

АНИЗОТРОПИЯ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ОБЪЕМНЫХ КОМПОЗИТАХ ФЕРРИТ – ПЬЕЗОЭЛЕКТРИК

Лалетин В.М.

ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси»,
г. Витебск, Беларусь, E-mail: laletin57@rambler.ru

Введение

Магнитоэлектрический (МЭ) эффект проявляется в изменении электрической поляризации вещества при воздействии на него магнитного поля. В композиционных материалах, состоящих из магнитной и пьезоэлектрической фазы, МЭ эффект является результатом «productproperty»[1]. Изменение поляризации происходит благодаря магнитострикции и механическому взаимодействию между фазами. Существующие МЭ композиционные материалы можно разделить на слоистые структуры и объемные композиты [2,3]. Последние изготавливают путем спекания смесей порошков феррита и пьезоэлектрика. Полученная таким образом композиционная керамика является изотропной. После поляризации она приобретает анизотропию ряда свойств: пьезомодуль, диэлектрическая проницаемость, модуль Юнга. При этом предполагается, что магнитная фаза остается изотропной. Однако процесс поляризации сопровождается удлинением образца в ее направлении. Поэтому можно предположить, что вследствие взаимодействия фаз и магнитоупругих эффектов электрическая поляризация композиционной керамики должна привести к появлению анизотропии магнитных свойств. В свою очередь, возникновение магнитной анизотропии должно оказать влияние на МЭ характеристики. Целью работы являлось исследование влияния режимов поляризации образцов и, соответственно, пьезомодуля на МЭ характеристики линейного и нелинейного МЭ эффекта.

Линейный МЭ эффект исследовали путем измерения напряжения, возникающего на образце при воздействии на него переменного и постоянного магнитных полей. Коэффициент по напряжению (α_E) определяли, исходя из толщины образца (t), величины напряжения (u) и напряженности переменного магнитного поля (h):

$$\alpha_E = u/(t \cdot h).$$

Вторым исследуемым параметром линейного эффекта являлась величина подмагничивающего поля (H_m), при котором наблюдается максимум МЭ эффекта.

Нелинейный МЭ эффект исследовали путем измерения напряжения (V_m), возникающего на образце при воздействии на него переменного магнитного поля в режиме насыщения сигнала:

$$E_m = V_m/t.$$

Исследования были проведены при двух различных ориентациях образца. В одном случае вектор электрической поляризации был перпендикулярен магнитным полям (поперечный эффект), в другом случае – параллелен (продольный эффект).

Так как величина МЭ эффекта пропорциональна поляризации, то непосредственные измерения МЭ коэффициентов не позволяют однозначно судить о наличии магнитной анизотропии. Поэтому в качестве исследуемого параметра также использовались коэффициенты k_1 и k_2 , равные отношению продольного МЭ сигнала к поперечному для линейного и нелинейного МЭ эффекта соответственно.

Объектом исследования служили образцы следующего состава:

ЦТС23 – 97 масс.%, NiFe_{1,9}Co_{0,02}O₄ – 3 масс.%.

Этот выбор был обусловлен большим содержанием пьезоэлектрической фазы и, следовательно, максимальной деформацией магнитной фазы при электрической поляризации, которая должна привести к возникновению магнитной анизотропии. Образцы спекали в тиглях со свинец содержащей засыпкой в течение двух часов при температуре 1240°C. Скорость охлаждения не превышала 50 градусов в час. Электроды наносили путем вжигания серебряной пасты при температуре 650°C в течение 20 минут. Образцы имели форму дисков диаметром 8,8 мм и толщиной 0,87 мм. Для поляризации образцов использовалось пять режимов:

1. – 1 кВ/мм, 1 час при комнатной температуре;
2. – 2 кВ/мм, 1 час при комнатной температуре;

3. – 3 кВ/мм, 1 час при комнатной температуре;
4. – 4 кВ/мм, 1 час при комнатной температуре;
5. – 4 кВ/мм, 1 час при температуре 100^oC.

