

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики твердого тела

**ЭФФЕКТИВНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ
УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 411 группы

по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
факультета нано- и биомедицинских технологий
Моревой Анастасии Игоревны

Научные руководители

профессор, д.ф.-.м.н.

должность, уч. степень, уч.
звание

подпись, дата

А.В. Скрипаль

инициалы, фамилия

доцент, к.ф.-.м.н.

должность, уч. степень, уч.
звание

подпись, дата

Д.В. Пономарев

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-.м.н.

должность, уч. степень, уч.
звание

подпись, дата

Д.А. Усанов

инициалы, фамилия

Саратов 2017

Введение. Композиционные материалы обладают высокой прочностью, жесткостью, жаропрочностью, выносливостью, а также специальными физическими и химическими свойствами, и эксплуатационными свойствами. От создания и внедрения новых композиционных материалов, и в первую очередь наноструктурированных, в различные отрасли народного хозяйства в значительной мере зависит ускорение научно-технического прогресса. Новый шаг в создании новых композиционных материалов связан с началом развития нанотехнологии.

Создание и исследование композитных материалов СВЧ-диапазона имеет важное практическое значение, обусловленное широкими перспективами их применения в системах связи и телекоммуникации, при создании антенн, в радарной технике и измерительном оборудовании.

Целью бакалаврской работы являлось исследование амплитудно-частотных характеристик композитных структур с углеродосодержащими и диэлектрическими включениями и определение эффективной диэлектрической проницаемости композитов.

Для достижения этой цели:

- С использованием системы автоматизированного проектирования High Frequency Structural Simulator (HFSS) выполнено компьютерное моделирование амплитудно-частотных характеристик углеродосодержащих композитных материалов в СВЧ-диапазоне
- проведено экспериментальное исследование амплитудно-частотных характеристик композитной структуры с углеродосодержащими и диэлектрическими включениями

Дипломная работа занимает 36 страниц, имеет 31 рисунок.

Обзор составлен по 20 информационным источникам.

Во введении рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел представляет собой анализ современного состояния исследований углеродосодержащих и диэлектрических композитных материалов в СВЧ-диапазоне.

Во втором разделе работы представлено компьютерное моделирование амплитудно-частотных характеристик углеродосодержащих композитных материалов в СВЧ-диапазоне. Он включает в себя такие подразделы, как математическая модель слоистых структур на основе композитных материалов, математические модели эффективной среды, математическая модель слоистой структуры, содержащей слои композитного материала, результаты компьютерного моделирования амплитудно-частотных характеристик композитных материалов в СВЧ-диапазоне, математическая модель композитной структуры с углеродосодержащими включениями, результаты компьютерного моделирования амплитудно-частотных характеристик композитной структуры с углеродосодержащими включениями.

В третьем разделе работы представлены экспериментальные исследования амплитудно-частотных характеристик композитной структуры с углеродосодержащими включениями. Исследовалась зависимость эффективной диэлектрической проницаемости композитов на основе углеродосодержащих включений от их количества.

Использовалась трехслойная структура, созданная в соответствии с описанной выше моделью. Структура представляет собой отрезок волновода с сечением 23×10 мм с композитным материалом, полностью заполняющим волноводную секцию по поперечному сечению. Углеродосодержащие включения были выполнены в виде стержней диаметром 2 мм, расположенных вдоль направления распространения электромагнитной волны.

В первом случае структура состояла из композитного материала, в виде матрицы толщиной 20 мм с углеродосодержащими включениями, ограниченного фторопластовыми пластинами. Приведены результаты измерений АЧХ коэффициента отражения и прохождения трехслойной структуры с пустым средним слоем, и заполненным 2, 6, 10 графитовыми включениями

Во втором случае структура состояла из композитного материала, в виде матрицы толщиной 20 мм с углеродосодержащими включениями, ограниченного поликоровыми пластинами.

Представлены результаты измерений АЧХ трехслойной структуры с незаполненным средним слоем и заполненным 2-мя, 6-ю и 10-ю графитовыми включениями (стержнями), соответственно.

Из сопоставления теоретических и экспериментальных АЧХ (см. рис. 21 и 22) в результате решения обратной задачи были определены значения диэлектрической проницаемости композитного слоя.

