

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке, инновациям и
цифровизации ФГБОУ ВО «ВГУ»,
доктор физико-математических наук, доцент

Костин Дмитрий Владимирович

« 12 » 29 2026 г.

Отзыв

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» на диссертацию Иголина Семена Владимировича «Управление электрофизическими и электродинамическими параметрами композитных материалов с магнитными наночастицами и углеродными наноструктурами», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств и 1.3.4. – Радиофизика.

Актуальность темы исследования

В современной электронной промышленности, микро- и нанoeлектронике композитные материалы, содержащие углеродные наноструктуры и магнитные наночастицы, приобретают всё большее значение. Возможность управления их свойствами путём изменения состава, внешнего воздействия или ориентации включений открывает широкие перспективы для создания функциональных устройств нового поколения. Диссертационная работа Иголина С.В. посвящена решению актуальной научно-технической задачи – разработке эффективных методов управления электрофизическими и электродинамическими характеристиками таких композитов в оптическом и СВЧ-диапазонах.

Особый интерес представляет предложенный автором подход, использующий магнитные жидкости для ориентирования углеродных наноструктур в полимерной матрице. Это позволяет создавать композиты с управляемой анизотропией свойств, что крайне востребовано при разработке модуляторов оптического излучения, управляемых фильтров и поглощающих покрытий. Применение СВЧ-фотонных кристаллов в качестве высокочувствительного инструмента для описания таких материалов является оригинальным и перспективным направлением. Таким образом, тема исследования является, безусловно, актуальной для развития радиофизики, электронной компонентной базы и нанотехнологий.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы (172 наименования). Общий объём работы – 146 страниц, содержит 45 рисунков и 7 таблиц. Структура работы логически обоснована и соответствует поставленным цели и задачам.

Во **введении** обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи, определена научная новизна и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту.

В **первой** главе проведён обзор современного состояния исследований композитов с углеродными наноструктурами и магнитными жидкостями. Рассмотрены процессы структурообразования под действием магнитного поля и существующие методы определения параметров таких материалов.

Во **второй** главе описаны экспериментальные исследования оптических свойств композитов на основе магнитной жидкости с углеродными нанотрубками. Установлено, что глубина модуляции поляризованного излучения возрастает с увеличением длины волны, а также продемонстрировано управление дефектной модой СВЧ-фотонного кристалла при использовании композита эпоксидная смола/магнитная жидкость (ЭС/МЖ) в качестве нарушенного слоя.

В **третьей** главе приведены результаты достаточно объемной экспериментальной работы, связанной с исследованием в СВЧ-диапазоне электрофизических параметров композитов эпоксидная смола – магнитная жидкость – углеродные частицы (нанотрубки и графит). Автором было выявлено, что нитевидные структуры из магнитных и углеродных частиц, возникающие в объеме композита в процессе полимеризации в магнитном поле, обладают анизотропией электрофизических параметров. При этом анизотропия структур, содержащих углеродные нанотрубки более чем в пять раз выше, чем у структур, содержащих мелкодисперсный графит.

В **четвёртой** главе разработана физическая модель «возмущённых слоёв» для расчёта коэффициента отражения от композитов с ориентированными нитями, в том числе с неоднородным заполнением. Модель основана на методе матриц передачи и теории возмущений, что позволяет существенно сократить время расчётов по сравнению с методами конечных элементов.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

В диссертации соблюдена логичная структура, язык изложения соответствует научному стилю, а аргументация подкреплена ссылками на авторитетные публикации. Иллюстративная часть диссертации отличается тщательной проработкой и грамотным оформлением. Содержание автореферата адекватно передаёт суть проведённого диссертационного исследования.

Научная новизна полученных результатов

1. Экспериментально установлена зависимость глубины амплитудной модуляции линейно поляризованного оптического излучения от длины волны (450–650 нм) для композита МЖ/УНТ, при этом добавление нанотрубок увеличивает глубину модуляции примерно в 1,5 раза.

2. Экспериментально показана возможность управления электрофизическими параметрами композитов в оптическом и СВЧ-диапазонах, путем изменения концентрации магнитной жидкости и углеродных наноструктур, величины и направления индукции магнитного поля.

3. Обнаружена значительная анизотропия электрофизических свойств нитевидных структур, образованных магнитными наночастицами и УНТ: диэлектрическая проницаемость и электропроводность в продольном и поперечном направлениях отличаются более чем в 10 раз, что существенно превосходит аналогичный показатель для композитов с графитом (менее чем в 2 раза).

4. Разработана физическая модель, которая позволяет рассчитывать частотную зависимость коэффициента отражения от композитов с большим количеством тонких (менее 15 мкм) проводящих нитей, включая структуры с неоднородным распределением включений, с погрешностью менее 1% и при существенно меньших вычислительных затратах по сравнению с 3D-моделированием методом конечных элементов.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость результатов заключается в углублении понимания процессов взаимодействия электромагнитного излучения оптического и СВЧ-диапазонов с композитами, содержащими управляемые магнитным полем нитевидные структуры. Разработанная модель расширяет возможности теории эффективных сред для случая неоднородных волокнистых композитов.

