

СОЗДАНИЕ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО УГЛЕРОДА

В.А. Карпович¹, Н.В. Любецкий¹, Н.Р. Прокопчук², В.Н.
Родионова¹, П.Г. Становой³

¹НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ, г. Минск, Беларусь,
rodionova@inp.minsk.by

²Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Беларусь

³Иностранное частное предприятие «Перспективные
исследования и технологии», г. Минск, Беларусь

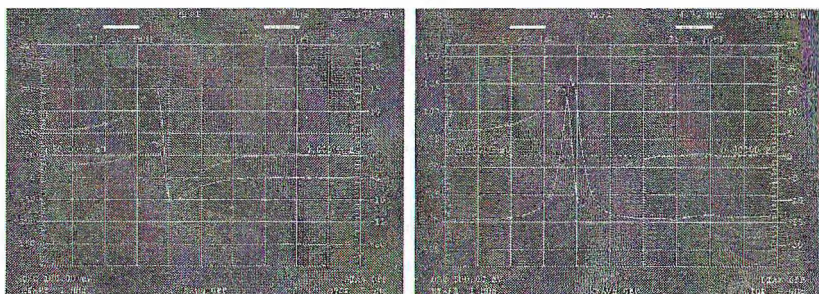
Измерены электрофизические свойства созданных радиопоглощающих материалов (РПМ) на основе наноструктурированного углерода. С учетом этих данных выполнен расчет коэффициентов отражения R и коэффициентов поглощения T в диапазоне частот 8–12 ГГц для заданных толщин РПМ, а также проведена их экспериментальная проверка. Созданные РПМ позволяют поглощать до 98% электромагнитной энергии.

Углеродные нанотрубки (УНТ) благодаря своим уникальным свойствам привлекают все большее внимание материаловедов, химиков, физиков и представителей ряда других отраслей науки и производства. Созданные различные марки наноструктурированного углерода в соответствии с СТБ 1873-2008 нашли широкое применение в качестве добавок в различного рода полимерных композитах для улучшения их физико-химических свойств. В данной работе приведены результаты исследований по созданию РПМ с использованием наноструктурированного углерода марок НСУ-5 и НСУ-4 [1].

В настоящее время бурно развивается и эксплуатируется большое количество радиотехнических средств и систем сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона волн передачи, приема и обработки информации и, при этом, существуют проблемы электромагнитной безопасности [2]. На практике для экранирования конструкций наиболее часто используются металлы и специальные магнитомягкие сплавы и ферриты. Однако указанные выше материалы имеют ряд недостатков. Металлы, например, не способны защитить радиоэлектронную аппаратуру от магнитных полей. В основе механизма экранирования металлами лежит явление отражения, а не поглощения электромагнитного излучения. Многократное отражение ведет к резонансу и усилению СВЧ излучения, появлению стоячих волн, что может быть причиной сбоя или выхода из строя РЭА. Радиопоглощающие материалы, которые применяются сегодня, представляют собой композиты на основе ферритовых материалов, имеют значительную массу, низкие механическую прочность и термостойкость, их нельзя использовать в малогабаритных радиоэлектронных системах, для защиты биологических объектов, радиомаскировки военной техники, летательных аппаратов и кораблей легких классов.

Наноструктурированный углерод марок НСУ-5 и НСУ-4 перед введением в связующее первоначально проверялся по значению коэффициента поглощения. Коэффициент поглощения наноструктурированного углерода в диапазоне 8–12 ГГц превышал значение 40 дБ. В качестве подложек использовалась льняная ткань, толщиной 0,6 мм, размерами 100x100 мм. Одновременно с созданием РПМ создавались и специальные образцы в виде плоских шайб для определения электрофизических свойств радиопоглощающих композиций. На боковые поверхности шайб наносились металлизированные слои и с помощью измерителя (анализатора) диэлектрических свойств материалов Agilent E4991A определялись значения действительной, мнимой и полной (по модулю) составляющих

относительной диэлектрической проницаемости, созданных РПМ в полосе частот от 1 МГц до 3 ГГц. Измеренные значения действительной и мнимой составляющих относительной диэлектрической проницаемости РПМ приведены на рис. 1.



аб

Рис.1. Действительная ϵ' (а) и мнимая ϵ'' (б) составляющие относительной диэлектрической проницаемости РПМ

По измеренным значениям электрофизических свойств ($\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$) созданных радиопоглощающих композиций были рассчитаны коэффициенты отражения R и коэффициенты поглощения T образцов РПМ с заданной толщиной d [3]

$$R = R_{12} + R_{23}e^{-j2b} / 1 + R_{12} R_{23}e^{-j2b}, \quad (1)$$

$$T = (1 - R_{12}^2) e^{-jb} / (1 - R_{12}^2 e^{-j2b}), \quad (2)$$

где R_{12} – коэффициент отражения от первой границы воздух-образец; R_{23} – коэффициент отражения от второй границы образец-воздух; $b = (2\pi d/\lambda)\epsilon^2$, λ – длина электромагнитной волны. Для образца, находящегося в воздухе, $R_{23} = -R_{12}$.

Экспериментальным путем были измерены коэффициенты отражения R и коэффициенты поглощения T образцов, созданных РПМ в частотном диапазоне электромагнитного излучения 8–12 ГГц. Для проведения исследований использовался векторный анализатор цепей Agilent 8722 ET, который работает в режиме свипирования частоты от 50 МГц до 40 ГГц. Для определения коэффициента отражения

использовался режим измерения S_{11} параметра, а для коэффициента поглощения – S_{21} параметра (коэффициента передачи). Блок-схема измерения коэффициента отражения и коэффициента поглощения РПМ при использовании векторного анализатора (ВА) Agilent 8722 ET показана на рис. 2.

