

05.2;06

Радиоэкранирующие свойства никельсодержащего активированного угля

© О.В. Бойправ, Х.А.Э. Айад, Л.М. Лыньков

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь
E-mail: boiprav@tut.by

Поступило в Редакцию 26 января 2018 г.

В окончательной редакции 3 апреля 2019 г.

Принято к публикации 3 апреля 2019 г.

Показана возможность синтеза металл-углеродных нанокompозитов путем химического осаждения частиц никеля на порошкообразный активированный уголь. Исследованы закономерности взаимодействия электромагнитного излучения в диапазоне частот 8–12 GHz с этими нанокompозитами в зависимости от состава водных растворов, использованных в процессе их синтеза. На основе результатов такого исследования доказана перспективность использования металл-углеродных нанокompозитов для изготовления эффективных экранов электромагнитного излучения и радиопоглощающих материалов.

Ключевые слова: активированный уголь, никель, химическое осаждение, электромагнитное излучение.

DOI: 10.21883/PJTF.2019.12.47921.17225

В настоящее время для получения высокоэффективных экранов электромагнитного излучения (ЭМИ) и радиопоглощающих материалов широко используются металл-углеродные нанокompозиты, распределенные в полимерных связующих веществах. Как правило, такие нанокompозиты синтезируются путем включения металлических частиц (наполнителей) в углеродсодержащие волокнистые материалы (матрицы) [1–3]. Также известен случай применения порошкообразного шунгита в качестве матрицы металл-углеродных нанокompозитов [4].

Преимущества использования металл-углеродных нанокompозитов для изготовления экранов ЭМИ заключаются в том, что по сравнению с металлическими волокнами и порошками они не седиментируют в связующем веществе, в котором распределены, а по сравнению с углеродсодержащими волокнами и порошками характеризуются более высокими значениями электропроводности. Указанные преимущества являются главными аспектами получения удобных в эксплуатации и эффективных экранов ЭМИ [5]. Однако реализуемые в настоящее время процессы синтеза металл-углеродных нанокompозитов нельзя назвать высокотехнологичными ввиду того, что они являются многоэтапными. Наибольшей длительностью характеризуются начальные этапы этих процессов, в рамках которых выполняются процедуры очищения, сенсibilизирования и активирования поверхности матриц, что необходимо для увеличения пористости последних [6].

В целях оптимизации процесса синтеза металл-углеродных нанокompозитов авторами предложено в качестве матрицы для них использовать порошкообразный активированный уголь. Его пористость составляет ~ 90%, что обеспечивает условия для исключения необходимости реализации процедур сенсibilизирования и активирования в ходе названного процесса.

Для обоснования перспективности использования порошкообразного активированного угля в качестве матрицы металл-углеродных нанокompозитов в рамках настоящей работы выполнена модификация его состава с помощью водных растворов, применяемых сегодня для никелирования металлических и пластмассовых изделий [7,8]. Использование никеля в качестве наполнителя металл-углеродных нанокompозитов для экранов ЭМИ представляется целесообразным ввиду его ферромагнитных свойств. В связи с этим путем включения частиц никеля в углеродсодержащие матрицы можно изменять волновое сопротивление последних, а значит, и радиоэкранирующие свойства материалов на их основе. Выбор указанного метода осаждения обусловлен тем, что он является наименее ресурсозатратным по сравнению с другими известными в настоящее время методами металлизации [7].

Для модификации состава порошкообразного активированного угля использованы растворы двух типов. Раствор первого типа представлял собой кислотную среду на основе сульфата никеля и хлористого аммония, раствор второго типа — щелочную среду на основе хлорида никеля и лимоннокислого натрия. В качестве агента для восстановления частиц никеля в указанных растворах был выбран гипофосфит натрия. Выбор указанного агента обусловлен тем, что осаждаемые с его использованием частицы никеля характеризуются устойчивостью к воздействию агрессивных сред [8].

Процесс модификации состава порошкообразного активированного угля включал в себя следующие процедуры:

- 1) нагревание растворов до температуры, необходимой для протекания в них реакции восстановления никеля (85°) [8];

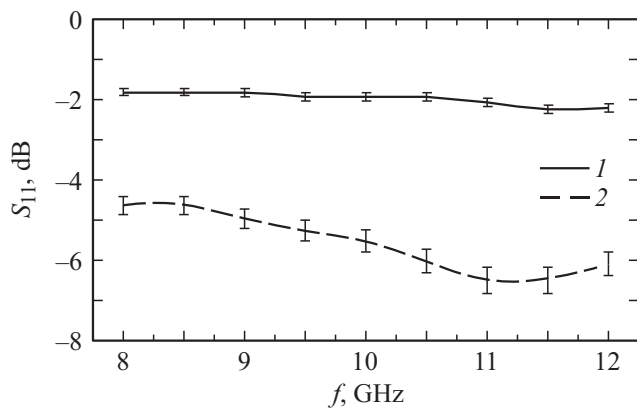


Рис. 1. Частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне 8–12 GHz: 1 — образец № 1; 2 — образцы № 2 и 3.

