

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

УДК 543.08

Лопатин
Александр Михайлович

Взаимодействие СВЧ излучения с нанокompозитными структурами из
однослойных углеродных нанотрубок

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Научный руководитель

Комиссаров Иван Владимирович

к. физ-мат. наук

Минск 2016

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие возрос интерес к исследованию отраслей, связанных с созданием и изучением свойств наноматериалов. Наиболее перспективным является применение наноразмерных материалов в медицинской сфере, а также сфере защиты от различных типов излучения [1]. Одним из наиболее интересных направлений является исследование однослойных углеродных нанотрубок (ОСУНТ) в качестве отражающего или поглощающего СВЧ излучения материала.

Была установлена возможность того, что углеродные нанотрубки способны отражать и поглощать СВЧ излучение. Данные свойства этих материалов могут найти обширное применение в различных областях. К примеру, в перспективе, от СВЧ можно защищать не только аппаратуру, но и экранировать любой его источник.

Пленка, которая представляет собой массив нанотрубок с определенными характеристиками, является прозрачной в видимой части спектра. Тем самым, человеческий глаз не сможет ее детектировать. Такой пленкой, в самом простом приближении, можно покрыть дисплей мобильного телефона или же другой электронной аппаратуры.

Материалы, поглощающие микроволновое излучение в настоящее время пользуются достаточно большим спросом для экранирования электромагнитного излучения (ЭМИ) и защиты от радиолокационных помех. ОСУНТ вполне подходят для такого использования. Материалы на основе ОСУНТ могут быть задействованы в коммерческой и оборонной областях. Также нанокompозитные материалы на основе ОСУНТ могут использоваться для покрытия излучающих элементов бытовой техники, компьютеров, устройств беспроводной локальной сети, беспроводных антенных систем, элементов сотовых телефонов. Это только некоторые возможные сферы применения подобных материалов. СВЧ излучение можно экранировать материалами с магнитными свойствами, а также различными металлическими композитами. Однако, их большой вес и сложность в монтаже значительно ограничивают их практическое применение. Таким образом, сохраняется потребность в материале, который будет эффективно поглощать СВЧ излучение, при этом обладая достаточно легким весом, структурной прочностью, гибкостью и эффективным поглощением в широком диапазоне.

Нанокompозитные материалы на основе ОСУНТ имеют привлекательность для использования в сфере экранирования и поглощения микроволнового излучения в диапазоне высоких частот за счет их уникальных химических и физических свойств [2 – 5].

В частности, уникальная структура и отличительные свойства углеродных нанотрубок (УНТ), в том числе и однослойных углеродных нанотрубок вызвали большой интерес к их практическому применению во многих инженерных областях, включая экранирование электромагнитного излучения [6 – 11].

Ввиду вышесказанного, можно оценить важность исследования нанокompозитных материалов на основе ОСУНТ для экранирования СВЧ излучения. В ходе исследования было обнаружено, что эти материалы показали высокую степень поглощения СВЧ излучения и могут быть использованы в качестве радиопоглощающих материалов в широком диапазоне частот.

Для практического применения можно использовать полиуретановые материалы на основе ОСУНТ из-за их простого изготовления и возможности придания различных форм. [12-16]. Используемый полимер должен обладать такими характеристиками, как: хорошие механические свойства, биосовместимость, гибкость конструкции, малый вес и низкая стоимость, иметь широкий круг применений.

В рассмотренных исследованиях [17, 18] было продемонстрировано, что эпоксидные композиты на основе ОСУНТ показывают превосходную эффективность экранирования от ЭМИ помех и могут быть использованы в качестве легкого экранирующего материала. Этот материал может использоваться для экранирования систем мобильной связи, которые работают на частоте вблизи 1 ГГц.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. провести синтез образцов однослойных углеродных нанотрубок с различными параметрами;
2. изучить методы исследования однослойных углеродных нанотрубок;
3. выработать методику исследования ОСУНТ;
4. изучить методику проведения измерения СВЧ излучения, взаимодействующего с нанокompозитными материалами на основе СУНТ;
5. провести измерения взаимодействия СВЧ излучения с нанокompозитными структурами на основе ОСУНТ и проанализировать полученный результат.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования

Цель данной работы заключается в исследовании взаимодействия СВЧ излучения с нанокompозитными структурами на основе однослойных углеродных нанотрубок (ОСУНТ).

