

Отзыв

на автореферат диссертации Болдырева Николая Алексеевича на тему «Ослабление отражений СВЧ волны структурой планарного метаматериала, содержащего тонкие плёнки», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 - Радиофизика

АКТУАЛЬНОСТИ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ

В настоящее время метаматериалы широко применяются в различных областях человеческой деятельности, в том числе и для снижения эффективной поверхности объектов. Однако их существенным недостатком, обусловленным структурой композита, является узкая полоса рабочих частот, а также перераспределение отражаемой мощности в боковые лепестки. Отсутствие теории, позволяющей преодолеть данные недостатки, свидетельствует об актуальности темы исследований Болдырева Николая Алексеевича «Ослабление отражений СВЧ волны структурой планарного метаматериала, содержащего тонкие плёнки».

Диссертационная работа Болдырева Николая Алексеевича направлена на исследование электродинамических процессов взаимодействия СВЧ-волн К-диапазона с планарными метаструктурами и нанометровыми металлодиэлектрическими плёнками алюминия, выявление физических механизмов формирования диаграммы обратного рассеяния комбинированных структур и разработка на этой основе многослойного ослабляющего покрытия, обеспечивающего ослабление отраженной волны от проводящей поверхности в диапазоне 18-26 дБ в полосе частот 16-26 ГГц.

ДОСТОВЕРНОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обоснованность и достоверность результатов исследований подтверждается комплексным подходом к проведению натурных исследований, опирающихся на применение современных высокоточных аппаратно-программных комплексов и измерительной методологической базы. Теоретические выводы, полученные путём компьютерного электродинамического моделирования в специальных прикладных программных пакетах, строго верифицированы результатами натурных испытаний. Кроме того, научные положения автора прошли независимую экспертную оценку: материалы диссертации опубликованы в рецензируемых периодических изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и международную базу Scopus по профилю 1.3.4 Радиофизика, а также обсуждались на профильных научных конференциях.

НОВИЗНА ОСНОВНЫХ ВЫВОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

1. Впервые реализовано комбинированное ослабляющее покрытие К-диапазона, включающее в себя рассеивающие планарные метапокрытия и резистивные нанометровые плёнки алюминия, а также экспериментально подтверждено преимущество данного покрытия над отдельными его элемен-

тами в задачах снижения величины отражений мощности от проводящих объектов.

2. Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден механизм фазового сдвига, реализующийся в сложносоставной метаповерхности из последовательных резонаторов с параллельным резистивным поглощающим слоем и обеспечивающий ослабление нормальной составляющей отраженной волны вследствие деструктивной интерференции.
3. Установлено, что частотная характеристика двухсоставных шахматных метаповерхностей является суперпозицией частотных свойств составляющих однонаправленных элементов, что позволяет детерминировано управлять полосой и глубиной ослабления путём изменения симметрии элементарной ячейки и их пространственной ориентации.
4. Показано, что добавление резистивного нанометрового слоя к рассеивающей метаструктуре позволяет не только дополнительно ослабить нормальную составляющую отраженной волны, но и подавить боковые лепестки диаграммы рассеяния на углах 20° и 51° .

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫДВИГАЕМЫЕ ДЛЯ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ:

1. Электродинамическая модель, позволяющая рассчитывать частотные зависимости дифракционных коэффициентов рассеивающих планарных метаповерхностей, распределение электромагнитных волн на поверхности структуры и диаграммы их рассеяния.
2. Бистатистический метод экспериментальных измерений угловых зависимостей позволил показать динамику изменения перераспределения пространственной отраженной мощности $P(\theta)$ от метаструктур различной формы в зависимости от значений дифракционных коэффициентов $T(f)$, $R(f)$, $A(f)$.
3. Применение блочного принципа построения метаструктуры их отдельных дипольных резонаторов позволяет добиться резонансного ослабления при различных типах линейной поляризации электрической компоненты поля и расширить частотный диапазон, в котором наблюдается рассеивание отраженной волны.
4. Показано, что частотная характеристика коэффициента $T(f)$ двухсоставных шахматных структур является суперпозицией частотных свойств элементов, входящих в её состав, что позволяет детерминировать свойства двухсоставной метаповерхности от пространственной ориентации, симметрии расположения ячеек и подстраивать их под конкретный диапазон и необходимую физическую задачу.
5. Применение тонкоплёночных проводящих структур как элемента активных потерь поглощающего слоя в комбинациях с метаповерхностями позволили уменьшить уровень отраженной волны как в строго нормальном, так и отклоненном от нормали направлениях.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором диссертации, в достаточной степени обоснованы.

