

УДК 539.23; 539.21:537.621

*Е.Ю. КОРОВИН, В.И. СУСЛЯЕВ, Е.Ю. ШМИДТ***РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОЙ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДВУХСЛОЙНОЙ НАНОРАЗМЕРНОЙ ЧАСТИЦЫ ГЕКСАФЕРРИТА W-ТИПА¹**

Проведен расчет эффективной магнитной проницаемости наноразмерной частицы гексаферрита W-типа при изменении введенных ионов Zn от 0,8 до 2. Показано, что увеличение величины магнитной проницаемости сплошного материала приводит к увеличению вклада поверхности в основной объем.

Ключевые слова: магнитная проницаемость, гексаферриты, композиционные материалы, наноразмер.

Теория композиционных смесей позволяет по формулам, описывающим обобщенную проводимость, рассчитать магнитную и диэлектрическую проницаемости композиционных радиоматериалов по заданным значениям ϵ^* , μ^* и объемному содержанию компонентов смеси. Для магнитных материалов широко применяется ряд соотношений для двухкомпонентных смесей: Бруггемана и Оделевского, но наиболее часто используется формула Максвелл – Гарнета, разработанная для матричных структур со сферическими включениями. Отметим, что в расчетах электромагнитных характеристик композитов, как правило, используются известные значения магнитной и диэлектрической проницаемостей для массивных образцов, в то время как при изготовлении композитов используются порошки, размер которых изменяется от сотен микрон до десятков нанометров.

При размельчении материала для составления смеси на поверхности частиц образуется структурно-дефектная область, свойства которой существенно отличаются от объемной части. Однако при обычных размерах частиц порошка (порядка сотен микрометров) влиянием поверхности можно пренебречь. Справедливость данного заключения неоднократно подтверждалось совпадением расчетов электромагнитных параметров композитов для крупных порошков с экспериментальными результатами [1, 2].

В наноразмерных порошках происходит заметное изменение электромагнитных характеристик из-за перераспределения вкладов поверхностной и объемной фракций порошка в общую величину того или иного свойства. В частности, такое явление отмечено для ферромагнитных порошков нанометрового размера, когда вклады «поверхностного» магнетизма становятся соизмеримыми с объемным.

Представляет интерес произвести оценку вклада поверхности в величину магнитной проницаемости композиционного материала в зависимости от размера частиц активной фазы. Учет вклада поверхности можно свести к определению некоторой эффективной проницаемости всей частицы. Для определения эффективной магнитной проницаемости воспользуемся моделью двухслойного шара, описанной в [3].

В качестве примера на рис. 1 приведены зависимости эффективной проницаемости частиц нанометрового размера с магнитными проницаемостями: $\mu_1 = 3,3$ и $10,3$.

Эти величины соответствуют значениям начальной проницаемости гексаферритов $\text{Co}_{1,2}\text{Zn}_{0,8}\text{W}$; $\text{Co}_{0,1}\text{Zn}_{1,9}\text{W}$ [4, 5] для разных толщин поверхностного слоя. Толщина поверхностного слоя выбиралась в размерах, кратных и дробных параметру c кристаллической структуры.

Для гексаферритов W-типа этот параметр равен 3,28 нм. Пределы изменения толщины поверхностного слоя выбраны по результатам работ [6], в которых методом селективной по глубине конверсионной мессбауэровской спектроскопии и рентгеноструктурным анализом показано, что для гексаферритов толщина магнитоупорядоченной структуры составляет 2–5 нм. В этих же работах отмечается значительное падение величины начальной магнитной проницаемости за счет разрушения магнитоупорядоченной структуры. Именно этим объясняется выбор пределов изменения магнитной проницаемости внешнего слоя – от 1,1 до 2.

¹ Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 12-02-31668 мол_а.

