

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И АКРИЛОНИТРИЛБУТАДИЕНСТИРОЛА В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

**Москаленко В.Д., Бадьин А.В., Кулешов Г.Е., Суляев В.И., Ланин Е.В.**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

В последнее десятилетие наблюдается тенденция на создание композитных материалов для 3D-принтеров, содержащих многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) [1]. При добавлении небольшого количества МУНТ в полимерную матрицу могут наблюдаться высокие значения поглощения электромагнитного излучения. Электромагнитным откликом композитных материалов, содержащих МУНТ, можно управлять с помощью диаметра нанотрубок, изменения длины, количества слоев и расположения в матрице [2]. Изготовленные 3D печатью объекты на основе полимера с МУНТ характеризуются электропроводностью, высокой диэлектрической проницаемостью и механической прочностью. Создание таких материалов расширяет возможности изготовления элементов ТГц-диапазона [3].

Для исследования были напечатаны пять образцов композитных материалов методом послойного наплавления, которые содержали 1-4 масс. % МУНТ со средним диаметром 9,4 нм и акрилонитрилбутадиенстирола (АБС). МУНТ были получены путем каталитического газофазного осаждения этилена с использованием катализатора FeCo. Наполнитель добавлялся к АБС, растворенному в диметилкетоне, и полученная смесь обрабатывалась ультразвуком при 75 Вт в течение 10 минут. Измельченная полимеризованная смесь пропусклась через экструдер для формирования нитей для 3D-принтера диаметром 1,6 мм. Были изготовлены четыре образца с содержанием МУНТ от 1 до 4 масс. %. Для образца № 5 с 4 масс. % МУНТ этап ультразвукового диспергирования был пропущен. В результате методом 3D печати послойным наплавлением были получены пять образцов диаметром 20 мм и толщиной 0,55 мм, 0,61 мм, 0,51 мм, 1,14 мм и 0,53 мм соответственно.

С помощью терагерцового спектрометра во временной области Teravil T-SPEC 1000 был получен электромагнитный отклик образцов в диапазоне частот 0,1 - 1,6 ТГц. Установлено, что повышение концентрации МУНТ в образцах приводит к уменьшению коэффициента пропускания и увеличению коэффициента отражения электромагнитного излучения благодаря увеличению диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь. Анализ частотной зависимости коэффициента поглощения показывает, что с ростом частиц поглотителя в образце значения коэффициента поглощения увеличиваются вплоть до 95% на частотах свыше 600 ГГц. В результате диэлектрическая проницаемость композитных материалов, содержащих МУНТ, в терагерцовой области резко падает с увеличением концентрации нанотрубок и частоты [3]. Также показано, что влияние ультразвуковой обработки композиционной смеси в процессе производства материала в течение 10 мин. при мощности 75 Вт ведет к снижению значения диэлектрической проницаемости (в среднем  $\epsilon'$  на 4% и  $\epsilon''$  на 21%).

## Библиографические ссылки

1. Sezer H. K., Eren O. / J. Manuf. Process. 2018. Vol. 37. P. 339–347.
2. Sedelnikova O. V. et al. / Nanotechnology. 2018. Vol. 29. – 9 p.
3. Badin A.V., Simonova K.V., Kuleshov G.E. / Proc. 44st Int. Conf. Infrared Millimeter and Terahertz waves (IRMMW-THz), Paris, France, 2019. – 6 p.