

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 537.6/8

DOI: 10.17223/00213411/68/10/4

Электромагнитные свойства композиционного материала на основе полиэтилена и МУНТ, инкапсулированных частицами кобальта*

Е.Ю. Коровин¹, А.С. Качалов¹, В.В. Атамасов¹, А.А. Павлова¹, В.И. Суслев¹

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Проведено исследование электромагнитных параметров композиционных материалов на основе многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ), инкапсулированных частицами кобальта. Предложен метод расчета эффективной магнитной проницаемости частиц, расположенных в полости МУНТ. В основе метода лежит задача о нахождении потенциалов и результирующих магнитных полей для двухслойного цилиндра, находящегося в бесконечной среде. Проведен расчет эффективной магнитной проницаемости композиционного материала. Приведены результаты моделирования, показавшие эффект согласования волновых сопротивлений композита со свободным пространством и рост экранирующего эффекта при расположении на проводящей поверхности за счет наличия магнитных частиц.

Ключевые слова: магнитная проницаемость, диэлектрическая проницаемость, МУНТ, двухслойный цилиндр, математическое моделирование, композиционные материалы.

Введение

Гибридные материалы на основе углеродных нанотрубок (УНТ) продолжают вызывать значительный интерес благодаря широкому разнообразию специфических свойств, не присущих другим материалам: высокая прочность на разрыв [1], высокая гибкость [2], высокая тепло- и электропроводность, близкая к металлической [3, 4]. Активное изучение электромагнитных характеристик композитов на основе углеродных нанотрубок в различных диапазонах частот, проводимое в последнее время, показало эффективность взаимодействия с электромагнитным излучением, которое проявляется в виде отражения сигнала или поглощения электромагнитной энергии в объеме образца. Этот эффект широко используется для экранирования объектов различной природы с целью снижения последствий электромагнитного загрязнения [5], интенсивность которого быстро возрастает в связи с широким использованием высокочастотных устройств: мобильная связь, беспроводные компьютеры, системы слежения и др. При этом возникают проблемы, связанные с нарушением условий безопасности жизнедеятельности [6], электромагнитной совместимости в высокочастотной радиоэлектронной аппаратуре [7], качественной и надежной связи [8]. Спектральные характеристики коэффициентов отражения R , поглощения T , эффективности экранирования SE для целого ряда композиционных материалов подробно представлены в обзорах, например в [9–11], и в большом количестве оригинальных статей.

Использование чистых диэлектриков в качестве поглотителя на металле неэффективно, так как на проводящей поверхности при падении на нее электромагнитной волны формируются максимум переменного магнитного поля и минимум электрического. Металлические магнитные материалы имеют высокую проводимость и на высоких частотах применяются только для отражающих экранов. Поэтому для экранирования такой поверхности применяются магнитодиэлектрические композиты [12, 13]. Добавление в активную фазу магнитодиэлектрика проводящих материалов, в том числе УНТ, повышает эффективность экранирования.

Есть еще одна проблема, связанная с согласованием электромагнитных характеристик образца композита со свободным пространством, поскольку неизбежно возникает скачок волнового сопротивления $Z = [|\mu^*(\omega)|/|\epsilon^*(\omega)|]^{0.5}$, $\mu^*(\omega) = \mu(\omega) - i\mu(\omega)$, $\epsilon^*(\omega) = \epsilon(\omega) - i\epsilon(\omega)$, который определяет величину коэффициента отражения, из-за различий электромагнитных характеристик разных сред. Для согласования со свободным пространством используют многослойные покрытия с постепен-

* Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 23-29-00686.