По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 2 публикации в журналах, индексируемых в базах Scopus, Web of Science, 7 – в журналах, входящих в перечень научных изданий на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 1.3.4 – радиофизика, рекомендованных ВАК РФ. Были представлены 7 докладов на научных конференциях и симпозиумах всероссийского и международного уровней.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Теоретическая значимость работы заключается в разработке электродинамических моделей планарных метаповерхностей, позволяющих эффективно детерминировать их частотные свойства и зависимость углового распределения отраженных от структуры волн в зависимости от значений частотных коэффициентов, результаты которых подтверждаются экспериментальными измерениями.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Представленный в диссертационной работе метод добавления резистивного поглощающего слоя позволит повысить эффективность защитных метапокрытий путём минимизации боковых лепестков диаграммы рассеивания, а также дополнительно ослабить нормальную составляющую отраженной от проводящей поверхности электромагнитной волны.
2. Предложена оптимальная форма комбинированного ослабляющего покрытия K -диапазона, состоящая из спиралевидных планарных метаструктур и поглощающих плёнок алюминия, позволяющих ослабить отраженную волну от -18 до -26 дБ.

Исследования в рамках данной работы были реализованы при финансовой поддержке со стороны Российского научного фонда (гранты №22-22-201-2016 и №25-22-00261)..

ЗАМЕЧАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Из текста автореферата неясно, почему снижение боковых лепестков диаграммы рассеяния осуществляется только в направлениях 20° и 51° . Что будет, если необходимо убрать рассеяние в других направлениях?
2. Вызывает недоумение идущее в разрез с классической теорией анализа утверждение автора о преимуществах применения численных методов исследования метаструктур по сравнению с аналитическими, поскольку численные методы позволяют получать решения только в ряде точек и усложняют физическую трактовку получаемых результатов.
3. При описании материалов главы 2 автор говорит о фиксированном значении угла перемещения приемной антенны по полярному углу $\theta = 5^\circ$ при выполнении натурального эксперимента. Каким образом было выбрано данное значение дискрета? А что будет, если угол уменьшить?

4. При описании результатов экспериментальных исследований не указаны параметры рассеивающих структур (длина и ширина полосок, шаг между ними, параметры плёночного покрытия). Это важно, поскольку структура является резонансной. Аналогичное замечание касается и структуры на основе спиралевидных треугольных резонаторов.
5. Не совсем понятно использование автором на с.16 понятия «не угловое падение».
6. На рис.7 автор для обозначения коэффициента поглощения использовал переменную L , хотя выше для обозначения данной частотной зависимости применялось обозначение $A(f)$.

ВЫВОДЫ

1. Несмотря на отмеченные замечания, судя по автореферату, соискатель достиг поставленной цели исследований, а представленные им основные результаты исследований отражают научную новизну и практическую значимость.
2. Диссертация Болдырева Николая Алексеевича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи, имеющей важное значение для развития страны, и удовлетворяет требованиям, установленным Положением «О присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет», предъявляемым к кандидатским диссертациям.
3. Болдырев Николай Алексеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.4 - радиофизика.

Ведущий научный сотрудник

ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи»,
доктор физико-математических наук по специальности 1.3.4 - радиофизика,
доцент



Марина Юрьевна Звездина

344038, г. Ростов-на-Дону, ул. Нансена, д.130,
тел. +7 (928) 142-24-72, E-mail: zvezdina_m@mail.ru

18.08.2026г.

Подпись Звездиной Марины Юрьевны ЗАВЕРЯЮ:

Заместитель руководителя службы по управлению персоналом
начальник отдела кадров



Г.Г. Лозун