

Исследование спектров диэлектрической проницаемости композитов на основе углеродных нанотрубок

Доценко Ольга Александровна, кандидат физико-математических наук, доцент;
Качусова Анастасия Олеговна, студент
Национальный исследовательский Томский государственный университет

В работе проведено исследование характеристик материалов на основе углеродных нанотрубок для определения возможности их применения в качестве радиотражающих или радиопоглощающих материалов. Показано, что с увеличением концентрации нанотрубок до 1 мас.% диэлектрическая проницаемость увеличивается. При концентрациях 2 мас.% и выше наблюдается переход композита по электрическим свойствам от непроводящего к проводящему материалу.

Ключевые слова: нанотрубки, диэлектрическая проницаемость, лак.

Введение. Нанотрубки и нановолокна вызывают повышенное внимание исследователей в связи перспективами их применения в различных областях техники, включая микроволновые устройства. Однако исследования микроволновых свойств этих наноструктур и композиционных материалов на их основе немногочисленны [1 – 4]. Микроволновые свойства материалов описываются частотной зависимостью комплексной диэлектрической проницаемости $\epsilon(w) = \epsilon'(w) - j\epsilon''(w)$, где $\epsilon'(w)$ и $\epsilon''(w)$ – действительная и мнимая части, характеризующие диэлектрическую проницаемость среды и потери в ней, соответственно.

В данной работе приведены экспериментальные результаты измерения диэлектрической проницаемости композитов на основе уретано-алкидного лака (легкий, вязкий,

с хорошим показателем адгезии) с добавкой наполнителя в виде нанотрубок с концентрациями в диапазоне от 0,25 мас.% до 2 мас.%.

Методика. В качестве наполнителя использовались многослойные углеродные нанотрубки МУНТ-2 (Институт катализа СО РАН), полученные каталитическим газофазным осаждением этилена в присутствии $\text{FeCo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ катализатора [5]. Это легкий, пушистый порошок черного цвета, содержащий отдельные нанотрубки, тяжи и агрегаты нанотрубок, примесные частицы металла, инкапсулированные в объеме нанотрубок, частицы оксидного носителя. Средний диаметр нанотрубок 9,4 нм, в диапазоне диаметров 4 – 21 нм. Содержание МУНТ более 97,5% от общей массы (рис. 1).

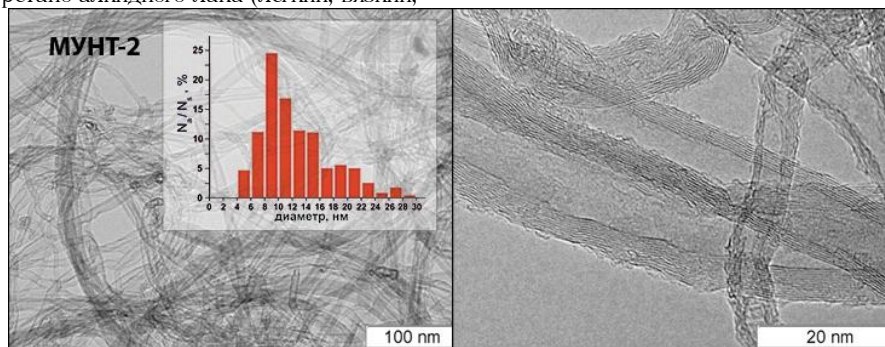


Рис. 1. Распределение многослойных углеродных нанотрубок по диаметру [6]

Композиты для измерений приготавливали следующим образом. В навеску лака добавляли необходимое количество наполнителя и полученную смесь тщательно перемешивали. Затвердевание образцов происходило в течение 48 часов при комнатной температуре. Диэлектрические свойства образцов измеряли в диапазоне частот от 3 ГГц до 13,7 ГГц на установке E8363B фирмы Agilent Technologies, по резонаторной методике.

Результаты и их обсуждение. Для точного измерения электромагнитных свойств материала с помощью резонаторного метода с использованием объемных прямоугольных резонаторов необходимо выполнение условия: объем резонатора должен быть больше, чем объем образца. Образец через тонкую щель в резонаторе помещался в об-

ласть пучности электрического поля. Данный метод позволяет измерять образцы весьма малых размеров: тонкие полоски длиной ~10 мм, шириной ~20 мкм и толщиной ~0,1–0,2 мм. При этом возможно измерение параметров образцов с крайне малым количеством нанотрубок, включая образцы концентрированных нанотрубок с весом ~0,01 мг [7]. В нашем случае, для измерений были взяты образцы в виде длинных тонких стержней прямоугольного сечения. Размер каждого стержня составляет около 7,4242 мм, что соответствует вышеприведенному условию.

На рис. 2 представлены графики зависимости диэлектрической проницаемости композитов с различными концентрациями нанотрубок от частоты.

