

Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)
14.577.21.0141

Название проекта

Разработка эффективных функциональных материалов для ЭМ устройств на базе гибридных полимерных композитов с нанокремнеземными включениями

Тематическое направление

Индустрия наносистем

Исполнитель

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ижевский государственный технический университет имени М.Т.Калашникова"

Цели и задачи исследования

Целью данного проекта является получение значимых научных результатов в области комплексных исследований электрических, электромагнитных (в микроволновом частотном диапазоне), механических и тепловых свойств полимерных композитов с различными нанокремнеземными включениями (в частности, одностенными и многостенными углеродными нанотрубками, в том числе химически модифицированными, графеновыми нанопластинами, терморасширенным графитом, толстым графеном, активированным углеродом, аморфным углеродом с высокой удельной поверхностью), а также наблюдение возможной корреляции их физических свойств, что позволит перейти к созданию новых видов научно-технической продукции в рамках приоритетного направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Индустрия наносистем».

Задачи исследования:

1. Селективное модифицирование графена и углеродных нанотрубок с целью их одновременного введения в целенаправленных соотношениях исходных компонентов в полимерную матрицу, что способствовало бы достижению максимального эффекта модифицирования, получая при этом нанокремнеземы с высокой воспроизводимостью их свойств в совокупности.
2. Теоретическое и экспериментальное исследование модифицирования поверхности графена и углеродных нанотрубок с целью создания нанокремнеземов с оптимальными/желаемыми ЭМ свойствами, применяемых в качестве защиты от электромагнитного излучения.
3. Исследование технологических (реологических), структурных, эксплуатационных свойств (деформационные характеристики, калориметрические свойства, эластические характеристики (ДМТА), термогравиметрические, термомеханические свойства) вновь созданных нанокремнеземов.

Актуальность и новизна исследования

Уникальные свойства углеродных нанотрубок (УНТ) и графена, такие как, высокая прочность, проводимость, термическая и химическая стойкость, – делают их весьма привлекательными для изготовления на их основе многофункциональных полимерных композитов. В настоящее время существует

много работ, посвященных изучению основных свойств таких композиционных материалов, где в качестве проводящего наполнителя использовались УНТ и графеновые нанопластинки. Было также показано, что использование высоких концентраций углеродных включений может приводить к изменению свойств исходных полимеров (механических, тепловых и т.д.). По этой причине исключительно важно добиться высокой проводимости и эффективности электромагнитной (ЭМ) экранировки введением в полимер небольших концентраций функционального наполнителя. Кроме того, использование защитных покрытий часто происходит в агрессивных условиях (высокие температуры, давления). Таким образом, необходимо проведение комплексных испытаний. В первую очередь, - установление допустимых температурных режимов и критических для механических свойств концентраций нановключений. При создании композитных материалов, эффективно взаимодействующих с электромагнитным излучением, существует необходимость уменьшения концентрации включений для уменьшения их влияния на механические свойства композитной матрицы. Благодаря своим уникальным размерам (отношение длины к диаметру равно $\sqrt{3}$) и высокой проводимости углеродные нанотрубки являются наиболее перспективными в качестве включений при создании композитных сред эффективно взаимодействующих с электромагнитным излучением терагерцового диапазона частот

Описание исследования

Теоретические исследования и расчеты:

- разработка теории, описывающей формирование электромагнитного отклика многостеночных нанотрубок как конечной так и бесконечной длины в терагерцовой области частот. Разработка методов и алгоритмов расчета электромагнитного отклика многостеночных нанотрубок как конечной, так и бесконечной длины в терагерцовой области частот;
- разработка методов и алгоритмов расчета электромагнитного отклика (диэлектрическая проницаемость, поглощение-отражение-пропускание ЭМ излучения в СВЧ, S-параметры в дБ) для композитов из полимера и многостеночных нанотрубок конечной длины;
- оптимизация геометрических размеров нанотрубок для их эффективного взаимодействия с терагерцовым электромагнитным излучением.
- разработка методов и алгоритмов расчета электромагнитного отклика (диэлектрическая проницаемость, поглощение-отражение-пропускание ЭМ излучения в СВЧ, S-параметры в дБ) для композитов из полимера и многостеночных нанотрубок конечной длины
- модернизация численных методов для интерпретации полученных результатов и восстановления эффективных диэлектрических свойств исследуемых образцов в микроволновом частотном диапазоне (26-36 ГГц) по измеренным S- параметрам;
- разработка теории локализованного плазмонного резонанса в углеродных нанотрубках различных модификаций;
- разработка методов и алгоритмов расчета локализованного плазмонного резонанса в углеродных нанотрубках различных модификаций; (одностенных и

многостенных функционализированных и допированных нанотрубок, а также пучков из них);

- разработка теории эффективной среды для описания разориентированного композита из углеродных нанотрубок с учетом локальных полей;

- разработка нового метода расчета периодической пространственной решетки из нанотрубок, объединяющий метод интегральных уравнений и метод эффективной среды.

- разработка методики расчета эффективных параметров композитных материалов на основе углеродных нанотрубок с учетом электронной и электромагнитной связи трубок в материале.

