

Краткие сообщения

УДК 621.372.41

Ю.В. Диденко, И.В. Пацёра, Д.Д. Татарчук, канд.техн.наук, Е.И. Харабет

Температурная зависимость диэлектрических параметров композитных материалов металл-полимер в СВЧ-диапазоне

Проведены теоретические и экспериментальные исследования температурных зависимостей диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь композитных материалов металл-полимер в диапазоне частот 8...12 ГГц.

Theoretical and experimental temperature dependences of the dielectric permittivity and the dielectric loss tangent of composites metal-polymer in the frequency range 8...12 GHz are investigated.

Ключевые слова: композитный материал, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь.

Введение

В настоящее время электронные системы все шире используются в различных сферах жизнедеятельности человека. Это приводит к повышению требований к качеству электронных устройств. Особое внимание уделяется вопросам надежности, помехоустойчивости, уменьшению взаимного влияния электронных устройств и блоков. Кроме того все большее значение приобретают вопросы защиты окружающей среды от электромагнитного излучения.

Одним из наиболее эффективных способов защиты от электромагнитного излучения на сегодняшний день все еще остается экранирование [1]. В связи с этим перспективным направлением представляется разработка экранирующих покрытий на основе композитных систем металл-полимер.

Композитные материалы на основе дисперсных сред, содержащих частицы металла, представляют огромный интерес для экспериментальных и теоретических исследований. Физические свойства таких сред кардинальным образом отличаются от свойств сплошных сред, изготовленных из тех же материалов. Подбор оптимального соотношения между компонентами обеспечивает получение композитных материалов с требуемыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами [2]. Однако использова-

ние таких материалов наталкивается на ряд трудностей, связанных с недостаточно полной изученностью их свойств. В частности это касается зависимости свойств таких материалов от температуры. Поэтому целью данной работы является исследование температурных зависимостей диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь композитных материалов металл-полимер в СВЧ-диапазоне.

Влияние температуры на диэлектрические свойства композитных материалов металл-полимер в СВЧ-диапазоне

Известно, что диэлектрическая проницаемость композитных материалов определяется их составом и может быть приближенно рассчитана на основании теории эффективной среды Максвелла-Гарнетта [3]. В предположении, что частицы металла имеют сферическую форму, формула для определения диэлектрической проницаемости такого материала имеет вид:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_m + \frac{3q\varepsilon_m(\varepsilon_d - \varepsilon_m)}{(\varepsilon_d + 2\varepsilon_m) - q(\varepsilon_d - \varepsilon_m)}, \quad (1)$$

где ε_c – комплексная диэлектрическая проницаемость композитного материала, ε_m – комплексная диэлектрическая проницаемость материала матрицы (в данном случае полимера), ε_d – комплексная диэлектрическая проницаемость материала дисперсной (в данном случае металла) фазы, q – объемная доля металла в композитном материале.

С другой стороны температурная зависимость диэлектрической проницаемости материала определяется температурным коэффициентом диэлектрической проницаемости, который определяется выражением:

$$TK_{\varepsilon_c} = \frac{1}{\varepsilon_c} \frac{d(\varepsilon_c)}{d(T)}, \quad (2)$$

где TK_{ε_c} – температурный коэффициент диэлектрической проницаемости композита, T – температура.

Подставим (1) в (2) и продифференцируем. Учтем, что $|\varepsilon_d| \gg |\varepsilon_m|$, $q < 1$ и, после сокращения подобных, получим:

$$TK\varepsilon_c \approx \left(\frac{1-2q}{1+2q} \right) TK\varepsilon_m. \quad (3)$$

Аналогично, температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь материала определяется температурным коэффициентом тангенса угла диэлектрических потерь:

$$TKtg(\delta_c) = \frac{1}{tg(\delta_c)} \frac{d(tg(\delta_c))}{d(T)}, \quad (4)$$

где $tg(\delta_c)$ – тангенс угла диэлектрических потерь композита, а $TKtg(\delta_c)$ – его температурный коэффициент.

Известно, что тангенс угла диэлектрических потерь можно записать как:

$$TKtg(\delta_c) = \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{c1}}, \quad (5)$$

где ε_{c1} и ε_{c2} – соответственно, действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости материала (в данном случае композита):

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{c1} - j\varepsilon_{c2}. \quad (6)$$

Подставив (5) в (4), после несложных преобразований получаем:

$$TKtg(\delta_c) = TK\varepsilon_{c2} - TK\varepsilon_{c1}, \quad (7)$$

где значения $TK\varepsilon_{c2}$ и $TK\varepsilon_{c1}$ можно получить на основании (3).