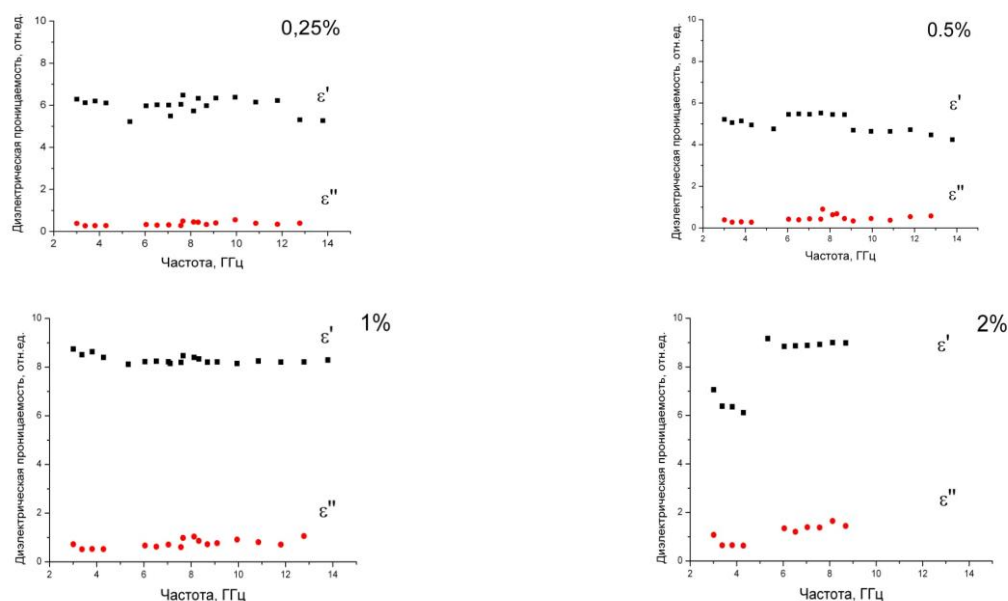


Рис. 2. Зависимость диэлектрической проницаемости лаковых композитов на основе нанотрубок с разными концентрациями

Лак — обычный неполярный диэлектрик, диэлектрическая проницаемость которого равна 4 отн.ед. Диэлектрическая проницаемость образцов с концентрациями наполнителя, равными 0,25 мас.% и 0,5 мас.%, увеличивается до значения 6 отн.ед. Диэлектрическая проницаемость образца с концентрацией нанотрубок 1 мас.% и 2 мас.% равна 9 отн.ед. Таким образом, с увеличением концентрации нанотрубок в композите увеличивается диэлектрическая проницаемость. Заметим, что при концентрации нанотрубок, равной 2 мас.%, не удалось провести измерения на частотах 9-13 ГГц. Это можно объяснить тем, что для измерительного резонатора на данных частотах электрическая длина образца стала сравнима с электрической длиной резонатора. То есть на данных частотах у образца начали проявляться проводящие свойства. Аналогичный результат получился при концентрациях нанотрубок больше 2 мас.% уже на всех резонаторах. То есть при концентрациях выше 2 мас.% изготовленные композиты проявляют проводящие свойства.

Выводы. Обнаружено, что в области концентраций

нанотрубок 0,25 — 1% в лаковом композите действительная и мнимая части комплексной диэлектрической проницаемости ведут себя монотонно, а также тот факт, что с увеличением концентрации нанотрубок в композите увеличивается диэлектрическая проницаемость. При концентрациях 2 мас.% и выше наблюдается переход композита по электрическим свойствам от непроводящего к проводящему материалу.

Благодарности. Работа выполнена в рамках программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

Исследование электромагнитных параметров проводилось на оборудовании центра коллективного пользования Национального исследовательского Томского государственного университета «Центр радиофизических измерений, диагностики и исследования параметров природных и искусственных материалов».

Авторы благодарят преподавателей кафедры радиоэлектроники радиофизического факультета Томского государственного университета за оказанную помощь и поддержку.

Литература:

1. Мурадян, В.Е. Диэлектрические свойства композитов, модифицированных углеродными наноструктурами, в микроволновом диапазоне / В.Е.Мурадян, Е.А. Соколов, С.Д. Бабенко // Журнал технической физики. — 2010. - №2. — С. 83 — 87.
2. Кулешов, Г.Е. Электромагнитные характеристики композитов на основе углеродных наноструктур и гексаферритов в гигагерцовом диапазоне / Г.Е. Кулешов, О.А. Доценко, О.А. Кочеткова, В.И. Суслев // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56. № 8-2. С. 315 — 317.
3. Доценко О.А. Микроволновые характеристики композиционных радиоматериалов на основе полимера и углеродных структур / О.А. Доценко, В.И. Суслев, В.Л. Кузнецов, И.Н. Мазов, О.А. Кочеткова // Доклады ТУСУРа. 2011. — №2 (24). Ч. 2. — С. 36 — 40.
4. Кочеткова, О.А. Микроволновые электрофизические характеристики композитов на основе многостенных углеродных нанотрубок / О.А. Кочеткова, А.Е. Леухина, О.А. Доценко // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. трудов. — Красноярск, Сиб. федер. ун-т, 2011. — С. 398 — 401.
5. Многослойные углеродные нанотрубки// URL: http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=3&SECTION_ID=1513 (дата обращения 25.02.2015).



6. Распределение многослойных углеродных нанотрубок по диаметру// URL:<http://www.catalysis.ru/upload/medialibrary/6ed/hifbnxnssg%20qtjkbngcyozktinoxexf%20to%20dkbgzwuhbrcitrхeрbnoioxbjd.jpg> (дата обращения 25.02.2015).
7. Гарин, Б.М. Спектральные свойства композитов на основе углеродных нанотрубок и полипропилена в миллиметровом и сантиметровом диапазонах электромагнитных волн / Б.М. Гарин, В.В. Мериакри, Б.А. Мурмужев // III Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь». 2009. – М.: ИРЭ РАН. С. 202 – 209.