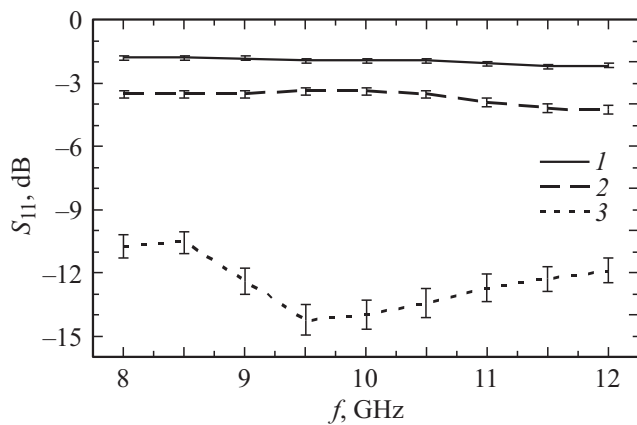


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне 8–12 GHz для образцов, закрепленных на металлических пластинах: 1 — образец № 1, 2 — образец № 2, 3 — образец № 3.

2) помещение в растворы порошкообразного активированного угля;

3) добавление в растворы восстанавливающего агента;

4) извлечение из растворов порошкообразного активированного угля;

5) промывка порошкообразного активированного угля с применением поверхностно-активного вещества;

6) высушивание порошкообразного активированного угля при стандартных условиях.

Анализ модифицированного состава порошкообразного активированного угля выполнен на основе дифрактограмм этого материала, полученных методом рентгеновской дифракции с использованием CuK_α -излучения (длина волны 1.5417737 \AA). Для определения и идентификации рентгеновских максимумов дифрактограмм, а также полуколичественной оценки состава синтезированных материалов использовано специальное программное обеспечение МАТСН!. На дифрактограммах порошкообразного активированного угля, состав кото-

рого модифицирован с применением описанных растворов, были зарегистрированы рефлексы диффузного характера, соответствующие металлическому никелю (значения углов рассеяния (2θ) равны 45, 52, 57 и 77°). Диффузный характер зарегистрированных рефлексов свидетельствует о том, что никель, осажденный на порошкообразный активированный уголь, является высокодисперсным.

На основе полученных экспериментальных результатов был сделан вывод, что с использованием предложенных подходов синтез никель-углеродных нанокмозитов представляется возможным. В целях обоснования перспективности применения таких нанокмозитов для изготовления экранов ЭМИ исследованы их радиоэкранирующие свойства (характеристики отражения и передачи ЭМИ) в диапазоне частот 8–12 GHz. Для проведения такого исследования были изготовлены образцы, которые представляли собой кюветы, заполненные порошкообразным активированным углем. Эти кюветы были выполнены из твердого полимера. Толщина стенок кювет составляла $0.20 \pm 0.05 \text{ mm}$, толщина образцов — $3.0 \pm 0.2 \text{ mm}$. Были исследованы образцы трех типов. Образец № 1 был изготовлен из порошкообразного активированного угля, состав которого не модифицирован, образцы № 2 и 3 — из нанокмозитов, синтезированных с использованием растворов первого и второго типов соответственно. Параметры характеристик ослабления и отражения ЭМИ образцов получены с использованием индикатора коэффициента стоячей волны и ослабления Я2Р-67.

Установлено, что модификация состава порошкообразного активированного угля путем химического осаждения частиц никеля не влияет на величину его ослабления ЭМИ, а приводит к изменению величины его коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 8–12 GHz. Установлено, что ослабление ЭМИ порошкообразного активированного угля составляет более 40 dB в исследованном диапазоне частот. Характеристики отражения ЭМИ в диапазоне частот 8–12 GHz для образцов представлены на рис. 1.

Согласно данным рис. 1, порошкообразный активированный уголь характеризуется коэффициентом отражения ЭМИ, равным $-2.0 \pm 0.2 \text{ dB}$. Химическое осаждение частиц никеля на порошкообразный активированный уголь привело к уменьшению на $3.0 \pm 0.2 - 4.0 \pm 0.2 \text{ dB}$ его коэффициента отражения ЭМИ. Это может быть связано с тем, что синтезированные в результате этого нанокмозиты, как было установлено на основе результатов дифракционного анализа, выполненного с помощью программного обеспечения МАТСН!, содержат меньше соединений на основе углерода по сравнению с порошкообразным активированным углем.

