

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ТРУДЫ
XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНЧЕСКИХ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ИНКУБАТОРОВ**

Томск, 17–18 мая 2016 г.

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

Влияние ультразвуковой обработки на электромагнитные характеристики композита, содержащего многостенные углеродные нанотрубки, в терагерцовом диапазоне частот*

А.О. Качусова

Научный консультант – канд. физ.-мат. наук **О.А. Доценко**,
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия

anastasia_kachusova@mail.ru

Переход к электронике сверх- и гипервысоких частот позволяет значительно уменьшить геометрические размеры и массу радиоэлементов, уплотнить их взаиморасположение, уменьшить энергопотребление и расширить функциональные возможности радиоаппаратуры. В настоящее время активно используется весь диапазон электромагнитного излучения, кроме терагерцового. Он до сих пор является «*terra incognita*» [1]. Учеными разных стран разрабатывается аппаратура для данного диапазона частот. Но перед выбором того или иного типа конструкционных и радиоматериалов необходимо знать их характеристики, в том числе и электромагнитные микроволновые свойства, которые описываются частотной зависимостью комплексной диэлектрической проницаемости (ДП) $\epsilon(\omega) = \epsilon'(\omega) - j\epsilon''(\omega)$, где $\epsilon'(\omega)$ и $\epsilon''(\omega)$ – действительная и мнимая части, характеризующие диэлектрическую проницаемость среды и потери в ней соответственно. Это необходимо для того, чтобы указать области их возможного применения. Причем в качестве радиоматериалов можно выбрать как монолитные вещества, так и композиты на их основе.

Основная часть

Необходимым условием получения полимерных нанокompозитов хорошего качества является равномерное распределение наполнителя в матрице. Склонность углеродных нанотрубок (УНТ) к агрегации из-за высокой поверхностной энергии и большого отношения длины к диа-

* Работа выполнена в рамках Программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского государственного университета.

метру (аспектного отношения) препятствует образованию стойких дисперсий УНТ в полимерах.

При обработке ультразвуком смеси, содержащей УНТ, можно добиться их равномерного распределения в объеме, но при этом могут возникать достаточно сложные явления, например кавитация, генерирующая нерегулярное звуковое поле, в локальных зонах которого может возникать резонанс, приводящий к физическим и химическим преобразованиям в веществе (в частности, к дегазации, повышению температуры) [2]. Для эффективного диспергирования нанобъектов размером 10–100 нм требуется частота ультразвука, равная 15–200 ГГц. В этой области гиперзвук быстро поглощается средой-носителем, а энергия расходуется на преобразование вещества, в том числе активацию химических реакций. В настоящее время промышленных аппаратов, генерирующих такие частоты ультразвука, нет [3]. В работе использовался стандартный ультразвуковой технологический аппарат УЗТА–0.1/28–0 «Алена».

В качестве наполнителя в работе использовались многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ), изготовленные в Институте катализа СО РАН, полученные каталитическим газофазным осаждением этилена в присутствии $\text{FeCo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ катализатора [4]. Это легкий, пушистый порошок черного цвета, содержащий отдельные нанотрубки, тяжи и агрегаты нанотрубок, примесные частицы металла, инкапсулированные в объеме нанотрубок, частицы оксидного носителя. Были использованы два типа трубок: МУНТ-2 и МУНТ-3. Средний диаметр МУНТ-2 составляет 9,4 нм в диапазоне диаметров 4–21 нм. Содержание МУНТ более 97,5% от общей массы. Также были использованы нанотрубки МУНТ-3, средний диаметр которых составляет 18,4 нм.

Композиты для измерений приготавливали следующим образом [5]. В навеску уретано-алкидного лака добавляли необходимое количество наполнителя и полученную смесь тщательно перемешивали в течение 5 мин. После этого ее помещали в стеклянную емкость и обрабатывали с помощью ультразвука путем погружения рабочего инструмента внутрь смеси. Время ультразвуковой обработки составляло от 1 до 5 мин. После этого смесь разливали в плоские формы размером $70,0 \times 20,0 \times 2 \text{ мм}^3$ и оставляли для полимеризации в течение 48 час при комнатной температуре. Полученные заготовки перед измерением обрабатывались до плоскопараллельного состояния.

Частотные зависимости ДП пленок композита в терагерцовой области частот были исследованы с помощью интерферометра Маха–Цандера,

работающего на лампе обратной волны в диапазоне 115–258 ГГц. Результаты измерений приведены на рис. 1, 2.