Результаты экспериментальных исследований

Для проверки полученных теоретических результатов было проведено экспериментальное исследование температурных зависимостей диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь композитных материалов в диапазоне частот 8...12 ГГц.

Композитные материалы были получены методом электромеханического перемешивания дисперсной фазы с материалом матрицы при комнатной температуре. Из полученного материала изготавливались образцы прямоугольной формы, размеры которых подбирались таким образом, чтобы исследуемый материал полностью заполнял сечение волновода. Толщина образцов составляла 2 мм. В качестве материала матрицы использовался полимер с комплексной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2,73 - j0,2$. В качестве дисперсной фазы использовался порошок алюминия с размером

частиц 0,06...0,2 мкм. Для измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь образцов был использован метод передачи-отражения [4]. Измерение коэффициентов отражения S11 и прохождения S21 электромагнитной энергии СВЧ излучения было выполнено при помощи панорамного измерителя P2-61.

Полученные теоретические и экспериментальные результаты представлены на рис.1, 2.

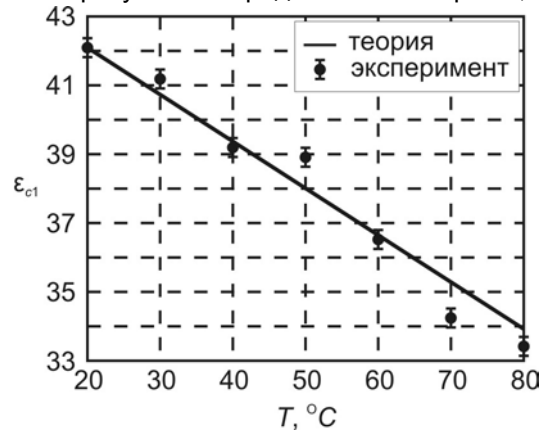


Рис. 1. Температурная зависимость действительной части диэлектрической проницаемости композита

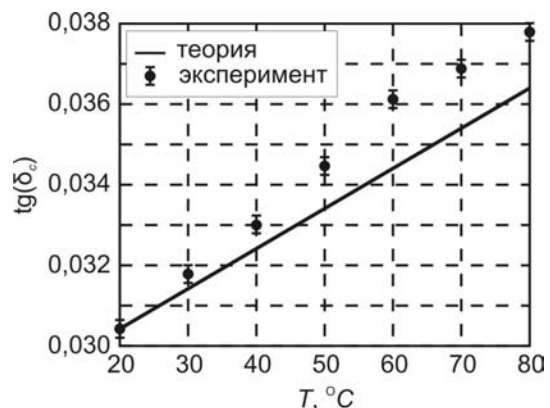


Рис. 2. Температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь композита

Как видно из рис. 1 и 2, разница между теоретическим и экспериментальным значением диэлектрической проницаемости во всем диапазоне изменения температуры не превышает 3%, а для тангенса угла диэлектрических потерь – 7%.

Выводы

Получены теоретические выражения для определения температурных коэффициентов диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь композитного материала.

Проведено экспериментальное исследование температурных зависимостей диэлектриче-

ской проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь композитных материалов.

Разница между теоретическим и экспериментальным значением диэлектрической проницаемости во всем диапазоне изменения температуры не превышает 3 %, а для тангенса угла диэлектрических потерь – 7 %.

В СВЧ диапазоне температурные зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь композитных материалов металл-полимер, содержащих в качестве дисперсной фазы металлы с высокой проводимостью, определяются в основном свойствами матрицы.

Литература

1. *Мачулянский А.В.* Экранирование электромагнитного поля покрытиями на основе ультрадисперсных структур / А.В. Мачулянский, В.А. Попов, В.В. Пилинский, Д.Д. Татарчук, В.Б. Швайченко // Технічна електродинаміка, тематичний випуск “Силова електроніка та енергоефективність”. – Вересень 2009 р. – Ч. 5. – С. 23–25.
2. *Мачулянский А.В.* Анализ СВЧ-свойств нанодисперсных композитных систем / А.В. Мачулянский, Д.Д. Татарчук, В.А. Мачулянский // Технічна електродинаміка, тематичний випуск “Силова електроніка та енергоефективність”. – Вересень 2010 р. – Ч. 1. – С. 303–304.
3. *Виноградов А.П.* Электродинамика композитных материалов / А.П. Виноградов; под ред. Б.З. Каценеленбаума. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 208 с.
4. *Поплавко Ю.М.* Мікрохвильова діелектрична спектроскопія: навч. посіб. / Ю.М. Поплавко, В.І. Молчанов, В.А. Казміренко. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 304 с.

Авторы выражают благодарность профессору Ю.М. Поплавко за помощь при анализе результатов.