Проведены измерения коэффициента отражения ЭМИ образцов, закрепленных на металлических пластинах. Проведение таких экспериментов необходимо для того, чтобы оценить перспективность использования синтезированных нанокмозитов в целях изготовления ра-

диопоглощающих материалов. Фиксация образцов на металлических пластинах осуществлялась с использованием распыляемого клея. Характеристики отражения ЭМИ в диапазоне частот 8–12 GHz для таких образцов приведены на рис. 2.

Согласно результатам анализа характеристик, представленных на рис. 2, было установлено, что после фиксации образца № 1 на металлической пластине значение его коэффициента отражения ЭМИ не изменилось. Это связано с тем, что большая часть электромагнитных волн, взаимодействовавших с данным образцом, отразилась его поверхностью. Такая особенность обусловлена большой разностью между волновым сопротивлением воздуха и волновым сопротивлением среды на основе порошкообразного активированного угля, состав которого не модифицирован [9].

Включение металлических пластин в образцы на основе синтезированных нанокompозитов привело к изменению их коэффициента отражения ЭМИ в исследованном диапазоне частот. Указанный параметр увеличился на 1.0 ± 0.1 – 1.5 ± 0.1 dB у образца № 2 и уменьшился на 6.0 ± 0.3 – 9.0 ± 0.3 dB у образца № 3. Это связано с процентным содержанием электропроводящих компонентов в нанокompозите, синтезированном с использованием раствора первого типа, которое, как было установлено на основе результатов дифракционного анализа, превышает содержание электропроводящих компонентов в нанокompозите, синтезированном с использованием раствора второго типа.

Уменьшение значения коэффициента отражения ЭМИ образца № 3 после включения в него металлической пластины обусловлено тем, что электромагнитные волны, отражаемые от поверхности образца и этой пластины, характеризуются большой разностью фаз.

Резонансная частота образца № 3, закрепленного на металлической пластине, равна 9.5 ± 0.2 GHz. Соответствующее ей значение коэффициента отражения ЭМИ составляет -14.0 ± 0.5 dB. Возникновение резонанса обусловлено тем, что на указанной частоте разность фаз электромагнитных волн, отражаемых от поверхностей образца и металлической пластины, является максимальной [6].

На основе результатов исследования установлено, что синтезированные нанокompозиты по сравнению с нанокompозитами на основе порошкообразного шунгита и углеродсодержащих волокон характеризуются более высокими значениями ослабления ЭМИ и более низкими значениями коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 8–12 GHz. Это позволяет сделать вывод, что использование синтезированных нанокompозитов представляется перспективным для получения экранов ЭМИ и радиопоглощающих материалов, характеризующихся по сравнению с аналогами повышенными эффективностью и технологичностью [3,4,10].

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] Сафонова А.М., Бежко О.В., Шилевская Л.Е. Получение никель-углеродных волокон с повышенным содержанием высокодисперсного металла и наноразмерного структурно-упорядоченного углерода // *Hydrogen materials science and chemistry of carbon nanomaterials (ICHMS'2007)*. Киев, 2007. С. 812–815.
- [2] Fan Y., Yang H., Liu X., Zhu H., Zou G. // *J. Alloys Compd.* 2008. V. 461. N 2. P. 490–494. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2007.07.034>
- [3] Huang X., Dai B., Ren Y., Xu J., Zhu P. // *J. Nanomater.* 2015. V. 2015. P. 320306 (1–7). <http://dx.doi.org/10.1155/2015/320306>
- [4] Криштопова Е.А. Углеродсодержащие порошкообразные материалы на основе шунгита и таурита для экранов электромагнитного излучения. Автореф. канд. дис. Минск: БГУИР, 2008. 23 с.
- [5] Deborah D.L.C. Carbon composites: composites with carbon fibers, nanofibers, and nanotubes. N.Y.: Elsevier, 2017. 683 p.
- [6] Рахметулина Л.А., Гоц И.Ю., Закирова С.М. // *Вестн. Казан. технол. ун-та*. 2012. № 15. С. 145–148.
- [7] Вансовская К.М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом. Л.: Машиностроение, 1985. 103 с.
- [8] Химическое осаждение металлов из водных растворов / Под ред. В.В. Свиридова. Минск: Изд-во „Университетское“, 1987. 270 с.
- [9] Moliton A. Basic electromagnetism and materials. N.Y.: Springer, 2007. 396 p.
- [10] Im H.J., Jun G.H., Lee D.J., Ryu H.J., Hong S.H. // *J. Mater. Chem.* C. 2017. V. 5. N 26. P. 6471–6479.