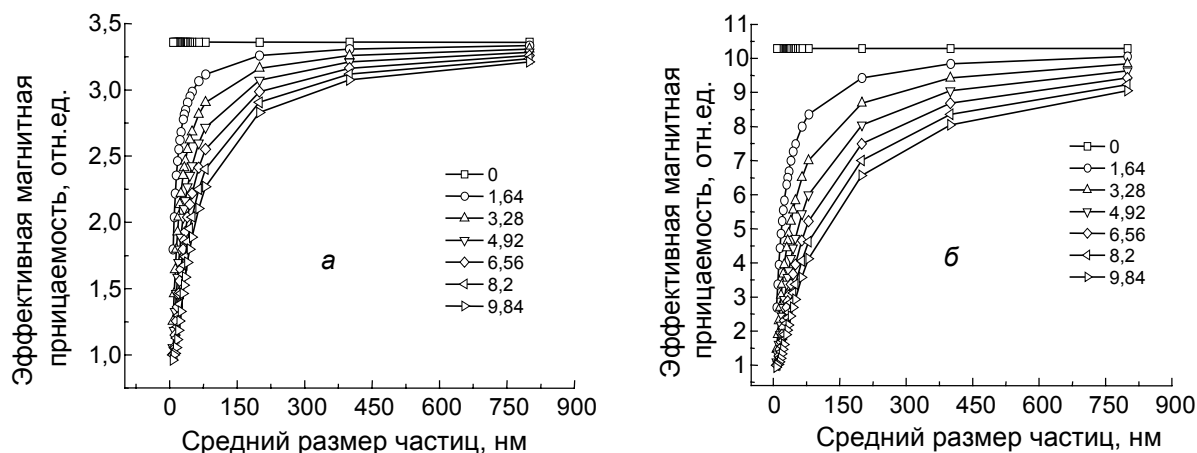


Рис. 1. Расчетные значения эффективной магнитной проницаемости по модели двухслойного шара материала для материалов: $\text{Co}_{1,2}\text{Zn}_{0,8}\text{W}$ (а); $\text{Co}_{0,1}\text{Zn}_{1,9}\text{W}$ (б)

Проведенный расчет показал, что эффективная магнитная проницаемость двухслойного шара начинает быстро уменьшаться при подходе размера частицы к нанометровой области (100 нм и ниже).

Понятно, что уменьшение происходит тем быстрее, чем больший контраст между поверхностной и объемной областями и чем больше толщина поверхностного слоя.

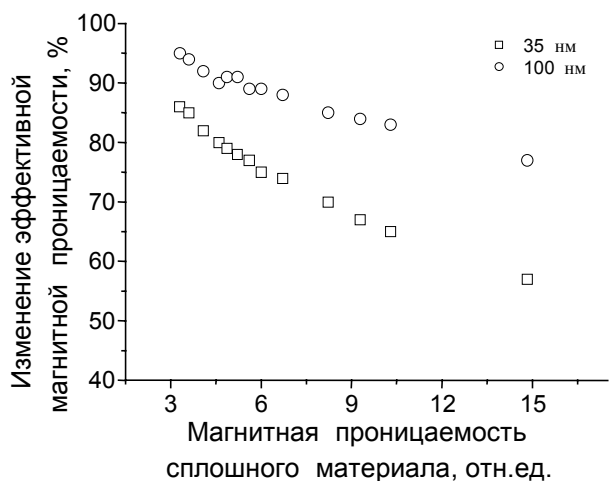


Рис. 2. Влияние величины магнитной проницаемости на вклад в основной объем частицы

материала приводит к увеличению вклада поверхности в основной объем.

Проведенный в рамках модели двухслойного шара учет перераспределения вкладов объема поверхностного слоя и основного объема частицы при достижении ее размеров нанометровой области показывает существенное уменьшение эффективной магнитной проницаемости частицы (рис. 2). Этот результат указывает на необходимость корректировки соотношений теории композиционных смесей при использовании их для расчета эффективной проницаемости композиционного материала на основе наноразмерных порошков активной фазы.

Расчет эффективной магнитной проницаемости для системы $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{W}$ показал, что при увеличении величины магнитной проницаемости сплошного

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.Г., Корнев А.Е. Эластичные магнитные материалы. – М.: Химия, 1976. – С. 55–56.
2. Поливанов К.М. Электродинамика вещественных сред. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
3. Суслиев В.И., Коровин Е.Ю. // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2 (22). – Ч. 1. – С. 175–177.
4. Смит Я., Вейн Х. Ферриты. – М.: ИЛ, 1962. – 504 с.
5. Журавлёв В.А., Суслиев В.И., Найден Е.П., Кириченко В.И. // Изв. вузов. Физика. – 1990. – Т. 33. – № 9. – С. 107–109.
6. Naiden E.P., Zhuravlov V.A., Itin V.I., et al. // Sci. Sintering. Belgrad. – 2005. – V. 35. – P. 107–114.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
E-mail: korovin_ey@mail.tsu.ru

Поступила в редакцию 20.07.12.

Коровин Евгений Юрьевич, к.ф.-м.н., ст. преподаватель;
Суслиев Валентин Иванович, к.ф.-м.н., доцент;
Шмидт Евгений Юрьевич, студент.