Практическая значимость работы подтверждается следующим:

- Установленный характер зависимости глубины модуляции от длины волны может быть использован при проектировании оптических модуляторов и устройств управления поляризацией.
- Разработанный экспериментальный метод на основе СВЧ-фотонного кристалла позволяет с высокой точностью определять электрофизические параметры композитов, включая степень анизотропии включений, что важно для контроля качества материалов.
- Определены оптимальные технологические параметры (индукция магнитного поля 100–500 мТл, массовая доля компонента МЖ/УНТ 7–12 мас.%, отношение массы УНТ к массе магнитных наночастиц ~ 0.35), обеспечивающие максимальную анизотропию свойств композитов.
- Разработанная модель «возмущенных слоев» может быть использована для проектирования волокнистых композитов с

заданными электродинамическими характеристиками без проведения дорогостоящих 3D-расчётов.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Достоверность результатов обеспечивается использованием апробированных теоретических методов (матрицы передачи, теория возмущений) и современных экспериментальных методик. Достигнута сходимость экспериментально полученных частотных зависимостей с результатами расчётов по разработанной модели и результатами 3D-моделирования (Ansys HFSS) с погрешностью, не превышающей 1–2% по величине минимума коэффициента отражения. Применено стандартное измерительное оборудование, проведена корректная статистическая обработка данных. Выводы согласуются в частных случаях с результатами других авторов, что также подтверждает их достоверность. Погрешность решения обратной задачи по определению диэлектрической проницаемости и электропроводности не превышает 5%.

Публикации

Результаты диссертации опубликованы в достаточном объёме: 4 статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК и 10 работ в сборниках статей по докладам на всероссийских и международных конференциях.

Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации, включая актуальность, новизну, личный вклад автора, положения, выносимые на защиту, и список трудов диссертанта по теме работы. Структура автореферата соответствует структуре диссертации, в нём представлены все ключевые экспериментальные и теоретические результаты. Замечаний по оформлению автореферата нет.

Соответствие диссертации заявленным специальностям

Диссертационная работа по своему содержанию, методам исследования и полученным результатам полностью соответствует специальностям:

2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств по пунктам направления исследования 1, 2, 4, 5.

1.3.4. – Радиофизика – по пунктам направления исследований 2, 3.

Замечания по диссертационной работе

Отмечая несомненную научную и практическую ценность диссертационной работы, необходимо сделать ряд замечаний:

1. В первой главе, посвящённой обзору литературы, следовало бы более последовательно представить существующие теоретические модели эффективных сред для композитов с анизотропными включениями, а также провести их сравнительный анализ с разработанной автором моделью MPL.

2. При исследовании зависимости глубины модуляции от длины волны (вторая глава) не приведены данные о температурной стабильности композита МЖ/УНТ, что важно для практических применений.

3. В четвёртой главе при обосновании модели «возмущенных слоев» следовало бы более подробно обсудить границы её применимости при высоких объёмных долях нитей (более 5%), а также возможность учёта взаимовлияния соседних нитей.

4. В работе говорится, что модель «возмущенных слоев» с высокой степенью точности позволяет учесть распределение нитей в пространстве, что позволяет повысить точность определения параметров волокнистых композитов. Но на практике это распределение неизвестно. Более того, для сравнения с моделями эффективных сред в диссертационной работе производился расчет параметров композитов с различным распределением нитей и делалось усреднение. В чем же тогда практическая значимость разработанной модели?

5. В тексте диссертации встречаются незначительные стилистические погрешности и опечатки, не влияющие на смысл изложения.

Указанные замечания носят частный характер и не снижают общей высокой оценки работы, а также не ставят под сомнение достоверность полученных результатов и сделанных выводов.

Результаты представленных в диссертации исследований рекомендуются к использованию на предприятиях и в организациях электронной промышленности, специализирующихся на проектировании, испытании и выпуске электронных компонентов, измерительных систем и приборов сверхвысокочастотного диапазона для нужд промышленного комплекса космической отрасли и гражданской связи: АО «НПЦ «Алмаз-Фазотрон», г. Саратов, АО «НПП «Контакт» г. Саратов, АО «НПП «Исток» им. Шокина» г. Фрязино, Московская область, СФ ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН» г. Фрязино, Московская область, в высших учебных заведениях Министерства науки и высшего образования Российской Федерации: ФГАУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»» г. Зеленоград, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» г. Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский университет имени Н.Г. Чернышевского», ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ) г. С. Петербург.

Заключение

Диссертация Игониной Семёна Владимировича на тему «Управление электрофизическими и электродинамическими параметрами композитных материалов с магнитными наночастицами и углеродными наноструктурами» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для развития радиофизики и электронной компонентной базы микро- и наноэлектроники.

В работе изложены новые научно обоснованные решения в области создания управляемых композитных материалов для оптических и СВЧ-

устройств, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие отечественной электронной промышленности.

Считаем, что диссертация Игонина С.В. «Управление электрофизическими и электродинамическими параметрами композитных материалов с магнитными наночастицами и углеродными наноструктурами» удовлетворяет п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор диссертации Игонин Семен Владимирович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств и 1.3.4. – Радиофизика.

Отзыв заслушан и одобрен на заседании кафедры электроники физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» протокол № 10 от 31 августа 2026г.

Отзыв составил д.ф.-м.н. (01.04.03 – Радиофизика),
профессор, заведующий кафедрой электроники
физического факультета ФГБОУ ВО «ВГУ»

Усков Григорий Константинович

08.09.2026г.

Сведения о ведущей организации

Наименование: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет»

Наименование краткое: ФГБОУ ВО «ВГУ»

Адрес: 394018, Россия, г. Воронеж, университетская площадь, 1

Телефон рабочий: +7 (473) 220-75-21

Сайт: <https://www.vsu.ru/>

Адрес электронной почты: office@main.vsu.ru

