

ФОРМИРОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ АНТИОТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА И СТЕКЛОВОЛОКНА С УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

А. С. Коровицкий¹⁾, В. Ю. Филиппович²⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, rct.korovick@bsu.by

²⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, rct.filippovyy@bsu.by

*Научные руководители – Ф. Ф. Комаров, доктор физико-математических наук, профессор; И.Д. Парфимович, старший научный сотрудник лаборатории элионики;
М. Н. Жукова, младший научный сотрудник лаборатории элионики*

В работе приведены результаты исследования взаимодействия электромагнитного излучения в широком спектральном диапазоне с композиционными материалами на основе эпоксидного полимера ЭД-20 и стекловолоконной ткани, наполненных углеродными нанотрубками. По результатам исследований было установлено, что полученные композиционные материалы обладают свойствами как экранировки, так и антиотражающими для падающего излучения в УФ, видимом, ближнем и среднем ИК, а также СВЧ диапазонах в зависимости от концентрации углеродных наполнителей серии «Таунит-М», «Таунит-МД».

Ключевые слова: углеродные нанотрубки; композиционные материалы; эпоксидный полимер; экранирующие покрытия; антиотражающие покрытия.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одной из проблем использования высокочастотной техники является электромагнитное загрязнение окружающей пространства [1]. В связи с этим проблема экранирования электромагнитного излучения (ЭМИ) является весьма актуальной.

Большую популярность получило создание и применение легких и эластичных полимеров, наполненных углеродными наночастицами.

В данной работе для эффективного поглощения ЭМИ в широком спектральном диапазоне изготавливались композиционные материалы на основе двух различных матричных материалов, наполненных многостеночными углеродными нанотрубками (МУНТ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В СВЧ диапазоне, измерения коэффициента пропускания и отражения композита на основе стекловолоконной ткани, наполненной МУНТ «Таунит-МД» с концентрациями 0,01 вес. %, 0,05 вес. %, 0,1 вес. %, 0,5 вес. %

проводились с помощь метода линии передач с использованием программного комплекса N1500A Materials Measurement Suite. Для определения параметров материалов использовался метод прецизионного измерения диэлектрической проницаемости ϵ из параметров отражения/прохождения. Измерительная ячейка из состава волноводного калибровочного комплекта X11644А представляла собой четверть-волновую вставку с размерами 22,86 x 10,16 мм.

Для измерения коэффициентов зеркального и диффузного отражения в диапазоне от 0,2 до 2,5 мкм использовался двухлучевой сканирующий спектрофотометр Lambda 1050, а от 2,5 до 25 мкм использовался ИК-фурье – спектрометр Spectrum 3 Optica. Облучение атомарным кислородом полимера и композита происходило с помощью плазменно-пучковой установки со следующими параметрами: средняя энергия ионов 20-40 эВ; состав потока - нейтралы О и O₂, ионы O⁺ и O⁺₂, плазменные электроны; эффективный флюенс по каптоновому эквиваленту для образцов: (1,7 ÷ 30)×10²⁰ ат/см².

РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На Рис. 1 представлены графики зависимости коэффициента отражения от частоты падающего излучения для композиционных материалов на основе стекловолоконной ткани и эпоксидного полимера с разными концентрациями МУНТ «Таунит-МД».

