

Определение фактора размагничивания частиц ферромагнитного порошка Fe@SiO_2 , полученного из карбонильного железа при помощи золь-гель процесса

^{1,2}Сафина О.Р., ^{1,2}Адамович Ю.А., ¹Маклаков С.С., ¹Маклаков С.А., ¹Рыжиков И.А., ¹Петров Д.А., ¹Розанов К.Н.

¹Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

Магнито-диэлектрические композитные материалы на основе карбонильного железа служат поглотителями электромагнитного излучения. Из них изготавливают экраны электромагнитного излучения для обеспечения совместимости микросистемных компонент и высокочастотные индукторы. Состав и структура такого композитного материала определяет его полезные характеристики. Полезной характеристикой материала с магнитомягким наполнителем является частотная зависимость комплексных магнитной и диэлектрической проницаемостей в ГГц диапазоне. Электрические контакты между частицами наполнителя влияют на значение и частотную дисперсию диэлектрической проницаемости.

Для сравнительного эксперимента использовали два магнитомягких порошка. Радиотехническое карбонильное железо Р-20 ("Fe") и порошок " Fe@SiO_2 " в диэлектрической оболочке SiO_2 толщиной 100 нм. Оболочка SiO_2 была получена гидролизом тетраэтилового эфира ортокремниевой кислоты в водно-спиртовой среде с рН 9. В процессе нанесения железный порошок подвергается длительному воздействию ультразвука, находясь в иммерсионной среде, которая формирует слой SiO_2 .

Исследовали агрегацию частиц обоих порошков с формированием проводящих кластеров. Известно, что исходный железный порошок легко формирует электропроводящие цепочки. Для порошка в оболочке электронная микроскопия показывает слипание частиц в агрегаты со счётным количеством ферромагнитных "ядер". В таких агрегатах тонкий слой SiO_2 служит связующим. Для того, чтобы определить электромагнитное взаимодействие между агрегированными частицами измеряли эффективные электромагнитные характеристики модельных композитов с парафиновым связующим. Изготавливали ряд композитов по увеличению содержания ферромагнетика и строили концентрационные зависимости приведённых квазистатических значений $u'(\text{компози́та})/u'(\text{матри́цы})$ и $\epsilon'(\text{компози́та})/\epsilon'(\text{матри́цы})$. Полученные зависимости обрабатывали по формуле Оделевского для определения собственных значений магнитной проницаемости частиц порошка, порога перколяции и фактора размагничивания. Дополнительно те же параметры определяли аппроксимацией графической зависимости приведённых электродинамических характеристик от объёмного содержания порошка в композите.

Использованная методика нанесения SiO_2 даёт порошок, фактор размагничивания которого (0,18) ближе к значению для сферических частиц (1/3), чем для чистого железа. Это говорит о том, что ферромагнитные "ядра" в наблюдаемых агрегатах взаимодействуют, но не образуют проводящие цепочки, в отличие от железа без оболочки. Порог протекания композитов из этого порошка больше 1, что говорит об отсутствии перколяции в композите с парафином при высоком содержании порошка. Собственное статическое значение магнитной проницаемости для порошка $\text{Fe@SiO}_2 \sim 30$. Это подтверждает, что присутствие тонкой оболочки SiO_2 не влияет на магнитные свойства порошка.

Для более точного анализа данной системы необходимо экспериментальное уточнение объёмного содержания ферромагнетика в композитах с парафином с применением магнитометрии.