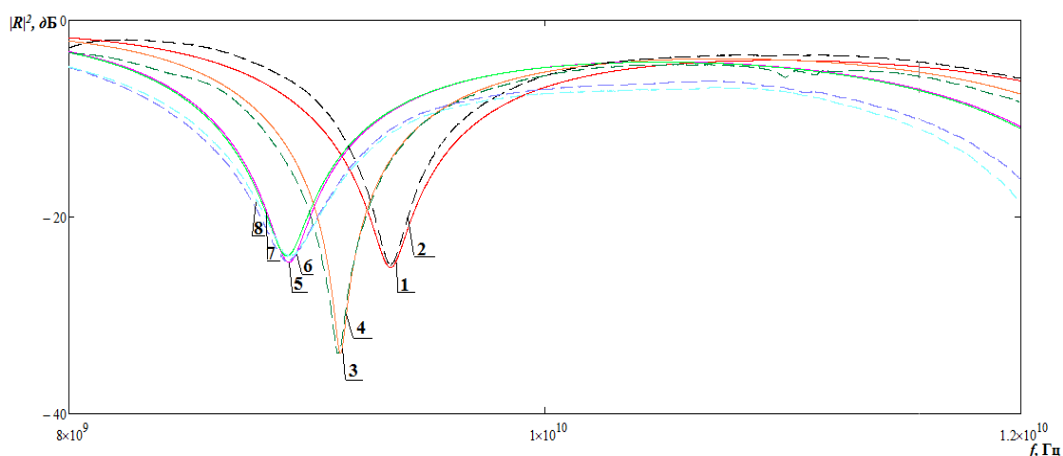


Рис.21 Сопоставление результатов расчета (кривые 2, 4, 6, 8) и экспериментальных (кривые 1, 3, 5, 7) результатов измерений амплитудно-частотных зависимостей коэффициентов отражения трехслойной структуры, ограниченной фторопластовыми пластинами, с незаполненным средним слоем и со средним слоем, заполненным 2-мя, 6-ю и 10-ю графитовыми включениями

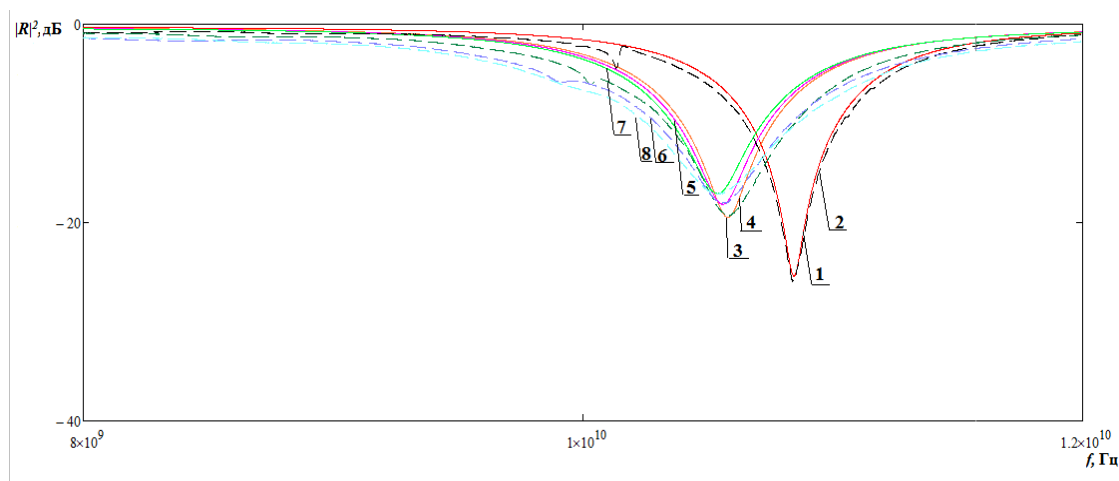


Рис.22 Сопоставление результатов расчета (кривые 2, 4, 6, 8) и экспериментальных (кривые 1, 3, 5, 7) результатов измерений амплитудно-частотных зависимостей коэффициентов отражения трехслойной структуры, ограниченной поликоровыми пластинами, с незаполненным средним слоем и со средним слоем, заполненным 2-мя, 6-ю и 10-ю графитовыми включениями

Для композита со средним слоем, заполненным 10-ю графитовыми включениями

$$\varepsilon_{\text{эф}}=1.11-i0.0065$$

Для композита со средним слоем, заполненным 6-ю графитовыми включениями

$$\varepsilon_{\text{эф}}=1.185-i0.023$$

Для композита со средним слоем, заполненным 2-мя графитовыми включениями

$$\varepsilon_{\text{эф}}=1.188-i0.025$$

Из полученных значений эффективной диэлектрической проницаемости с использованием соотношения Бруггемана была определена диэлектрическая проницаемость включений ε_1 , которая составила

$$\varepsilon_1 = 2.245-10.281i \text{ для 2-х включений}$$

$$\varepsilon_1 = 2.305-0.586i \text{ для 6-и включений}$$

$$\varepsilon_1 = 1,696-0,261i \text{ для 10-и включений}$$

В четвертом разделе представлены экспериментальные исследования амплитудно-частотных характеристик композитной структуры с диэлектрическими включениями.