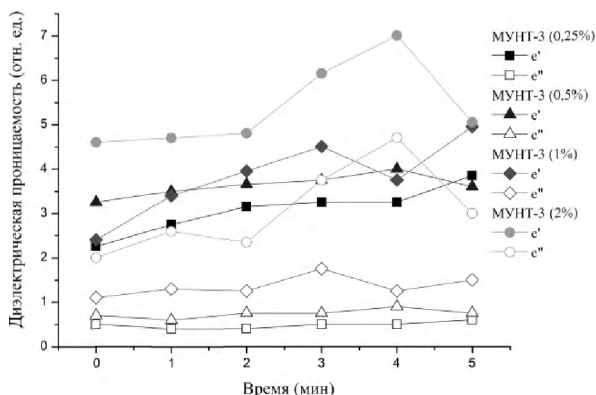


Рис. 1. Зависимость диэлектрической проницаемости композитов на основе МУНТ-3 от времени обработки ультразвуком

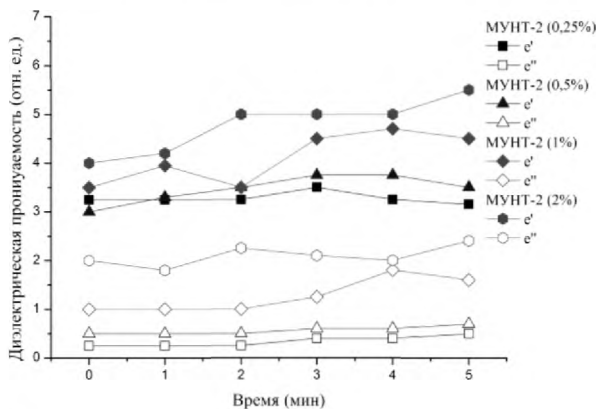


Рис. 2. Зависимость диэлектрической проницаемости композитов на основе МУНТ-2 от времени обработки ультразвуком

Из рис. 1, 2 видно, что при добавлении нанотрубок в уретано-алкидный лак диэлектрическая проницаемость увеличивается (ДП чистого лака $\epsilon' = 4$ отн. ед.). Ультразвуковая обработка разбивает агломераты из УНТ и способствует равномерному распределению МУНТ по объ-

ему композита. При этом происходит увеличение значений как действительной, так и мнимой частей ДП у композитов, содержащих МУНТ-3. Обнаружено оптимальное время УЗ обработки, равное 4 мин для МУНТ-3 и 3 мин для МУНТ-2, при котором наблюдаются наибольшие значения ДП композитов.

ДП композита с УНТ диаметром 9,4 нм больше, чем ДП композита с УНТ диаметром 18,4 нм при одинаковой концентрации. Это связано с разной объемной концентрацией, вызванной размерами УНТ и их суммарной поверхностной площадью.

В исследуемом диапазоне частот не наблюдается областей дисперсии ДП, что вызвано отсутствием ориентационного типа поляризации в терагерцевом диапазоне.

Таким образом, воздействие ультразвука на заготовку перед полимеризацией позволяет варьировать значения диэлектрической проницаемости экспериментальных образцов.

Благодарности

Благодарим инженера К.В. Дорожкина за помощь при проведении измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Доценко О.А., Суляев В.И., Кузнецов В.Л., Мазов И.Н., Кочеткова О.А.* Микроволновые характеристики композиционных радиоматериалов на основе полимера и углеродных структур // Доклады ТУСУР. – 2011. – № 2 (24), ч. 2. – С. 36–40.
2. *Голямина И.П.* Ультразвук. Маленькая энциклопедия. – М. : Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
3. *Королев Е.В.* Проблемы и перспективы нанотехнологии в строительстве // Известия КазГАСУ. – 2011. – № 2 (16) – С. 200–208.
4. *Многослойные углеродные нанотрубки* [Электронный ресурс]. – URL: http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=3&SECTION_ID=1513 (дата обращения: 23.04.2016).
5. *Качусова А.О.* Влияние ультразвуковой обработки на электромагнитные характеристики композита, содержащего многослойные углеродные нанотрубки // Сборник трудов XII Международной конференции студентов и молодых ученых, 21–24 апреля 2015 г., Томск. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2015. – С. 989–991.