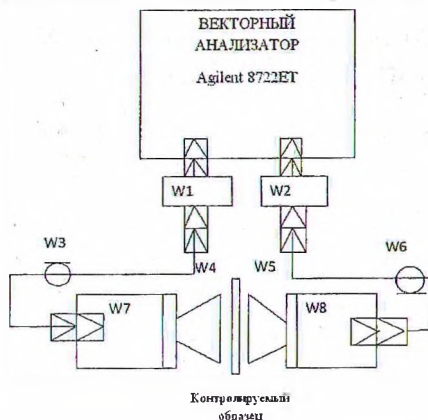


Рис. 2. Блок-схема измерения коэффициента отражения и коэффициента поглощения

К выходному разъему ВА подключен коаксиальный переход W1 с сечения 2,4/1,2 на 3,5/1,5. Коаксиальный переход W1 через СВЧ кабель W3 соединен с коаксиально-волноводным переходом W7, который имеет коаксиальный вход сечением 7/3 и волноводный выход с сечением волновода 23x10. К коаксиально-волноводному переходу W7 подключается рупорная передающая антенна W4. К входному разъему ВА подключен коаксиальный переход W2 с сечения 2,4/1,2 на 3,5/1,5. К коаксиально-волноводному переходу W8 подключается рупорная приемная антенна W5. Между рупорной передающей W4 и приемной W5 антеннами устанавливается контролируемый образец. Перед проведением измерений в ВА устанавливается требуемый диапазон частот свипирования (в данном случае от 8 до 12 ГГц) и осуществляется калибровка прибора. При измерении коэффициента отражения калибровка прибора осуществляется путем установки к раскрыву рупорной

передающей антенны W4 металлической пластины и используется только передающий тракт. При измерении коэффициента поглощения в ВА устанавливается режим измерения S_{21} параметра. Между рупорными антеннами W4 и W5 помещается контролируемый образец. На рис. 3 приведены измеренные значения коэффициента поглощения РПМ в диапазоне электромагнитного излучения 8–12 ГГц.

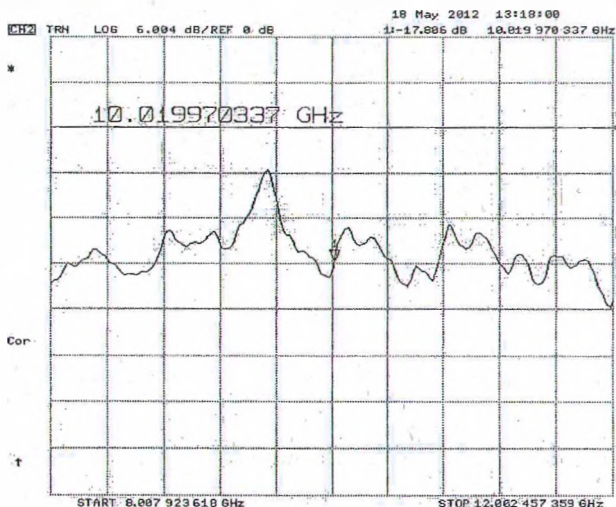


Рис. 3. Коэффициент поглощения РПМ

При создании РПМ было установлено, что в СВЧ диапазоне величина коэффициента поглощения РПМ растет с увеличением процентного содержания УНТ в связующем. Увеличиваются также и значения комплексной диэлектрической проницаемости. В значительной степени на эти величины оказывает влияние тип растворителя, который используется для активации поверхности частиц УНТ и для создания в полимерной композиционной матрице развитой электропроводящей наносети; получен наибольший коэффициент поглощения в пределах от минус 25 до минус 27 дБ в диапазоне электромагнитного излучения 8–12 ГГц, что соответствует поглощению электромагнитной энергии 98%;

расчетные зависимости коэффициента отражения R и коэффициента поглощения T , полученные с помощью уравнений (1) и (2), с погрешностью не более чем 5% совпали с экспериментально полученными результатами.

Литература

1. СТБ 1873-2008. Углерод наноструктурированный. Технические условия.
2. Кондратьев Д., Журавский В. Использование наноструктурных материалов для повышения надежности РЭА // Наноиндустрия. 2008. № 4. С. 14–18.
3. Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет / Пер. с англ. М., 1981. – 583 с.

RADAR ABSORBING MATERIAL BASED ON A CARBON NANOSTRUCTURE

¹V.A. Karpovich, ¹N.V. Liubetski, ²N.P. Prokopchuk,
¹V.N. Rodionova, ³P.G. Stanovoy

¹Belarus state University Research Institute of Nuclear Problem
Minsk, Belarus

²Belarus State Technological University, Minsk, Belarus

³FPE «Prospective Research&Technology», Minsk, Belarus

The article is concerned with the study of electromagnetic characteristics of a radar absorbing material (RAM) based on a carbon nanostructure. The value of permittivity the material, and also the coefficients of reflection of electromagnetic wave, R from the material and their absorption in the material, T in the range 8–12 GHz are presented. These R and T were calculated on the base of the measured permittivity and then were measured directly. It was found that the synthesized RAM absorbs up to 98% of the electromagnetic energy within the range.