

УДК 533.9.01:539.216.2

В.И. Сусляев, О.А. Доценко, А.Н. Бабинович, С.И. Кротов, А.Е. Леухина

Микроволновые характеристики композиционных материалов на основе нанопорошков гексаферритов

Рассмотрены электромагнитные характеристики композиционных радиоматериалов на основе наноразмерных порошков гексаферритов Z-типа для изготовления конструкций, которые можно использовать для защиты биологических объектов от вредного воздействия микроволнового излучения.

Ключевые слова: магнитная проницаемость, диэлектрическая проницаемость, коэффициент отражения, композиционные радиоматериалы, гексаферриты.

Радиопоглощающие материалы (РПМ) находят широкое применение при решении задач обеспечения жизнедеятельности, защищая биологические объекты от вредного воздействия микроволнового излучения, суммарное воздействие которого неуклонно растет в связи с возрастающим применением мобильных телефонов, микроволновых печей, высокоскоростных компьютеров. Наряду с диэлектрическими применяются магнитные материалы, которые наиболее эффективно работают в качестве покрытий металлических поверхностей. РПМ на основе магнитных материалов имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами РПМ и позволяют, как правило, достичь большей широкополосности при меньшей толщине покрытия, а также уменьшить вклад в обратное рассеяние, связанное с краевыми эффектами и поверхностными волнами.

Эффективное применение конструкций на основе магнитных материалов в микроволновом диапазоне основано на информации об электромагнитных характеристиках данного объекта. Эти сведения необходимы для выбора рабочих частот, геометрических размеров, массы и других физических характеристик на последнем этапе разработки изделия. На более ранних стадиях проектирования необходимо знать электромагнитные параметры исходных материалов. К таким параметрам относятся динамические электромагнитные характеристики – спектры магнитной $\mu^*(\omega) = \mu'(\omega) - i\mu''(\omega)$ и диэлектрической проницаемостей $\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon'(\omega) - i\varepsilon''(\omega)$.

При изготовлении композиционного материала необходимо учитывать электрофизические свойства как наполнителя, так и связующего. Используя теорию композиционных смесей, можно по известным величинам магнитной проницаемости и объемного содержания наполнителя (в нашем случае – порошка гексаферрита) рассчитать электромагнитные характеристики исходных компонент. По известной концентрационной зависимости рассчитывается требуемая доля магнитного вещества в композите или определяются электромагнитные характеристики композита при заданной объемной концентрации.

Нами отработывалась методика изготовления образцов поглощающих покрытий с разными связующими, в качестве которых использовались: эпоксидная смола, порошковая краска, вододисперсионная краска. Каждый из перечисленных материалов отличается областью применения и технологией нанесения на поверхность. В качестве наполнителей выступали порошки гексаферритов Z-типа разной степени дисперсности.

Исходный материал Co_2Z , используемый для изготовления экспериментальных образцов, синтезировался по стандартной керамической технологии. Порошок гексаферрита получался следующим образом: куски керамики измельчались в ступке (исходный порошок с линейными размерами частиц не более 100 мкм), а затем в планетарной мельнице с соотношением по массе мелющих шаров и образца 5:1 (энергонапряженность 15g – мягкий режим обработки) для получения активированных порошков.

Перед изготовлением экспериментальных образцов полученный порошок предварительно высушивался. После этого он и связующее взвешивались в требуемых массовых пропорциях на весах Shimadzu AUX-320 (погрешность $\pm 0,5$ мг).

В качестве полимера № 1 мы использовали эпоксидную смолу. Данный полимер чаще используется в качестве клея и достаточно быстро полимеризуется. При изготовлении образцов смешивались эпоксидная смола и порошок с различными концентрациями феррита по массе (30, 40, 50, 60, 70%). Из полученных смесей изготавливались образцы в форме длинных тонких цилиндров. Для получения заданной формы смесь помещалась в форму соответствующей геометрии.

Полимер № 2 – эпоксидная порошковая краска. Этот материал используется в целях противокоррозионной защиты, покрытия отличаются низкой стоимостью, простотой обслуживания и долговременной защитой в агрессивных средах. Для них характерны: гибкость, ударопрочность, хорошие термостойкость и адгезия. Для изготовления образцов РПМ использовалась эпоксидная порошковая краска Neotec (код: pp101/3005). Полимеризация и адгезия краски с поверхностью происходит при температуре 150–220 °С в течение 10–17 мин, поэтому подбирались оптимальная температура и время спекания.

Порошок феррита и краска брались в тех же соотношениях, как и для полимера №1. В результате обработки технологии изготовления оказалось, что при малых концентрациях ферритовой наполнитель оседал, а при больших концентрациях полученный образец не имел желаемой формы и не отвечал заявленным характеристикам порошкового покрытия: ударопрочности и гибкости. Экспериментальным путём были выбраны оптимальные концентрация композита и температура спекания. Порошковая краска при выбранной технологии может быть использована для изготовления композита при концентрациях, близких к 50%. Образцы изготавливались в форме шайбы с размерами, близкими к размерам коаксиальной ячейки.

Полимер № 3 – вододисперсионная краска фирмы Tikkurila, используемая для внутренних и наружных строительных работ. При работе с данным полимером отсутствуют вредные испарения.

