

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.04, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 16 мая 2018 года публичной защиты диссертации Мироньчева Александра Сергеевича «Метаматериал из кольцевых проводников для радиодиапазона» по специальности 01.04.03 – Радиофизика на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

На заседании присутствовали 19 из 25 членов диссертационного совета, в том числе 6 докторов наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика:

1. Войцеховский А. В., доктор физико-математических наук, профессор, заместитель председателя диссертационного совета, 01.04.05
2. Пойзнер Б. Н., кандидат физико-математических наук, профессор, учёный секретарь диссертационного совета, 01.04.03
3. Артюхов В. Я., доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, 01.04.21
4. Беличенко В. П., доктор физико-математических наук, доцент, 01.04.03
5. Дмитренко А. Г., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.03
6. Донченко В. А., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.21
7. Кабанов М. В., член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.05
8. Козырев А. В., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.03
9. Лукин В. П., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.05
10. Самохвалов И. В., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.05
11. Соколова И. В., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.21
12. Солдатов А. Н., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.21
13. Тарасенко В. Ф., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.21
14. Улеников О. Н., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.05
15. Фисанов В. В., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.03
16. Черепанов В. Н., доктор физико-математических наук, доцент, 01.04.05
17. Шандаров С. М., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.03
18. Юдин Н. А., доктор технических наук, старший научный сотрудник, 01.04.21
19. Якубов В. П., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.03

В связи с невозможностью присутствия на заседании председателя диссертационного совета доктора физико-математических наук, профессора Майера Георгия Владимировича по его письменному поручению заседание провёл заместитель председателя диссертационного совета доктор физико-математических наук, профессор Войцеховский Александр Васильевич.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение учёной степени – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – 1) диссертационный совет принял решение присудить А. С. Мироньчеву учёную степень кандидата физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.04,
созданного на базе федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства образования и науки Российской Федерации,
по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук
аттестационное дело № _____**

решение диссертационного совета от 16.05.2018 № 137

О присуждении **Мироньчеву Александру Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Метаматериал из кольцевых проводников для радиодиапазона»** по специальности **01.04.03** – Радиофизика принята к защите 19.02.2018 (протокол заседания № 135) диссертационным советом Д 212.267.04 , созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012).

Соискатель **Мироньчев Александр Сергеевич**, 1989 года рождения.

В 2013 году соискатель окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

В 2016 году соискатель очно окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Работает в должности инженера средств радио и телевидения Томского областного радиотелевизионного передающего центра в Федеральном государственном унитарном предприятии «Российская телевизионная и радиовещательная сеть»; по совместительству – в должности инженера кафедры радиофизики в федеральном государственном автономном образовательном

учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре радиофизики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Якубов Владимир Петрович**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», кафедра радиофизики, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Кашкин Валентин Борисович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», кафедра радиотехники, профессор

Гошин Геннадий Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники, профессор

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Новосибирский государственный технический университет**», г. Новосибирск, в своём положительном отзыве, подписанном **Спектором Александром Аншелевичем** (доктор технических наук, профессор, кафедра теоретических основ радиотехники, заведующий кафедрой), указала, что в настоящее время метаматериалы 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. Кроме того, метаматериалы возможно использовать для маскировки различных объектов в радиодиапазоне. Поэтому не случайно своими уникальными электромагнитными свойствами они привлекают большой интерес научного сообщества, и в последние десятилетия во многих странах проводятся интенсивные исследования по широкому кругу вопросов, относящихся к физике сложных электромагнитных сред и искусственных материалов. А. С. Мироньчевым разработан новый метод расчета поля при прохождении волны через плоский слой метаматериала с произвольным и даже комплексным показателем преломления; с использованием этого метода продемонстрировано существование отрицательного преломления и фокусирующих свойств плоскопараллельной пластины из метаматериала с произвольным показателем преломления; впервые рассчитано 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 отмечена потенциальная широкополосность композиционных метаматериалов. А. С. Мироньчевым предложена методика создания 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» 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.

Соискатель имеет 31 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации опубликована 31 работа, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 9 работ (в том числе 2 статьи в российском научном журнале, переводная версия которого индексируется Web of Science), в сборниках материалов международных, всероссийских и региональной научных, научно-

практических и научно-технических конференций и молодежных научных школ опубликовано 22 работы (из них в сборниках, изданных за рубежом и индексируемых Web of Science или Scopus, опубликовано 7 работ). Общий объём публикаций – 7,55 а.л., личный вклад автора – 2,54 а.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук:

1. Якубов В. П. Искусственные метаматериалы и радиотомография / В. П. Якубов, **А. С. Мироньчев**, А. Г. Андрейцов, И. О. Пономарева // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2010. – Т. 53, № 9. – С. 17–20. – 0,2 / 0,05 а.л.