Для исследования композитной структуры с диэлектрическими включениями была выбрана структура, представляющая собой структуру, выполненную в виде матрицы из материала с низким значением диэлектрической проницаемости (пенопласт), содержащей поликоровые включения из столбиков в виде параллелепипедов (2.0мм·1.0мм·10мм), длинная сторона которых была направлена перпендикулярно широким стенкам волновода. Включения распределялись равномерно по объему матрицы, размеры которой составляли (23мм·10мм·29мм). Количество включений варьировалось от 10 до 25 шт.

Исследуемая структура представляла собой трехслойную структуру, первый и последний слои которой представляли собой поликоровые пластины толщиной 1.0 мм, а средний слой был выполнен в виде описанного выше композита.

В рассматриваемом случае исследуемый композит представляет собой слоистую структуру со слоями параллельными вектору напряженности электрического поля при распространении волны типа H_{10} .

В этом случае эффективная диэлектрическая проницаемость композита может быть определена с использованием соотношения:

$$\epsilon_{эф} = \epsilon_1 X_1 + \epsilon_2 X_2 \quad (4.1),$$

Здесь ϵ_1 и ϵ_2 — диэлектрические проницаемости включений и матрицы, соответственно.

Были выполнены измерения АЧХ структур, представленных на рис. 27–30.

Результаты измерений АЧХ представлены на рис. 31.

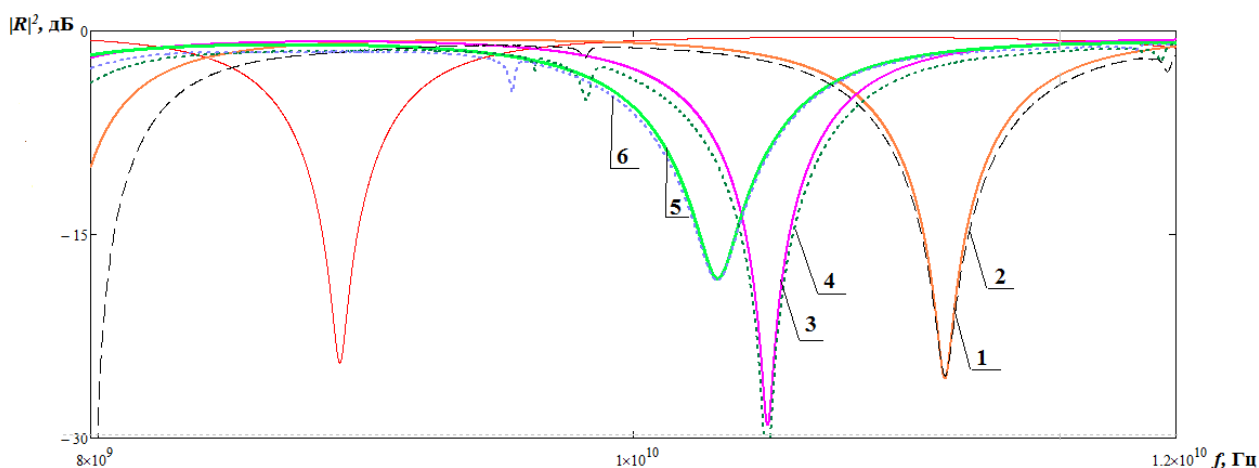


Рис.31 Сопоставление результатов расчета (кривые 2, 4, 6,) и экспериментальных (кривые 1, 3, 5,) результатов измерений амплитудно-частотных зависимостей коэффициентов отражения трехслойной структуры, ограниченной поликоровыми пластинами, с незаполненным средним слоем и со средним слоем, заполненным 2-мя, 6-ю и 10-ю диэлектрическими включениями

Из сопоставления теоретических и экспериментальных АЧХ в результате решения обратной задачи были определены значения эффективной диэлектрической проницаемости композитного слоя.