Результаты исследований и обсуждение

Исследование влияния условий поляризации композиционной керамики на величину подмагничивающего поля показало, что при поперечном эффекте ее значение с ростом пьезомодуля уменьшается, при продольном эффекте, наоборот, – увеличивается (рис. 1). Относительное изменение величины H_m при поперечном эффекте составляет 15,4%, при продольном эффекте – 18,8%.

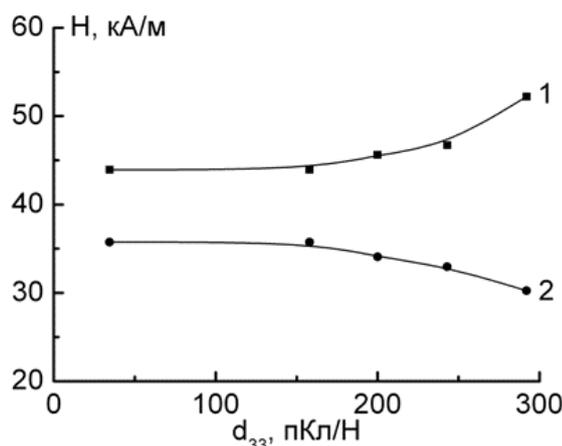


Рисунок 1 – Зависимость подмагничивающего поля продольного (1) и поперечного (2) МЭ эффекта от величины пьезомодуля

Результаты исследования влияния величины пьезомодуля на МЭ коэффициенты и коэффициенты k_1 , k_2 при линейном и нелинейном эффектах представлены на рисунках 2 и 3. Во всех случаях с увеличением пьезомодуля наблюдается рост МЭ коэффициентов. При этом поперечные МЭ коэффициенты изменяются по линейному закону, а изменение продольных МЭ коэффициентов имеет ярко выраженный нелинейный характер. Что касается коэффициентов k_1 и k_2 , то для линейного эффекта наблюдается линейная зависимость, и коэффициент меняется от 1,15 до 2,56. В случае нелинейного эффекта зависимость квадратичная и коэффициент меняется от 1,31 до 4,16. Экстраполяция полученных зависимостей до величины пьезомодуля, равного нулю, позволяет получить значения коэффициентов k_1 и k_2 для неполяризованного состояния композиционной керамики ($k_1 = 1,0$ и $k_2 = 1,2$). Принимая во внимание, что коэффициент k_1 отражает отношение продольного пьезомагнитного коэффициента к поперечному, а k_2 отношение продольной магнитострикции к поперечной можно сделать вывод, что магнитная фаза находится в сжатом состоянии. Электрическая поляризация снимает механические напряжения в направлении поляризации и усиливает их в перпендикулярном направлении. Это приводит к возникновению магнитной анизотропии и как следствие сопровождается изменениями коэффициентов k_1 , k_2 и величины подмагничивающего поля.