в переводной версии журнала, индексируемой Web of Science:

Yakubov V. P. Artificial metamaterials and radio tomography / V. P. Yakubov, **A. S. Mironchev**, A. G. Andreitsov, I. O. Ponomareva // Russian Physics Journal. – 2011. – Vol. 53, is. 9. – P. 895–899.

2. **Мироньчев А. С.** Многократные переотражения и фокусировка волн в слое метаматериала / А. С. Мироньчев, В. П. Якубов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2010. – Т. 59, № 8. – С. 123–128. – 0,42 / 0,21 а.л.

в переводной версии журнала, индексируемой Web of Science:

Miron'chev A. S. Multiple Re-reflections and focusing of waves by a metamaterial layer / A. S. Miron'chev, V. P. Yakubov // Russian Physics Journal. – 2016. – Vol. 59, is. 8. – P. 1261–1267. – DOI 10.1007/s11182-016-0900-y.

Статья в сборнике материалов конференции, индексируемом Web of Science:

3. **Mironchev A.** Near-field interaction of closed cells for metamaterial creation / A. Mironchev, A. Gorst // MATEC Web of Conferences. – 2016. – Vol. 79: 7th Scientific Conference on International Participation «Information-Measuring Equipment and Technologies» (IME&T 2016). Tomsk, Russia, May 25–28, 2016. – Article number 01064. – 9 с. – DOI: 10.1051/matecconf/20167901064. – 0,38 / 0,19 а.л. (*Web of Science*)

На автореферат поступили 3 положительных отзыва. Отзывы представили:

1. **Т. Н. Чимитдоржиев**, д-р техн. наук, профессор РАН, заведующий сектором оптико-микроволновой диагностики и обработки космической информации Института физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, *без замечаний*.
2. **С. А. Малышев**, д-р физ.-мат. наук, доц., заместитель генерального директора Государственного научно-производственного объединения «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, *без замечаний*.
3. **В. А. Кагадей**, д-р физ.-мат. наук, проф., первый заместитель генерального директора Акционерного общества «Научно-производственная фирма Микран», г. Томск, *с замечаниями*: ссылка на Википедию в научной работе не может считаться корректной; фраза «приводит к возникновению широкополосного (согласно терминологии, введенной DARPA) отрицательного показателя преломления» содержит нераскрытую ранее аббревиатуру на английском языке; вызывает сомнение тот факт, что термин был введен именно Агентством как организацией, скорее, термин был введен авторским коллективом, работающим на Агентство.

В отзывах указано, что актуальность темы диссертационной работы А. С. Мироньчева обусловлена большим интересом к исследованиям, направленным на разработку метаматериалов, обладающих сложно достижимыми электрофизическими параметрами, а также насущной потребностью в лучшем понимании физических процессов, происходящих в устройствах на основе метаматериалов. Отсутствие ряда данных о механизмах функционирования метаматериалов сдерживает их практическое применение и ограничивает предельные характеристики устройств на их основе. Автором разработан не имеющий аналогов метод расчета поля при прохождении волны через плоский слой или систему слоев метаматериала с произвольным комплексным показателем преломления, как с учетом, так и без учета многократных переотражений, который позволяет рассчитать эффект фокусировки плоским слоем из метаматериала с комплексным показателем преломления и возможность превышения дифракционного предела; разработаны электродинамические основы построения широкополосных метаматериалов

радиодиапазона; установлена особая роль замкнутых проводников для получения отрицательных и нерезонансных намагничиваемости и поляризуемости конструируемой среды; предложен новый конструктивный подход к созданию широкополосных метаматериалов на основе использования простейших кольцевых проводников малых размеров; показано, что в создании структур с отрицательным показателем преломления важную роль играет учет взаимодействия реактивных полей ближней зоны, которое для слоистых структур из кольцевых проводников оказывается оптимальным, а также показано, что создание метаматериалов не связано с использованием резонансных эффектов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **В. Б. Кашкин** является высококвалифицированным специалистом и обладает большим опытом в области решения задач распространения и рассеяния волновых полей в сложно построенных неоднородных средах естественного и искусственного происхождения; **Г. Г. Гошин** – высококвалифицированный специалист в области строгих методов решения электродинамических задач о возбуждении и рассеянии волн анизотропно проводящими структурами, а также в областях антенно-фидерной техники и ближнеполевой СВЧ микроскопии; **Новосибирский государственный технический университет** является ведущим исследовательским центром в областях радиолокации, антенно-фидерной техники, нанотехнологий, мехатроники и материаловедения, обработки сигналов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан метод расчета поля при прохождении волны через плоский слой или систему слоев метаматериала с произвольным комплексным показателем преломления;