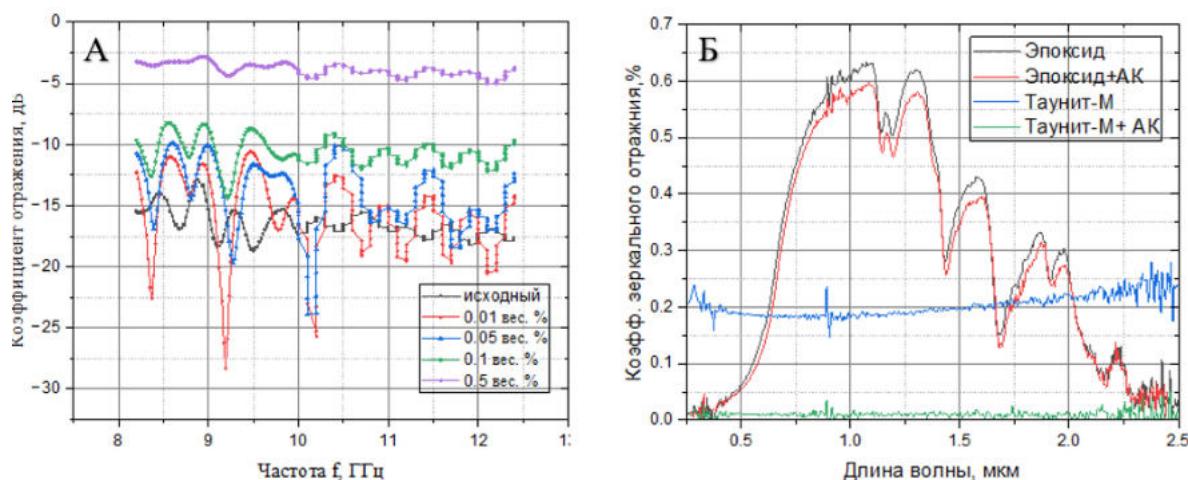


Рис. 1. Графики зависимости коэффициента отражения от частоты(а); графики зависимости коэффициента зеркального отражения от длины волны (б)

С увеличением концентрации трубок значение коэффициента отражения ЭМИ увеличивается, что особенно заметно для концентрации 0,5 вес. %, когда уровень ослабления отражения не превышает -3 – -4 дБ. Анализ

спектров пропускания (не приводим) свидетельствует о том, что с точки зрения эффективной экранировки падающего ЭМИ подходящими будут являться композиционные покрытия с концентрацией МУНТ не менее 0,5 вес. %. Результаты моделирования спектров отражения (Рис. 2) показывают, что для композиционных покрытий с концентрациями МУНТ 0,01 и 0,05 вес. % наиболее явно выражены резонансные частоты. Следовательно композиционные покрытия с концентрациями МУНТ 0,01 и 0,05 вес. % могут эффективно поглощать излучение в узких частотных диапазонах. Так для композиционного покрытия с концентрацией 0,01 вес. % ослабление отражения (-18 дБ) наблюдается при частоте 10,02 ГГц, а для 0,05 вес. % УНТ аналогичное поведение коэффициента отражения ЭМИ будет происходить на частотах 9,7 – 10,02 ГГц.

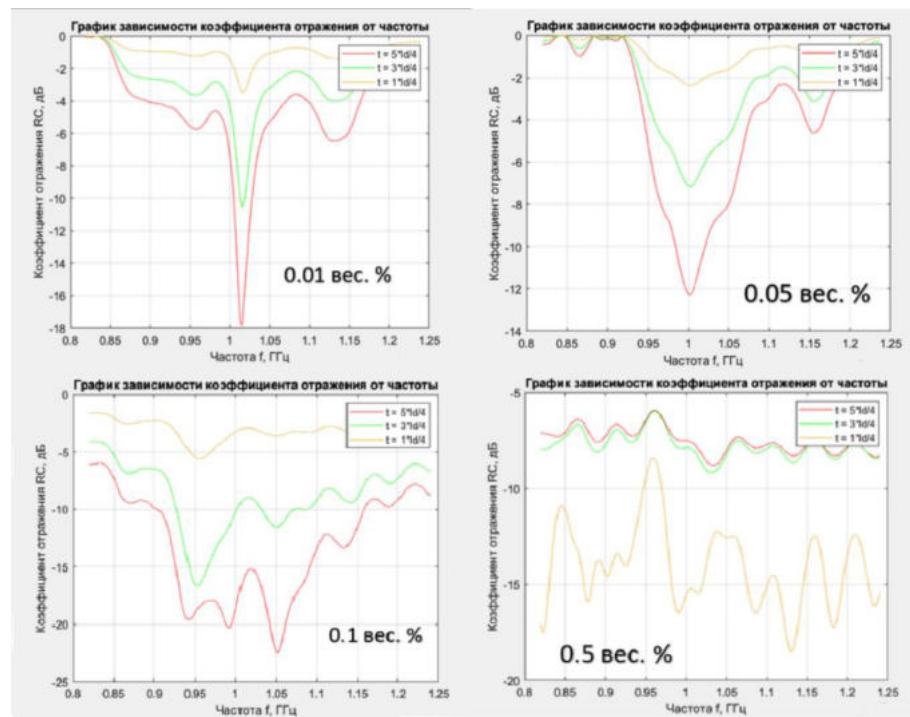


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента отражения RC от частоты ЭМИ

Была исследована зависимость коэффициента отражения от длины волны ЭМИ для каждого из обсуждаемых образцов.

Приведенные данные на Рис. 1Б, 3 и 4 свидетельствуют о том, что формирование развитого эрозионного рельефа поверхности приводит к сильному снижению отражательной способности композита с углеродными наполнителями во всей спектральной области 0,2-25 мкм.

