

УДК 621.317.4

В.И. Суслев, В.Л. Кузнецов, И.Н. Мазов, В.А. Журавлев, Г.Е. Кулешов

## Электромагнитный отклик от композиционного материала на основе многостенных углеродных нанотрубок

Приведены результаты исследования коэффициентов прохождения и отражения композиционных материалов на основе углеродных нанотрубок.

**Ключевые слова:** коэффициент прохождения, коаксиальная линия, композит, углеродные нанотрубки.

С каждым годом ускоряются темпы развития электроники. Создание новых технологий, совершенствование уже существующих методов и приемов позволяют осуществлять как количественный, так и качественный переход на более высокий уровень производства. Увеличивается число разработок радиоэлектронных устройств, работающих в микроволновой области электромагнитного излучения и используемых в сотовой связи, последних моделях компьютеров и цифровой аппаратуре различного назначения. При этом наблюдается постепенный переход в сторону более высоких рабочих частот, поскольку именно этим путем относительно легко достигается уменьшение геометрических размеров и веса радиоэлементов, уплотнение их расположения и снижение энергозатрат. Вместе с тем на этом пути имеется ряд проблем. Многие радиоматериалы, хорошо зарекомендовавшие себя на низких частотах, теряют свои свойства и перестают работать в области высоких частот. Возникает проблема обеспечения электромагнитной совместимости отдельных элементов и согласование всего приемно-передающего тракта электронных устройств, а также защиты от излучения этих устройств.

Для решения подобных задач необходимы материалы, способные поглощать или экранировать электромагнитное излучение. Из литературы известно, что активно взаимодействуют с электромагнитным излучением терагерцового и инфракрасного диапазонов полимерные композиты с углеродными нанотрубками в качестве наполнителя.

Представляет интерес исследовать поведение отражающих и поглощающих свойств композитов на основе многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) в низкочастотной области микроволнового излучения.

Исследования производились на аппаратуре аккредитованного центра коллективного пользования «Центр радиоизмерений ТГУ»: измерителе коэффициента прохождения и отражения на основе скалярного анализатора цепей P2M-04 фирмы «Микран». Он позволяет проводить измерения модуля коэффициента отражения или коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) и модуля коэффициента передачи в диапазоне частот 0,01–4 ГГц. В качестве измерительной ячейки использовалась коаксиальная волноводная линия. Прибор работает в составе с персональным компьютером, который выполняет ряд вычислительных функций и обеспечивает отображение результатов.

Нами проведены исследования электромагнитного отклика от слоя композиционного материала. Наполнителем были многослойные углеродные нанотрубки, а связующим – полиметилметакрилат (ПММА). Рассматривались образцы с различным весовым содержанием МУНТ от 1 до 10%. Толщина образцов была порядка 0,1–0,3 мм. Образец приклеивался к пенопластовой шайбе с внешним диаметром  $d_1 = 16$  мм и внутренним  $d_2 = 6,95$  мм. Образцы композита изготавливались в Институте катализа Сибирского отделения Российской академии наук.

Измерения электромагнитного отклика от слоя композиционного материала проводились в диапазоне 0,01–3,5 ГГц. На рис. 1 представлены результаты измерений и расчетов коэффициентов прохождения ( $T$ ), отражения ( $R$ ), поглощения ( $A$ ) образцов 2200/ПММА с содержанием МУНТ от 1 до 10%.

Из графиков видно, что с увеличением процентного содержания углеродных нанотрубок в образце растут коэффициенты отражения, поглощения.

Полученные результаты позволяют утверждать, что композиты на основе многостенных углеродных нанотрубок весьма активно взаимодействуют с низкочастотным (от 10 МГц) излучением. Видно, что уже при 10% содержании МУНТ коэффициент поглощения имеет весьма заметную величину, и это при толщине образца в 0,2 мм.