Экспериментальные исследования:

- разработка Лабораторной методики селективного модифицирования графена и углеродных нанотрубок;

- исследование возможности модифицирования поверхности графена и углеродных нанотрубок для создания полимерных композитных материалов с оптимальными/желаемыми свойствами;

- создание экспериментальных образцов графена и углеродных нанотрубок с модифицированной поверхностью;

- разработка Программы и методик испытаний экспериментальных образцов полимерных композитных материалов с наноуглеродными включениями;

- создание экспериментальных образцов полимерных композитных материалов для ЭМ применений на основе эпоксидной смолы, ПВА и стиролакрилатного сополимера (SAC);

- исследование диэлектрических и ЭМ свойств экспериментальных образцов полимерных композитов с различными видами наноуглерода методами диэлектрической спектроскопии в низкочастотном диапазоне (20 Гц – 1 МГц), а также в микроволновом диапазоне частот (26 ГГц – 37 ГГц);

- исследование зависимости электромагнитного отклика образцов от физических свойств исходных форм углерода и композитов на их основе;

- определение оптимальных условий окисления, отжига, модификации стенок УНТ для получения полимерных композитов, способных к электромагнитной экранировке в СВЧ диапазоне;

- исследование перколяционных порогов электромагнитных свойств в зависимости от эффективной концентрации, массы и формы наноуглеродного включения;

- исследование технологических (реологических), структурных, эксплуатационных свойств (деформационные характеристики, калориметрические свойства, эластические характеристики (ДМТА), термогравиметрические, термомеханические свойства) экспериментальных образцов полимерных композитных материалов с наноуглеродными включениями.

Обобщение результатов:

- разработка рекомендаций по предельным концентрациям нанокремнеземных включений в полимерных композитах, не приводящих к деградации механических и тепловых свойств.
- создание комплексной базы данных физических свойств (диэлектрические, электромагнитные, механические, тепловые) полимерных композитных материалов с нанокремнеземными включениями;
- технико-экономическое обоснование разработки продукции, технических требований и предложений по разработке, производству и эксплуатации продукции

Результаты исследования

Созданы и изучены новые композитные наноматериалы для электромагнитных применений применений на основе нанокремнеземных структур и полимеров. Получены экспериментальные данные в микроволновом частотном диапазоне (26-37 ГГц) и в низкочастотной области (20Гц – 1 МГц), и проведен сравнительный анализ электромагнитного отклика полимерных композитов с различными формами углерода в качестве наполнителя.

Разработана теория, описывающая формирование электромагнитного отклика многостенных нанотрубок как конечной так и бесконечной длины в микроволновой области частот.

Проведена оптимизация геометрических размеров нанотрубок для их эффективного взаимодействия с электромагнитным излучением. Теория локализованного плазмонного резонанса в углеродных нанотрубках различных модификаций (одностенных и многостенных функционализированных и допированных нанотрубок, а также пучков из них).

Разработан метод расчета периодической пространственной решетки из нанотрубок, объединяющий метод интегральных уравнений и метод эффективной среды. Обоснована возможность создания на основе УНТ сильно анизотропных искусственных диэлектриков в СВЧ.

Проведен анализ влияния окисления, отжига, а также химической модификации стенок углеродных нанотрубок на локализованный плазмонный резонанс в одностенных углеродных нанотрубках.

Разработан метод расчета эффективных параметров композитных материалов на основе углеродных нанотрубок с учетом электронной и электромагнитной связи трубок в материале. Анализ влияния контактного сопротивления и длины нанотрубок на электромагнитные свойства композитных материалов в СВЧ диапазоне.

Систематизированы и теоретически описаны имеющиеся экспериментальные данные эффективных электромагнитных параметров композитных материалов на основе УНТ.

Проведен анализ роли квантово-механических и краевых эффектов в формировании электромагнитного отклика композита из нанотрубок в микроволновом частотном диапазоне.

Созданы квантово-механические модели влияния структурных дефектов, примесей, интеркалантов и релятивистских эффектов на электронные свойства углеродных наноматериалов и композитов, квантово-механические модели баллистического электронного транспорта с углеродных наноматериалов, модель электромагнитных свойств композиционных материалов с наноуглеродными наполнителями в зависимости от механических деформаций.

Сформирована база данных электрических, электромагнитных, механических и термогравиметрических свойств полимерных композитов с наноуглеродными включениями.

Определены предельные концентрации наноуглеродных наполнителей в полимерных композитах, не приводящие к деградации полимерной матрицы.

Разработано технико-экономическое обоснование разработки продукции, технических требований и предложений по разработке, производству и эксплуатации продукции с использованием полимерных нанокомпозитов на основе эпоксидной смолы и стиролакрилатного сополимера.

Практическая значимость исследования

Полимерные композиты на основе различных форм наноуглерода, благодаря их уникальным свойствам – (i) непрозрачные для микроволнового излучения, (ii) хорошо проводящие, (iii) ультратонкие и гибкие – могут широко использоваться при производстве материалов для электромагнитных приложений. Так, большой интерес вызывает применение их в производстве электродов для светоизлучающих устройств, а также в солнечных батареях, активного слоя электролюминесцентных дисплеев, материалов для контроля электростатического разряда и антистатических покрытий, эффективных экранов электромагнитного излучения. Разработка предоставит промышленным партнерам технологии производства материалов для электромагнитных приложений, таких как электроды для светоизлучающих устройств, солнечные батареи, активный слой электролюминесцентных дисплеев, материалы для контроля электростатического разряда и антистатических покрытий, эффективных экранов электромагнитного излучения.

В настоящее время рассматривается возможность использования результатов ПНИЭР для реализации проекта по созданию опытного производства композиционных материалов на основе наноуглеродных добавок и полярных полимеров для предприятий, производящих композиционные строительные материалы, эпоксидные композиции, полихлорвиниловые изделия и изделия из других полярных полимеров. Разработка предоставит промышленным партнерам технологии производства материалов для электромагнитных приложений, таких как электроды для светоизлучающих устройств, солнечные батареи, активный слой электролюминесцентных дисплеев, материалы для контроля электростатического разряда и антистатических покрытий, эффективных экранов электромагнитного излучения.

Одним из видов продукции предполагаются композитные электромагнитные экраны для электронной промышленности.