

Электрофизические свойства акриловых композитов с многостенными углеродными нанотрубками*

И.С. Кеда¹, О.А. Доценко^{1,2}, Д.А. Алмаев^{1,2}, Д.В. Вагнер¹

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

² *Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия*

Представлены результаты исследования частотной зависимости диэлектрической проницаемости композиционных материалов на основе многостенных углеродных нанотрубок. Экспериментальные образцы были изготовлены из акриловой краски с добавлением углеродных нанотрубок, концентрация которых равна 0.5, 1.0 и 1.5 мас.%. Для обработки смеси использовался ультразвуковой излучатель с мощностью 25 Вт и частотой колебаний 25 кГц. Измерения проводились конденсаторным методом. Проведено сравнение комплексной диэлектрической проницаемости и проводимости на переменном токе исследуемых образцов, изготовленных при различной длительности ультразвуковой обработки. Показано, что длительность ультразвуковой обработки исходной суспензии влияет на комплексную диэлектрическую проницаемость и проводимость, что позволяет получать материалы с отличающимися электрофизическими характеристиками без изменения состава смеси.

Ключевые слова: многостенные углеродные нанотрубки, композит, ультразвуковая обработка, диэлектрическая проницаемость, конденсаторный метод.

Введение

Техногенный электромагнитный фон, создаваемый разнообразным электронным оборудованием, таким как источники питания, компьютеры, приемники, передатчики, антенны и др., значительно преобладает над естественным [1–4]. Ухудшение электромагнитной обстановки, вызванной высоким уровнем напряженности электромагнитного поля, наблюдается в местах, где одновременно работает большое количество единиц оборудования как на низких [3, 4], так и на высоких [1, 2] частотах. Отдельной задачей является то, что с развитием электроники повышается чувствительность, и вместе с ней растет восприимчивость высокочастотного электронного оборудования к различного рода помехам. Все это приводит к нарастанию проблемы электромагнитной совместимости.

Для снижения электромагнитного фона и обеспечения электромагнитной совместимости электронного оборудования традиционно применяют материалы, поглощающие электромагнитное излучение. При разработке композиционных материалов, предназначенных для этих целей, в качестве наполнителей используют магнитные материалы, сажу, мелкодисперсные металлические частицы, но добавление в композит углеродных нанотрубок (УНТ) существенно изменяет электромагнитные характеристики. В работе [5] для изготовления поглощающих материалов рассматривают композиты с порошком феррита, в [6] – с карбонильным железом, а в [7] с этой целью наноразмерные частицы кобальта смешивают с многостенными углеродными нанотрубками (МУНТ).

Авторы статьи [8] предлагают добавлением МУНТ в цемент получать поглотитель электромагнитных волн. В свою очередь, в [9] рассматривается возможность получения легкого полимерного поглотителя электромагнитных волн на основе композита, содержащего МУНТ. Исходя из этого, можно сделать вывод, что углеродные нанотрубки являются востребованными материалами для разработки поглотителей электромагнитного излучения, а исследование их электромагнитных свойств является актуальной задачей.

УНТ обладают уникальными электрофизическими, механическими, термическими и оптическими свойствами [10, 11], что представляет фундаментальный интерес и открывает ряд возможностей для прикладных применений. Они могут быть использованы в качестве зондов сканирующей микроскопии, чувствительных элементов различных датчиков, проводящих каналов транзисторов и наполнителей композиционных материалов [12]. Наибольшее внимание со стороны исследовательского сообщества направлено на изучение свойств композиционных материалов с включениями одностенных и многостенных УНТ в качестве проводящих наполнителей для создания поглощающих или отражающих покрытий, что связано с их высокой проводимостью и воз-

* Результаты получены в рамках выполнения госзадания Минобрнауки России, проект № FSWM-2025-0014.