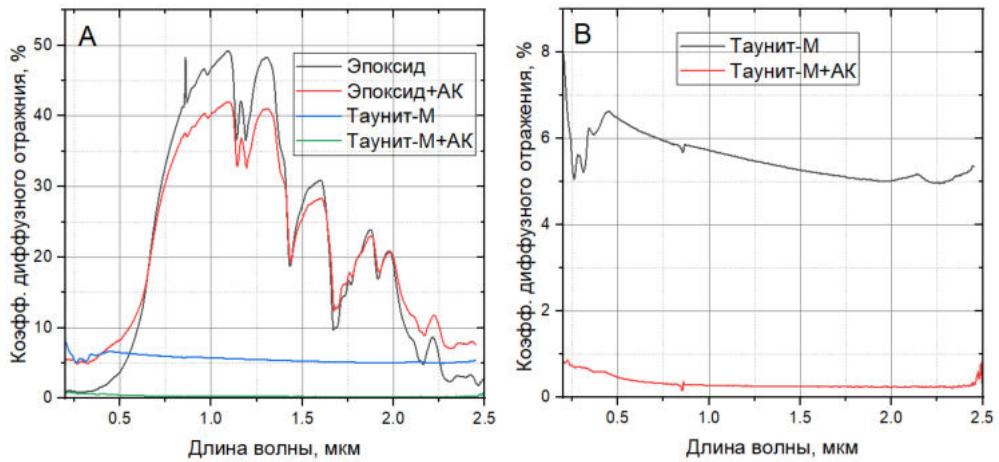


Рис.3. Спектры диффузного отражения эпоксидной смолы и композита с углеродными нанотрубками до и после облучения в кислородной плазме в диапазоне (0,2 – 2,5 мкм) (а); это увеличенный вариант левого графика (б)

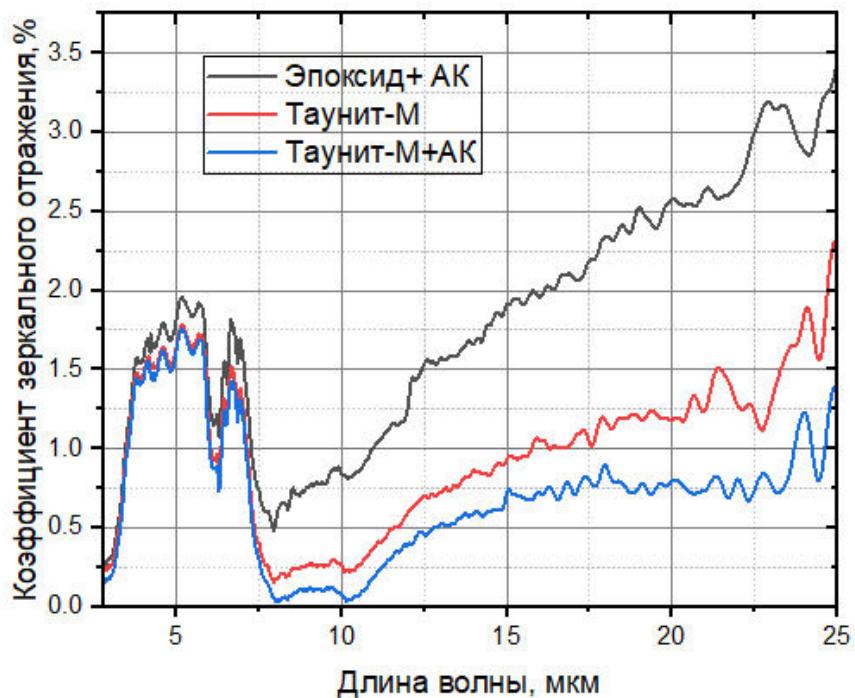


Рис. 4. Спектр зеркального отражения эпоксидной смолы и композита с углеродными нанотрубками до и после облучения в кислородной плазме в диапазоне (2,5-25 мкм)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные результаты исследований свидетельствуют о перспективности применения данных композитов в качестве антиотражающих покрытий в оптических и оптоэлектронных системах как космических аппаратов, так и для наземных применений, а также для экранировки систем космической электроники от ЭМИ СВЧ диапазона.

Библиографические ссылки

1. Микроволновые характеристики композитного материала на основе эпоксидного полимера с добавлением графеновых и ферритных наноматериалов / И. Д. Парфимович [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2019. Т. 63, № 1. С. 22–28. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-22-28>
2. И.Д. Парфимович, Ф.Ф. Комаров, В.П. Кныш, А.Г. Ткачев/ Наноструктурированное углеродными нанотрубками широкополосное радиопоглощающее покрытие//*Nanostructured, nanoscale materials and nanodevices.* 2023;8(3): 185-195. DOI: 10.17277/jamt.2023.03. pp. 185-195