

Магнитоэлектрический эффект в пористых феррит-пьезоэлектрических композитах

М.И. Бичурин¹, В.М. Петров¹, А.А. Иванов, О.В. Рябов, G. Srinivasan², С.-W. Nan³

¹Новгородский государственный университет, Великий Новгород, 173003

²Oakland University, Rochester, Michigan 48309, USA

³Tsinghua University, Beijing 100084, China

Феррит-пьезоэлектрические композиты проявляют магнитоэлектрические (МЭ) свойства. Эти свойства определяются механическими, магнитными и электрическими параметрами исходных компонент и их объемными долями. Объемные композиты отличаются от слоистых структур более высокой механической прочностью. В данной работе рассматривается влияние пористости объемного композита на МЭ эффект.

Исследуемый композит состоит из пьезоэлектрической и магнитострикционной подсистем, разделенных порами. Для нахождения эффективных параметров композита (пьезоэлектрический модуль, магнитострикционные коэффициенты, упругие податливости, МЭ коэффициент) используются уравнения эластостатики, электростатики и магнитостатики. Выражения для низкочастотных продольного и поперечного МЭ коэффициентов получены для образцов композитов, характеризующихся типами связности 3-0-0 и 0-3-0 [1].

Концентрационная зависимость МЭ коэффициентов определяется типом связности. Величина МЭ эффекта зависит от пористости образца. Известны результаты измерений МЭ коэффициентов для спеченных композитов с магнитострикционной компонентой CoFe_2O_4 или $(\text{Ni}, \text{Co})\text{Fe}_2\text{O}_4$ и пьезоэлектрической компонентой BaTiO_3 или ЦТС. Измеренный МЭ коэффициент по напряжению α_E , равный отношению напряженности индуцированного электрического поля к напряженности приложенного магнитного поля, оказался по величине меньше, чем расчетное значение, вследствие (i) неполной поляризации пьезоэлектрической фазы из-за шунтирования пьезоэлектрической фазы низким сопротивлением магнитострикционной фазы; (ii) наличия ионов Fe^{2+} в ферритовой фазе, приводящего к увеличению тока утечки; (iii) появления микротрещин при термическом расширении из-за несоответствия между механическими свойствами двух фаз; (iv) пористости образца.

Современные технологии позволяют синтезировать композиты, не содержащие включений и химических неоднородностей. Использование метода горячего прессования при относительно низких температурах позволяет предотвратить образование ионов Fe^{2+} и получить образцы с высоким электрическим сопротивлением. Кроме того, имеется возможность контролировать параметры, определяющие МЭ взаимодействие, такие как начальная магнитная проницаемость и пьезомагнитные коэффициенты, зависящие от размера зерен и плотности.

Результаты проведенных исследований показали, что МЭ эффект в образцах, изготовленных горячим прессованием, сильнее, чем в спеченных композитах. В области электромеханического резонанса наблюдается существенное увеличение МЭ коэффициента. МЭ коэффициент по напряжению α_E возрастает с возрастанием подмагничивающего поля до максимума, а затем резко падает. Максимум поперечного МЭ коэффициента наблюдается при величине подмагничивающего поля значительно меньшей, чем для продольного МЭ коэффициента, вследствие отсутствия размагничивающего поля для поперечной ориентации. Зависимость α_E от величины подмагничивающего поля определяется зависимостью пьезомагнитного модуля $q = \delta\lambda/\delta H$, где λ – магнитострикционная деформация. Насыщение λ в высоких полях приводит к $\alpha_E = 0$.

Сравнение α_E для образцов, изготовленных различными методами, показывает, что образцы, изготовленные спеканием, имеют очень низкий $\alpha_E = 1-3$ мВ/А. Это связано с низким удельным электрическим сопротивлением 10^4-10^6 Ом·см и большим суммарным

током утечки. Спектаемые образцы обладают высокой пористостью 15-25%. Комбинация низкого удельного сопротивления и высокой пористости приводит к снижению МЭ эффекта. У образцов, полученных горячим прессованием, МЭ коэффициент по напряжению достигает величины 45 мВ/А. Это связано с высоким удельным сопротивлением и низкой пористостью. Расчетные значения МЭ коэффициентов довольно хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Таким образом, в данной работе показано, что МЭ коэффициент по напряжению слабо зависит от пористости образца: при объемной доле пор 20 % величина МЭ коэффициента уменьшилась приблизительно на 17 %. Композиты, полученные методом горячего прессования, имеют значительно более сильный МЭ эффект, чем подобные композиты, изготовленные по традиционной технологии спекания. В области электромеханического резонанса наблюдается значительное усиление МЭ эффекта. Полученные результаты могут быть использованы при оптимизации технологических процессов изготовления феррит-пьезоэлектрических композитов.

1. V.M. Petrov, M.I. Bichurin, V.M. Laletin, N.N. Paddubnaya and G.Srinivasan. Modeling of Magnetoelectric effects in Ferromagnetic / piezoelectric Bulk Composites // Proc. Int. Conf. "Magnetoelectric Interaction Phenomena in Crystals" Eds. M. Fiebig et al. Kluwer Acad Publ., 2004, p. 65-70.