части радиодиапазона.

Во второй главе предлагается метод описания распространения электромагнитных волн в плоскостойких метаматериалах и анализируется возможность появления отрицательного показателя преломления. Метод основан на разложении сферической волны в спектр по плоским волнам, включающий как однородные, так и неоднородные волны. Согласно принципу предельного поглощения из спектра исключаются все асимптотически незатухающие составляющие вторичного поля. Взаимодействие каждой из плоских волн с границами раздела метаматериала описывается с использованием коэффициентов прохождения и отражения Френеля. Представлены результаты расчёта взаимодействия плоских волн со слоем метаматериала конечных размеров, описаны процессы многократного отражения, поглощения и прохождения волн через слой с отрицательной вещественной частью показателя преломления. Исследовано явление отрицательного фазового набега волн. Основываясь на разработанном методе расчёта, проведено исследование эффекта фокусировки электромагнитного поля плоским слоем метаматериала и показана возможность превзойти при этом дифракционный предел. Всё сказанное подтверждает эффективность разработанного автором диссертации метода расчёта полей для слоистого метаматериала.

В третьей главе изложены результаты электродинамического анализа искусственных сред, составленных из разомкнутых и замкнутых электрически малых кольцевых проводников, ориентированных различным образом относительно направления падения волны. Представлены результаты расчёта, которые показывают, что для кольцевого проводника одновременно наблюдается наличие в широкой полосе частот отрицательных значений намагничиваемости и поляризуемости. В главе также приводятся результаты численного моделирования различных структур с использованием пакета прикладных программ CST Microwave Studio. Для описания взаимодействия плоской волны с метаматериалом исследовались активная и реактивная составляющие комплексного вектора Пойтинга. В случае конкретной четырёхслойной структуры были получены наиболее интересные результаты, показывающие возможность создания в диапазоне СВЧ метаматериала на основе замкнутых кольцевых проводников.

В четвёртой главе приводятся результаты экспериментального исследования в широкой полосе частот комплексного показателя преломления созданного макета слоистого метаматериала из кольцевых проводников. Установлено, что в случае использования 2-х слоёв кольцевых проводников выбранных размеров достигается в узкой полосе частот комплексный коэффициент преломления, равный $n = -3,84 + i 1,8$. При использовании структуры из одного слоя удвоение поперечной плотности расположения кольцевых проводников может обеспечить коэффициент преломления порядка $n = 0,46 + i 0,09$, причём в сверхширокой полосе частот

6 – 20 ГГц. В другом численном эксперименте для металлического шара, покрытого слоем метаматериала, установлено снижение почти в два раза его эффективной площади рассеяния (ЭПР). Эти несколько примеров свидетельствуют о широких возможностях практического применения разработанных метаматериалов.

В Заключении сформулированы основные научные результаты и выводы диссертационной работы. На мой взгляд, наиболее существенным является утверждение о том, что в создании метаматериалов с отрицательным значением показателя преломления важную роль играет учёт взаимодействия реактивных полей ближней зоны, которое для рассмотренных слоистых структур из кольцевых проводников оказывается оптимальным, а роль возможных резонансных эффектов не является определяющей.

Материал диссертации изложен логично и по прочтении производит благоприятное впечатление. Выводы об актуальности темы диссертации обоснованы. Обоснованными являются также научные положения, достоверность и новизна результатов, их практическая значимость. Не смотря на это, следует сделать ряд замечаний:

1. Первое научное положение в той редакции, как оно сформулировано, воспринимается тривиально, поскольку является аналогом фундаментального принципа излучения для обычных изотропных сред, не имеющих потерь. На мой взгляд, его можно было бы формулировать как обобщение известного принципа излучения, обеспечивающего единственность решения задач электродинамики.

2. Третье научное положение основано на результатах экспериментальных исследований в заданном частотном диапазоне двух конкретных образцов метаматериала, имеющих вполне определённые геометрические размеры колец и их расположение в пространстве. Положение перегружено числовыми значениями параметров, является весьма частным и не допускает расширенного толкования.

3. В диссертации на стр. 16 приводится весьма поверхностное изложение краткого содержания работы, не соответствующее структуре изложения материала диссертации.

4. В тексте диссертации и в автореферате встречаются неудачные выражения, опечатки, в предложениях пропуски запятых, иногда слов. В ряде случаев употребляется термин «производить» вместо «проводить» (например, производить расчёт, измерения, обработку данных). Термин «метасреда» имеет вариации: метосреда, мета-среда, мета среда. На стр. 19 читаем «...правизна обеих сред...», на стр. 28 написано «...токи в кольцевых проводниках с разрезом со направлены с движущей силой создаваемой извне и движутся в ногу». На графиках, приведённых на ряде страниц из интервала с 83 по 101 страницу, отсутствуют по осям обозначения величин или их размерностей.

Однако сделанные замечания касаются формы представления результатов, не затрагивают существа работы и не снижают её общей благоприятной оценки. Тема диссертации и её содержание соответствуют специальности 01.04.03 – Радиофизика. Автореферат правильно отражает существо диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Мироньчева Александра Сергеевича является завершённым исследованием, выполненным на высоком уровне, свидетельствует о личном вкладе соискателя в науку, удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Доктор физ.-мат. наук, профессор,
профессор кафедры
сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники,
Томский государственный
университет систем управления и
радиоэлектроники (ТУСУР)

Г.Г. Гошин

28.04.2018

Подпись Гошина Г.Г. заверяю
Учёный секретарь ТУСУР



Е. В. Прокопчук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

Почтовый адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40; телефон (3822) 510530; адрес электронной почты: office@tusur.ru; сайт: www.tusur.ru