Для достижения цели магистерской диссертации необходимо было решить следующие задачи:

1. провести синтез образцов однослойных углеродных нанотрубок с различными параметрами;
2. изучить методы исследования однослойных углеродных нанотрубок;
3. выработать методику исследования ОСУНТ;
4. изучить методику проведения измерения СВЧ излучения, взаимодействующего с нанокompозитными материалами на основе СУНТ;
5. провести измерения взаимодействия СВЧ излучения с нанокompозитными структурами на основе ОСУНТ и проанализировать полученный результат.

Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований

Тема диссертационной работы соответствует подразделу 7 «Многофункциональные материалы и технологии» приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016 – 2020 годы, утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 190 от 12 марта 2015 г. Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

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

1. Полученный материал является нанокompозитным.
2. Полученный нанокompозитный материал включает в свою структуру ОСУНТ.
3. Нанокompозитные структуры из однослойных углеродных нанотрубок способны экранировать СВЧ излучение.

Личный вклад соискателя

Содержание представленной магистерской диссертации отражает личный вклад автора. Он состоит в научно и экспериментальном обосновании

возможности экранирования нанокompозитными материалами на основе ОСУНТ СВЧ излучения. Им были синтезированы и изучены нанокompозитные структуры на основе ОСУНТ, а также были получены данные СВЧ взаимодействия.

Новизна исследования состоит в том, что исследованы полученные образцы однослойных углеродных нанотрубок на длинах волн возбуждения лазера 473, 633 и 785 нм. Были выявлены зависимости распределения диаметров ОСУНТ от степени поглощения СВЧ излучения.

Апробация результатов диссертации. Основные теоретические результаты и законченные этапы диссертационной работы, а также результаты прикладных исследований и разработок были доложены на 52-й научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов БГУИР, 2016.

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

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, семи глав, заключения и списка использованных источников, включающего 33 наименований. Общий объем диссертации составляет 61 страниц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрены основные перспективы развития электронных приборов с использованием однослойных углеродных нанотрубок, поставлены задачи по теме магистерской диссертации, а также приведены основные преимущества и актуальность исследования нанокompозитных структур из ОСУНТ.

В **первой главе** приводится аналитическое исследование самих углеродных нанотрубок. Рассмотрены их основные параметры, типы, а также различные физические свойства данного материала

Во **второй главе** рассматриваются методы синтеза углеродных нанотрубок. Установлено, что для синтеза углеродных нанотрубок можно использовать CVD-метод, метод дугового разряда, метод лазерной абляции.

В этой главе более подробно приведено описание ХПО-метода, так как это основной метод, которым синтезировались полученные образцы.

рассмотрены этапы разработки лабораторного комплекса.

В **третьей главе** была рассмотрена установка для ХПО синтеза углеродных нанотрубок. В этой главе приведено фото установки, а также ее

схема с подробным описанием всех элементов. Также в этой главе приведены технические параметры установки.

В **четвертой главе** описывается метод анализа полученных ОСУНТ. Для описания и охарактеризации используется метод комбинационного рассеяния света. Данный метод позволяет получить спектры комбинационного рассеяния с характерными для ОСУНТ пиками, по которым можно охарактеризовать синтезированный образец.

Характерный спектр комбинационного рассеяния включает в себя D, 2D, G полосы, а также так называемые RBM-моды. Наличие расщепленной G полосы на G- и G+ является фактом того, что полученные образцы – это однослойные углеродные нанотрубки. Большая интенсивность полосы D может говорить о высокой дефектности полученного образца, и наоборот.

В четвертой главе приведены характерные спектр КРС, а также зависимости диаметров ОСУНТ.

В **пятой главе** приведены морфология и структура однослойных углеродных нанотрубок. В этой главе показаны изображение ОСУНТ полученное при помощи сканирующего электронного микроскопа, а также ПЭМ изображение пленки ОСУНТ

Проводится полное описание всех частей спектра КРС. Также в пятой главе приводятся законы, по которым частота RBM- мод может зависеть от диаметра ОСУНТ.