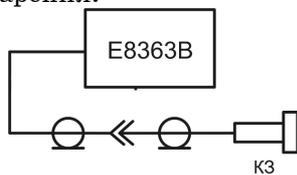


Рис. 1. Установка для измерений в коаксиальной ячейке

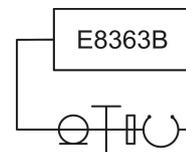


Рис. 2. Установка для измерений резонаторным методом

Для изготовления образцов составные части композита в тех же пропорциях тщательно перемешивались в течение 15 мин до однородного состояния. Полученная смесь наносилась на горизонтальную поверхность тонким слоем толщиной до 150 мкм. После высушивания слоя до состояния отлипания через 2 ч наносился следующий слой. Процесс повторялся до достижения толщины 300×450 мкм. Учитывалось уменьшение массы готового образца при высыхании краски. Из полученных пластин вырезались полоски шириной 2 мм и длиной 70 мм для дальнейших исследований.

Экспериментальная установка, блок-схема которой приведена на рис. 1, состоит из векторного анализатора цепей Agilent Technologies E8363B и коаксиальной измерительной ячейки. Данная установка используется для непосредственного измерения коэффициентов отражения и прохождения. На рис. 2 изображена блок-схема установки для измерений резонаторным методом. В этом случае измеряются спектры электромагнитных параметров, которые в дальнейшем пересчитываются в коэффициенты отражения и прохождения.

На рис. 3,4 приведены характеристики полученных РПМ.

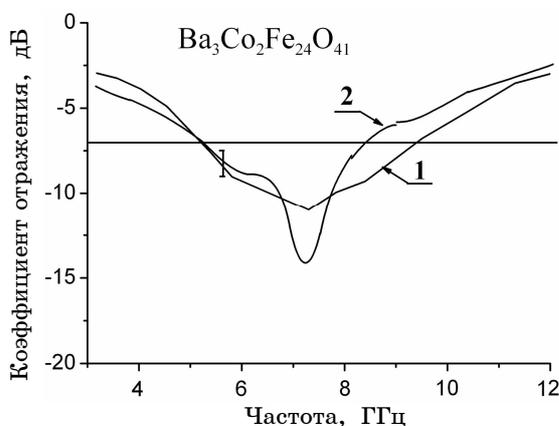


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения от частоты композита: 1 – эпоксидная смола + феррит Co_2Z ; 2 – порошковая краска + феррит Co_2Z

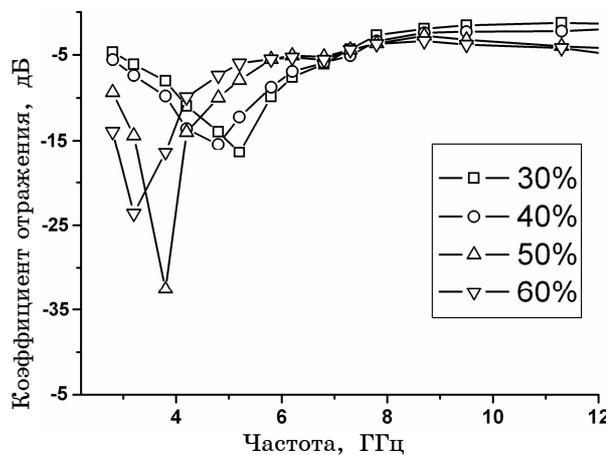


Рис. 4. Зависимость коэффициента отражения от частоты композита: вододисперсионная краска + активированный феррит Co_2Z (2 мин) + углеродные нанотрубки

Из рис. 3 видно, что на уровне 7 дБ полоса поглощения образцов с наполнителем – неактивированным порошком с весовым содержанием 50% составляет 3×5 ГГц. Причем для композита, где связующим является порошковая краска, полоса несколько уже при значительном росте величины коэффициента поглощения. На рис. 4 приведены спектры коэффициента отражения композита на основе вододисперсионной краски с добавлением 2% углеродных нанотрубок с разным весовым содержанием феррита, активированного в течение 2 мин. С увеличением содержания наблюдается тенденция падения коэффициента отражения со сдвигом спектра в область низких частот.

Работа выполнена при частичной поддержке проектами АВЦП: № 2.1.1/7142 «Процессы формирования магнитных характеристик наноразмерных порошков и наноструктурных поликристаллических оксидных ферритмагнетиков»; № 2.1.1/4513 «Разработка физических основ создания методов и средств терагерцовой диагностики фундаментальных характеристик материалов искусственного и природного происхождения».

Сусляев Валентин Иванович

Канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент каф. радиоэлектроники
Национального исследовательского Томского государственного университета (НИТГУ)
Тел.: (382-2) 41-39-89
Эл. почта: susl@mail.tsu.ru

Доценко Ольга Александровна

Канд. физ.-мат. наук, доцент каф. радиоэлектроники НИТГУ
Тел.: (382-2) 41-39-89
Эл. почта: apr@mail.tsu.ru

Бабинович Андрей Николаевич

Студент 5 курса НИТГУ
Тел.: (382-2) 41-39-89
Эл. почта: apr@mail.tsu.ru

Кротов Степан Игоревич

Студент 5 курса НИТГУ
Тел.: (382-2) 41-39-89
Эл. почта: apr@mail.tsu.ru

Леухина Анастасия Евгеньевна

Студентка 5 курса НИТГУ
Тел.: (382-2) 41-39-89
Эл. почта: apr@mail.tsu.ru

Suslyayev V.I., Dotsenko O.A., Babinovitch A.N., Krotov S.I., Leukhina A.E.

Microwaves characteristics of composite materials made on the basis of hexaferrite nanopowders

The electromagnetic characteristics of composite materials made on the basis of Z-type hexaferrite nanopowders are considered. The materials can be used for manufacturing constructions, which would be applied for protection of biological bodies against adverse effect of microwaves.

Keywords: permeability, permittivity, reflection coefficient, composite radio materials, hexaferrites, absorbers.