

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.382.132

Аврамчук
Александр Васильевич

Синтез и СВЧ характеристики массивов углеродных нанотрубок с
магнитными примесями

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 03 «Нанотехнологии и наноматериалы (в
электронике)»

Научный руководитель

Комиссаров Иван Владимирович
кандидат физико-математических
наук, ведущий научный сотрудник
НИЛ 4.6 НИЧ БГУИР

Минск, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Магнитные нанокompозиты, состоящие из ферромагнитных наночастиц, включенных в матрицу материала, в настоящее время являются объектом интенсивных исследований.

Новые магнитные нанокompозиты на основе углеродных нанотрубок (УНТ) являются очень перспективными для высокочастотных приложений, таких как линии передачи, детекторы, антенны и поглощающие материалы. Поглощающие свойства нанокompозитов на основе УНТ в основном определяются омическими и диэлектрическими потерями. Однако интеркаляция магнитных наночастиц в матрицу УНТ приводит к увеличению поглощающих свойств из-за магнитных потерь. Для более глубокого понимания механизмов взаимодействия электромагнитного излучения (ЭМИ) с нанокompозитами на основе УНТ необходима реализация широкого спектра экспериментальных исследований и разработка теоретических подходов, которые учитывают различные параметры нанокompозитов.

В данной работе исследуются поглощающие свойства нанокompозитов с малой концентраций ферромагнитных наночастиц, локализованных в матрице УНТ, путем измерения экспериментальных зависимостей коэффициентов отражения и передачи в частотном диапазоне 78-118 ГГц. Концентрация ферромагнитных наночастиц задавалась концентрацией ферроцена ($\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)$), C_F , в смеси ферроцен-ортоксилол при синтезе УНТ методом химического парофазного осаждения (ХПО). Целью данной работы являлось установление влияния изменения магнитного взаимодействия между ферромагнитными наночастицами, интеркалированными в матрицу УНТ, на СВЧ поглощающие свойства нанокompозита.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Ключевой особенностью магнитных нанокompозитов является то, что их свойствами можно управлять с помощью внешних воздействий: магнитного поля, спин-поляризованного тока или электромагнитного поля. В обычных магнитных материалах магнитные свойства определяются доменной структурой и доменными границами внутри зерна. В наноструктурированных материалах магнитные свойства, статическое и динамическое магнитное поведение определяются большим количеством факторов, обуславливающих доминирование дипольного, обменного или анизотропного взаимодействия между наночастицами. Понимание и управление этими взаимодействиями дает возможность создания нового класса устройств с улучшенными эксплуатационными характеристиками и новыми функциональными возможностями. Такие магнитные нанокompозиты перспективны для устройств хранения информации, эмиссионных и высокочастотных приборов.

Цели и задачи исследования. Основной целью настоящей работы является установить влияние изменения параметров технологического процесса, а именно концентрации ферроцена в растворе ортоксилора, на СВЧ характеристики пропускания и отражения электромагнитной волны массивов МФУНТ в диапазоне 78-118 ГГц. Исходя из этого, конкретные задачи данной работы состояли в следующем:

- синтезировать массивы УНТ методом ХПО из раствора ферроцен-ортоксилора с концентрациями 0,6 – 1%
- исследовать структурную конфигурацию ионов Fe, растворенных в малых концентрациях в МФУНТ и его изменение в результате увеличения концентрации примеси ионов
- изучить структуру экспериментальных образцов методом растровой электронной микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света
- провести анализ, полученных СВЧ характеристик прохождения и отражения электромагнитной волны массивами МФУНТ.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные положения:

1.увеличение концентрации ферроцена в растворе приводит к преобладанию вклада ферромагнитной фазы Fe₃C, над ковалентной связью Fe-C, характерной для концентраций < 1%.

2.уменьшение дефектности структуры МФУНТ в результате увеличения концентрации катализатора ферроцена.

3.определение экспериментальной зависимости между технологическим процессом, а именно C_x ферроцена в растворе ортоксилота, и параметрами отражения и пропускания электромагнитной волны в диапазоне 78-118 ГГц массивами МФУНТ.

Практическая значимость полученных результатов. Практическая значимость проводимых научных исследований связана с необходимостью поиска перспективных материалов для высокочастотных приложений: антенн, детекторов, поглощающих материалов. Результаты исследования СВЧ характеристик массивов УНТ легли в основу разработанной модели поглощения ЭМИ СВЧ нанокompозитом на основе УНТ.