предложено использовать замкнутые кольцевые проводники для создания широкополосных метаматериалов;

доказано, что матричная структура, составленная из периодически расположенных кольцевых проводников, демонстрирует отрицательный фазовый набег в широкой полосе частот.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что разработанный автором метод позволяет рассчитывать поля при взаимодействии электромагнитного излучения с плоскими слоями метаматериала; доказана возможность существования широкополосных свойств у метаматериалов, составленных из электрически малых замкнутых проводников;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы численного моделирования распространения волн на основе представления решения уравнения Гельмгольца в виде спектрального разложения по пространственным частотам, метод конечных разностей во временной области, математические методы расчета электромагнитных полей;

изложены результаты электродинамического анализа, численного моделирования и экспериментального исследования широкополосного метаматериала из замкнутых кольцевых проводников;

изучено влияние ближних полей замкнутых кольцевых элементов на возникновение нерезонансного отрицательного в вещественной части показателя преломления;

проведена модернизация существующих математических моделей, описывающих взаимодействия электромагнитных полей с плоскими слоями метаматериала.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработано и внедрено программное обеспечение для расчёта полей при взаимодействии электромагнитного излучения со слоем или системой слоев метаматериала с произвольным комплексным показателем преломления, а также методика измерений электрофизических характеристик материалов в сверхширокой полосе частот и программное обеспечение для обработки полученных данных. Разработанное программное обеспечение используется в ООО «Радиовидение» (территория инновационного центра «Сколково», г. Москва) при реализации поставок ряду контрагентов серии устройств по измерению параметров материалов и в Национальном исследовательском Томском государственном университете при выполнении НИР на кафедре радиофизики и в Сибирском физико-техническом институте имени академика В. Д. Кузнецова;

создана методика изготовления метаматериала с отрицательным значением вещественной части комплексного показателя преломления в полосе частот от 8,5 до 10,9 ГГц;

представлено утверждение о том, 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.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Полученные результаты могут быть использованы в научных и образовательных учреждениях, в которых решаются фундаментальные и прикладные задачи по созданию метаматериалов: Новосибирском государственном техническом университете, Сибирском федеральном университете (г. Красноярск), Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники, Государственном научно-производственном объединении «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» Национальной академии наук Беларуси (г. Минск), Институте физического материаловедения СО РАН (г. Улан-Удэ), Научно-производственной фирме «Микран» (г. Томск), ООО «Радиовидение» (г. Москва) и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

идея базируется на корректности постановки задач, использовании апробированных теоретических методов решения и физически обоснованных приближений;

использовано сопоставление авторских результатов с полученными ранее экспериментальными и теоретическими результатами по рассматриваемой тематике;

установлено качественное согласие авторских результатов с экспериментальными результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

Научная новизна исследования заключается в том, что:

предложено исключать незатухающие составляющие электромагнитного поля при спектральном разложении по плоским волнам, в свою очередь это породило метод расчета поля при прохождении волны через плоский слой или систему слоев метаматериала с произвольным комплексным показателем преломления, выполнена оценка влияния многократных переотражений на фокусировку плоскопараллельной пластиной из метаматериала с любым комплексным показателем преломления;

обнаружена возможность существования широкополосных свойств у метаматериалов, составленных из электрически малых замкнутых проводников, при этом показана существенная роль полей ближней зоны в формировании широкополосных свойств конструируемого метаматериала;

разработан и практически осуществлен макет матричной структуры из замкнутых кольцевых проводников, имеющий отрицательный показатель преломления, обнаружена широкополосность таких композиционных метаматериалов.

Личный вклад соискателя состоит в: непосредственном участии в разработке новых моделей и алгоритмов расчёта, проведении расчётов и экспериментальных исследований, а также их интерпретации и верификации, апробации результатов диссертационного исследования, подготовке публикаций по выполненной работе. Все основные результаты получены автором лично. Постановка цели и задач исследования осуществлена при участии научного руководителя.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по созданию широкополосных метаматериалов СВЧ диапазона частот, имеющей значение для развития радиофизики.

На заседании 16.05.2018 диссертационный совет принял решение присудить **Мироньчеву А. С.** учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя
диссертационного совета

Учёный секретарь
диссертационного совета

16.05.2018



Войцеховский
Пойзнер

Войцеховский
Александр Васильевич
Пойзнер
Борис Николаевич