В **шестой главе** приведено описание процесса синтеза ОСУНТ. Описаны все условия, при которых проходил синтез ОСУНТ, а также параметры, которые устанавливались вручную тем или иным образом. Также в этой главе приведены изображения полученных образцов.

В этой главе описывается рамановский конфокальный микроскоп, с помощью которого были сняты спектры. Кроме того, в этой главе приведены спектры КРС полученных образцов, которые были описаны и интерпретированы. Также приведены данные по диаметрам ОСУНТ полученных образцов.

В **седьмой главе** изложены основные данные, необходимые для проведения эксперимента. В этой главе описываются основные принципы взаимодействия СВЧ излучения с нанокompозитными структурами. Приведены результаты измерения: параметры S11 и S21, соответствующие отражению и поглощению СВЧ излучения. Полученные результаты проинтерпретированы и описаны.

В **заключении** приведены краткие результаты магистерской диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенной работы были получены нанокompозитные структуры на основе однослойных углеродных нанотрубок. Синтез проводился методом ХПО из раствора ферроцена в этиловом спирте для весовых концентраций $C_F = 0,05; 0,03$ и $0,01\%$, при температуре $T = 1020$ °С, время синтеза каждого образца составляло 1 минуту. Осаждение проводилось на подложку кремния $0,5 \times 1$ см² в холодной зоне реактора.

Было проведено исследование полученных образцов при помощи конфокального рамановского микроскопа. Установлено, что полученные нанокompозитные структуры на основе ОСУНТ обладают типичными спектрами КРС. Тем самым, на спектрах КРС наблюдались типичные для ОСУНТ пики G- и G+. Наличие расщепления G полосы в спектрах КРС на G- и G+ указывает на то, что полученные нанотрубки являются однослойными. Более того, диаметр нанотрубок, полученный из положения полосы G-, отличается для образцов с концентрациями $0,05\%$ и $0,03\%$. Данное экспериментальное наблюдение связывается с изменением характера распределения наночастиц катализатора по диаметрам обусловленного изменением концентрации ферроцена в инжестируемом растворе. Кроме того, выявлена немонотонная зависимость интенсивностей линий спектров КРС от концентрации ферроцена.

Также был проведен анализ спектров КРС по другим пикам, характерным ОСУНТ.

Для подтверждения того, что ОСУНТ вносят вклад в отражение и поглощение СВЧ излучения были получены данные пустой подложки кремния. Было установлено, что подложка дает очень схожую степень поглощения и отражения. Ввиду этого, оценить вклад ОСУНТ в отражение и поглощение затруднительно. Для достоверной оценки был проведен синтез ОСУНТ на подложке ситалла.

Синтез ОСУНТ на ситалле проводился при тех же условиях, что и на кремниевой подложке. Было синтезировано два образца с концентрацией ферроцена в этиловом спирте $0,05\%$, которые находились друг от друга на разных расстояниях. Также они находились на разных расстояниях от горячей зоны реактора.

Был проведен эксперимент по установлению характера взаимодействия СВЧ излучения с нанокompозитными структурами на основе ОСУНТ, осажденных на ситалловой подложке. Таким образом, были получены данные взаимодействия СВЧ излучения с нанокompозитными структурами на основе однослойных углеродных нанотрубок.

Был проведен анализ полученных данных взаимодействия СВЧ излучения с нанокompозитными структурами на основе ОСУНТ. Установлено, что полученные структуры имеют свойство к поглощению СВЧ излучения. Поглощение можно объяснить магнитными потерями в ОСУНТ.

Библиотека БГУИР

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

По теме диссертации было опубликовано работ:

1. А. М. Лопатин, А. Аврамчук, И. В. Комиссаров. Спектры комбинационного рассеяния света однослойных углеродных нанотрубок полученных методом ХПО из раствора ферроцена в этиловом спирте с различной концентрацией / 52-я научная конференция студентов, аспирантов, магистрантов, Минск: БГУИР, 2016.
2. A. Lopatin, A. Avramchuk, I. Komissarov. Single-walled carbon nanotubes obtained by CVD from a ferrocene solution in ethanol with various concentrations / ATM, Palanga, Litva, 2016.