Личный вклад соискателя. Основные результаты, изложенные в работе, получены автором самостоятельно. Принимал участие в проведении научных исследований и разработке технологических процессов по синтезу углеродных нанотрубок и их функционализации и исследованию их свойств. Научному руководителю в совместных работах принадлежат предметные постановки задач, выбор направлений исследования, руководства при проведении экспериментальных исследований и анализе полученных результатов.

Публикации. Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 2 опубликованных работах, представленных в материалах международных научно-практических и научно-технических конференций, а также в научно-техническом журнале.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 39 наименований. Общий объем диссертации составляет 77 страницу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрена актуальность исследований углеродных нанотрубок и возможности их применения. Также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цели и задачи, обоснована актуальность темы магистерской диссертации, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, практической значимости полученных результатов, публикациях автора, а также структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассматриваются структурные особенности, а также свойства одностенных и многостенных углеродных нанотрубок. Приведены

методы синтеза УНТ. Показано, что для синтеза углеродных нанотрубок содержащих магнитные наночастицы используется метод химического парофазного осаждения. Рассмотрены основные особенности роста унт, от стадии образования катализатора металла до формирования конечной структуры унт.

Во **второй главе** приведены методы исследования углеродных нанотрубок. Показаны методы, использованные при характеристике массивов унт, исследованных в ходе работы над магистерской диссертацией:

- просвечивающая электронная микроскопия,
- растровая электронная микроскопия,
- спектроскопия комбинационного рассеяния,
- мессбауэровская спектроскопия.

Показаны основные критерии определения дефектности структуры унт с использованием спектроскопии комбинационного рассеяния.

В **третьей главе** дается детальное описание методики проведения эксперимента, в котором описаны технологический процесс синтеза углеродных нанотрубок методом химического парофазного осаждения, показаны результаты исследования структуры массивов углеродных нанотрубок методами сканирующей электронной микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния, приведены результаты элементарного анализа магнитных наночастиц, включенных в углеродную матрицу, методом мессбауэровской спектроскопии.

В **четвертой главе** приведена методика исследований взаимодействия массивов унт с ЭМИ СВЧ, дается обоснование возможности исследования взаимодействия массивов унт с ЭМИ СВЧ панорамными измерителями КСНВ и ослабления, особенности измерительных систем, схемы включения образцов. В заключение приведены результаты исследования взаимодействия электромагнитного излучения с массивами углеродных нанотрубок.

В **выводах** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, основные выводы теоретической части и приведены результаты исследований СВЧ характеристик унт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках магистерской диссертации рассмотрены технологии синтеза углеродных нанотрубок, методы исследования структуры унт и методы исследования взаимодействия электромагнитного излучения с массивами унт.

Рассмотрена классификация методов синтеза унт. Проведено описание по каждому из методов синтеза с точки зрения их преимущества над другими методами.

Используя анализ имеющихся методов синтеза унт, сделан вывод, что метода химического парофазного осаждения наиболее подходит для получения унт с магнитными наночастицами за счет простоты и возможности контроля большинства параметров, основным из параметров, который необходимо учитывать является концентрация катализатора, влияющая на форму, концентрацию, химический состав и физическую природу магнитных наночастиц.

Исследована эффективность использования массивов унт в качестве электромагнитных экранов.

Были использованы измерительные системы позволяющие получить информацию об уровне отраженного и прошедшего через экран сигналов и измерять соответственно коэффициент отражения и ослабления ЭМИ.

Результаты исследования были положены в основу модели взаимодействия электромагнитного излучения с композитами на основе унт с магнитными наночастицами.

Полученные результаты исследований характеристик отражения и пропускания электромагнитной волны массивами унт найдут применение при изготовлении электромагнитных экранов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] А. В. Аврамчук. . 51-я научая конференция аспирантов, магистрантов и студентов: Материалы конференции. – Минск: БГУИР, 2015.

[2] Аврамчук А. В. Влияние магнитных потерь на поглощение электромагнитного излучения субтерагерцового диапа-зона нанокompозитом на основе УНТ с малой кон-центрацией ферромагнит-ных наночастиц / А. В. Аврамчук [и др.]. М.: ЖПС, 2016. – Т. 83, № 2. – в печати.