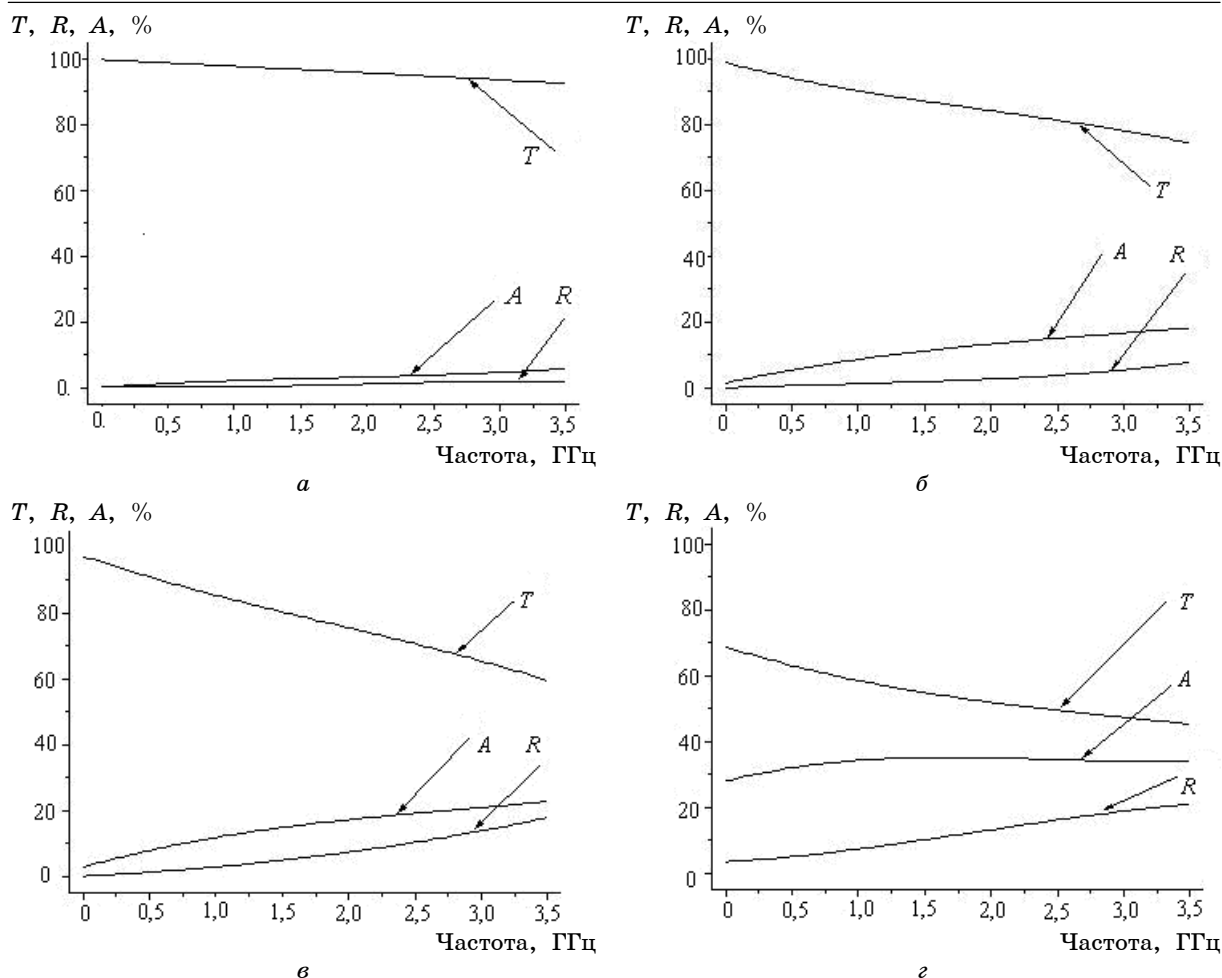


Рис. 1. Частотные зависимости коэффициентов прохождения ( $T$ ), отражения ( $R$ ) и поглощения ( $A$ ) образцов 2200/ПММА с массовой долей МУНТ:  $a$  – 1%;  $б$  – 2%;  $в$  – 5%;  $г$  – 10%

Выбранный диапазон излучения в настоящее время интенсивно используется для создания радиоэлектронной аппаратуры различного назначения, поэтому композиты на основе МУНТ весьма перспективны для использования в качестве отражающих и поглощающих устройств.

Работа выполнена при поддержке проектами ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (Госконтракты П2476 от 19 ноября 2009 г. и № 16.740.11.0016 от 01 сентября 2010 г.).

#### Суслев Валентин Иванович

Канд. физ.-мат. наук, доцент каф. радиоэлектроники  
Национального исследовательского Томского государственного университета (НИТГУ)  
Тел.: 8-905-991-06-10  
Эл. почта: susl@mail.tsu.ru

#### Кузнецов Владимир Львович

Канд. хим. наук, заведующий отделом.  
Института катализа СО РАН, г. Новосибирск  
Тел.: 8-383-3-269-750  
Эл. почта: mazov@catalysis.nsk.su

#### Мазов Илья Николаевич

Канд. хим. наук, научный сотрудник  
Института катализа СО РАН, г. Новосибирск  
Тел.: 8-383-3-269-750  
Эл. почта: mazov@catalysis.nsk.su

**Журавлев Виктор Алексеевич**

Канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры радиоэлектроники НИТГУ

Тел.: 8-913-885-27-23

Эл. почта: ptica@mail.tsu.ru

**Кулешов Григорий Евгеньевич**

Аспирант кафедры радиоэлектроники НИТГУ

Тел.: 8-913-864-94-57

Эл. почта: grigorij-kge@sibmail.com

Suslyayev V.I., Kuznetsov V.L., Mazov I.N., Zhuravlev V.A., Kuleshov G.E.

**The electromagnetic response of composite material made on the basis of multi-walled carbon nanotubes**

The investigation results of the passage and reflection factors of composite materials made on the basis of carbon nanotubes and their mixtures with hexaferrite nanopowders are presented.

**Keywords:** passage factor, coaxial line, composite, carbon nanotubes.

---