

7

Отзыв

научного руководителя диссертации

Черепанова Владимира Владимировича

**«Электродинамический анализ плазмонных устройств на основе графена
в ТГц и ИК диапазоне»,**

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика.

В диссертационной работе поставлены и решены крупные, важные, *актуальные* для современной фотоники, плазмоники, СВЧ техники проблемы:

- исследование линейной и нелинейной дифракции и трансформации волн на метаповерхностях, образованных графеновыми слоями;
- создание и исследования новые радиофизические устройства как оптического диапазона, так и ТГц диапазонов (частотно-селективные поверхности (ЧСП), поглотители, поляризаторы, фокусирующие системы и другие) на основе графеновых периодических структур;
- развитие численно-аналитических методов трехмерного электродинамического моделирования плазмонных, в том числе графеновых нано и микроструктур.

Исследования соответствуют приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в РФ, приоритетным направлениям модернизации и технологического развития экономики России.

Основные новые научные радиофизические результаты работы.

Разработан оригинальный строгий метод решения линейной краевой задачи дифракции электромагнитной волны на двумерно-периодических структурах, содержащих произвольное число диэлектрических, металлических, графеновых, плазмонных слоев и включений. Графеновые слои моделируются импедансными граничными условиями. Решение краевой задачи сведено к решению парных сумматорных уравнений относительно токов на полосках или напряженности тангенциального электрического поля на отверстиях. Эти

уравнения решены методом Галеркина. Достоинства метода – универсальность, быстрая внутренняя сходимость, малое время расчетов, небольшие требования к компьютерным ресурсам. Это позволило провести исследования радиофизических свойств большого числа метаповерхностей. Кроме того, на основе решения линейной задачи с помощью метода возмущения построена теория дифракции на нелинейных метаповерхностях.

Основное внимание в диссертации уделено исследованию одному из фундаментальных свойств графена – возможность распространения в нем поверхностного плазмон – поляритона (ППП). Длина волны ППП в графене 3–10 меньше длины в вакууме. Поэтому графеновые структуры, в которых возможен ППП резонанс, имеют размеры много меньшие, чем аналогичные на металлodieлектрические. В диссертационной структуре это свойство графеновых структур исследовано, указаны направления для оптимизации характеристик линейных метаповерхностей. Получены новые результаты для многослойных и многоэлементных графеновых ЧСП, поглотителей в ТГц и ИК диапазонах. Подробно исследованы способы перестройки ППП резонанса.

Большое место в диссертации занимает обзор и систематизация современных методов расчета нелинейной проводимости. Этот обзор выходит за рамки традиционного обзора литературы в диссертации. Он опубликован в авторитетном журнале «Физические основы приборостроения».

Среди большого числа нелинейных процессов в диссертации исследованы генерация третьей частотной гармоники, смешение двух электромагнитных волн с переносом частоты смешения вверх и вниз. Смещения вниз позволяет генерировать волну ТГц диапазона смешением волн ИК диапазона, смешения вверх позволяет перенести сложные ТГц измерения в измерения в ИК диапазоне. Кроме того, оно может быть использовано для визуализации ТГц излучения. Хотя из общефизических соображений ясна роль ППП резонанса для усиления нелинейных свойств плазмонных метаповерхностей, но многие

качественные и количественные характеристики получены в диссертации впервые.

В диссертации проведена верификация результатов сравнением с результатами, полученными разными методами и оценка их точности. Это позволяет сделать заключение о достоверности полученных в диссертации результатов.

Практическую значимость имеют разработанные оригинальные компьютерные программы, новые, особенно нелинейные, метаповерхности, рекомендации по оптимизации характеристик частотно-селективных поверхностей, поглотителей ИК и ТГц диапазонов.

Результаты исследований использованы при выполнении государственного задания в сфере научной деятельности научного проекта № (0852-2020-0032)/(БАЗ0110/20-3-07ИФ) «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям».

Результаты диссертации были использованы в лекционных курсах, на семинарах и практикумах физического факультета Южного федерального университета по направлению «03.04.03 Радиофизика».

Материал диссертационной работы прошёл всестороннюю и достаточно широкую апробацию. Основные результаты работы по теме диссертации опубликованы в 24 научных работах. 14 научных работ индексируются в Web of Science и (или) Scopus, сделаны 19 докладов на 18 международных научных конференциях.

Диссертационная работа докладывалась и получила положительную оценку на объединённом семинаре кафедр радиофизики, прикладной электродинамики и компьютерного моделирования, квантовой радиофизики физического факультета Южного федерального университета и лаборатории радиофизики НИИ Физики Южного федерального университета.

В работах, выполненных в соавторстве, Черепановым В.В. принадлежит постановка задач, разработка алгоритмов и компьютерных программ, разработка и исследование свойств элементов радиофизических устройств.

Считаю, что положения, выносимые Черепановым В.В. на защиту кандидатской диссертационной работы, правильно отражают новизну, обоснованность и важность проведенных исследований.

В процессе работы над кандидатской диссертацией Черепанов В.В. показал хорошее знание электродинамики, радиофизики, физики и техники оптического и ТГц СВЧ диапазонов. Хорошо владеет информационными технологиями. Умеет самостоятельно формулировать, ставить, проводить и анализировать теоретические научные исследования. Пользуется авторитетом у профессорско-преподавательского состава и сотрудников физического факультета, НИИ Физики.

Диссертация соответствует паспорту специальности 1.3.4. Радиофизика, так как посвящена исследованиям *общезфизического характера* в следующих областях:

«Изучение линейных и нелинейных процессов излучения, распространения, дифракции, рассеяния, взаимодействия и трансформации волн в естественных и искусственных средах.»

«Разработка, исследование и создание новых электродинамических систем и устройств формирования и передачи радиосигналов: резонаторов, волноводов, фильтров и антенных систем в радио, оптическом и ИК – диапазоне.»

Считаю, что представленная Черепановым Владимиром Владимировичем к защите диссертационная работа «Электродинамический анализ плазмонных устройств на основе графена в ТГц и ИК диапазоне» полностью удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и является законченной научно-

квалификационной работой, в которой, на основании выполненных исследований разработаны положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное научное достижение в развитии радиофизики – создание, теоретическое и экспериментальное исследование новых элементов радиофизических устройств на основе графеновых метаповерхностях, а Черепанов Владимир Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика.

Научный руководитель:
профессор кафедры ПЭКМ
Южного федерального университета,
доктор физико-математических наук,
профессор



А.М. Лерер

14.06.2023г.

344090, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 5, физфак, ЮФУ,
тел. 89185982530, e-mail: lerer@sfedu.ru