Для композита с поликоровыми включениями из столбиков в виде параллелепипедов в количестве 25шт

$$\epsilon_{эф} = 1.695 - i0.025$$

Для композита с поликоровыми включениями из столбиков в виде параллелепипедов в количестве 15шт

$$\epsilon_{эф} = 1.623 - i0.006$$

Для композита с поликоровыми включениями из столбиков в виде параллелепипедов в количестве 10шт

$$\epsilon_{эф} = 1.403 - i0.007$$

Из полученных значений эффективной диэлектрической проницаемости была определена диэлектрическая проницаемость включений ϵ_1 , которая составила 9.95.

Заключение.

- С использованием системы автоматизированного проектирования HFSS выполнено компьютерное моделирование амплитудно-частотных характеристик углеродосодержащих композитных материалов в СВЧ-диапазоне
- Проведено экспериментальное исследование амплитудно-частотных характеристик композитной структуры с углеродосодержащими включениями
- Решена обратная задача по определению эффективной диэлектрической проницаемости композитов с углеродосодержащими включениями
- Решена обратная задача по определению диэлектрической проницаемости углеродосодержащих включений
- Исследованы амплитудно-частотные характеристики композитной структуры с диэлектрическими включениями
- Решена обратная задача по определению эффективной диэлектрической проницаемости композитной структуры с диэлектрическими включениями.
- Решена обратная задача по определению диэлектрической проницаемости диэлектрических включений.

Список использованных источников

1. Д.С. Быченко, А.О. Плющ, Г.В. Горохов, В.С. Быченко, П.П. Кужир, С.А. Максименко Поглотители СВЧ излучения на основе гофрированных композитов с углеродными волокнами Журнал технической физики, 2016, том 86, вып. 12 с.124-128
2. Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, А.В. Романов Влияние отжига на СВЧ-характеристики углеродных нанотрубок и нанокompозитных материалов, созданных на их основе Журнал технической физики, 2014, том 84, вып. 6 с.88-91

3. Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, А.В. Романов Управление СВЧ-характеристиками композитных материалов с наполнителем из углеродных нанотрубок воздействием ультрафиолетового излучения Журнал технической физики, 2013, том 83, вып. 3 с.91-95

4. Maxwell-Garnett J. C. // Philos. Transactions of the Royal Society. London. Ser. A. 1904. Vol. 203. P. 385–420.

5. Bruggeman D. A. G. // Annalen der Physik. (Leipzig) 1935. F. 5. B. 24. H. 8. S. 636–679.

6. Д.А. Усанов, В.П. Мещанов, А.В. Скрипаль, Н.Ф. Попова, Д.В. Пономарев, М.К. Мерданов Согласованные нагрузки сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн на СВЧ фотонных кристаллах Журнал технической физики, 2017, том 87, вып. 2

7. Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, М.К. Мерданов, В.О. Горлицкий Волноводный фотонный кристалл, выполненный в виде диэлектрических матриц с воздушными включениями Журнал технической физики, 2016, том 86, вып. 2. с. 65-70.

8. Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, В.Б. Феклистов, С.Б. Вениг Измерение параметров полупроводников, микро- и наноструктур на СВЧ (учебное пособие)– Саратов: Электронное издание Саратов. ун-та, 2012. – 55 с.: ил.

9. Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, В.Б. Феклистов, С.Б. Вениг Лабораторный практикум «Измерение параметров полупроводников, микро- и наноструктур на СВЧ» (Учебное пособие)- Саратов: электронное издание Саратов. Ун-та, 2012. – 91с.: ил.

10. Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, А.В. Романов Комплексная диэлектрическая проницаемость композитов на основе диэлектрических матриц и входящих в их состав углеродных нанотрубок Журнал технической физики, 2011, том 81, вып. 1. с. 106-110.

11. В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин Основы наноэлектроники: учеб. пособие. - М. : Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. – 494 с. Гриф УМО (В НБ СГУ 14 экз)

12. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. СПб. ; М. ; Краснодар: Изд-во Лань, 2008. 618 с. (41 экз.)

13. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М. : Техносфера, 2010. – 330 с. (В НБ СГУ 5 экз)

14. П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов. Физика твёрдого тела: учеб. для вузов - Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 1993. - 490 с. (В НБ СГУ 13 экз) ., 2000. - 496 с.

15. А.А. Барыбин Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы: учеб. пособие . - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 423 с. (В ЗНБ СГУ 5 экз), 2006

16. А.А. Коваленко, М.Д. Петропавловский Основы микроэлектроники: учеб. пособие для студентов вузов – 3-е изд., стер. – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 238 с. Гриф УМО

17. М.Я. Сушко, С.К. Криськив Метод компактных групп в теории диэлектрической проницаемости гетерогенных систем Журнал технической физики, 2009, том 79, вып. 3