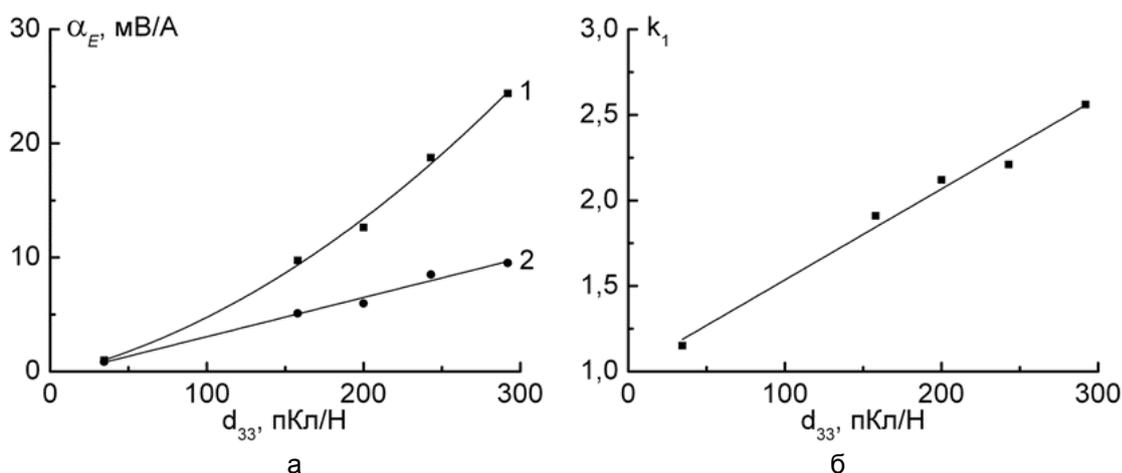


Рисунок 2 – Зависимость продольного (1) и поперечного (2) МЭ коэффициента (а) и коэффициента отношения k_1 (б) от величины пьезомодуля при линейном эффекте

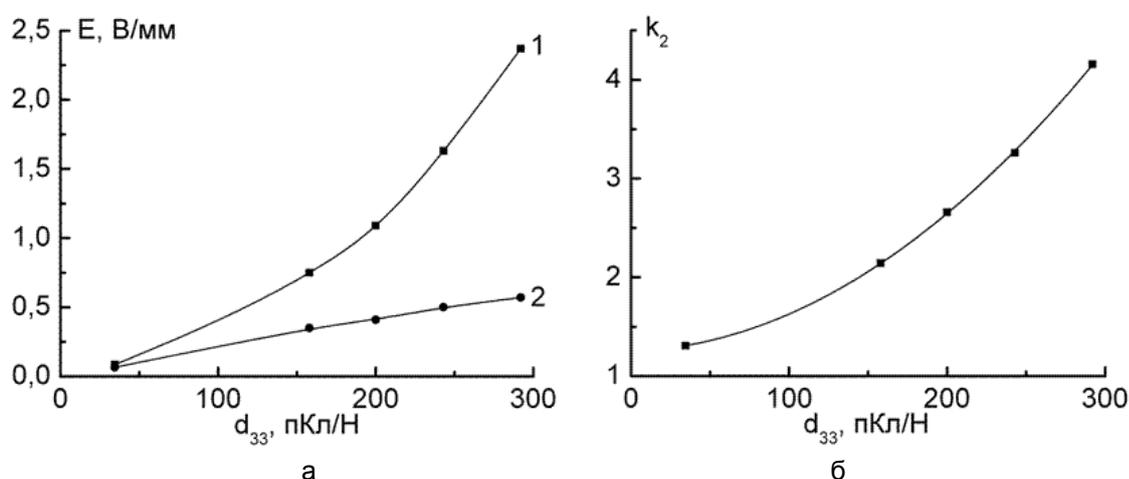


Рисунок 3 – Зависимость продольного (1) и поперечного (2) МЭ коэффициента (а) и коэффициента отношения k_2 (б) от величины пьезомодуля при нелинейном эффекте

Выводы

Электрическая поляризация композиционной керамики феррит-пьезоэлектрик сопровождается возникновением анизотропии в магнитной фазе, что приводит к смещению величины подмагничивающего поля и изменению коэффициента отношения продольного МЭ сигнала к поперечному.

Список литературы:

1. Van Suchtelen. Product properties: a new application of composite materials / Van Suchtelen // Philips Res. Rep. – 1972. – V.27. – P.28–37.
2. Ryu, J. Effect of the magnetostrictive layer on magnetoelectric properties in lead zirconate titanate/terfenol-D laminate composites / J. Ryu, S. Priya, A.V. Carazo [et al.] // J. Am. Ceram. Soc. – 2001. – Vol.84, №12. – P.2905–2908.
3. Boomgaard Van Den J. A sintered magnetoelectric composite material $\text{BaTiO}_3 - \text{Ni}(\text{Co},\text{Mn})\text{Fe}_2\text{O}_4$ / Van Den J. Boomgaard, R.A.J. Born // J. Mater. Sci. – 1978. – Vol.13, №5. – P.1538–1548.