

Корреляция магнитоэлектрического и ΔE -эффектов в магнитострикционно-пьезоэлектрических слоистых структурах

М.И. Бичурин¹, В.М. Петров¹, А.А. Иванов¹, G. Srinivasan², C.-W. Nan³

¹Новгородский государственный университет, Великий Новгород, 173003

²Oakland University, Rochester, Michigan 48309, USA

³Tsinghua University, Beijing 100084, China

В данном докладе представлены первые теоретические данные о зависимости магнитоэлектрического (МЭ) эффекта от магнитного поля в области электромеханического (ЭМР) резонанса в магнитострикционно-пьезоэлектрических гетероструктурах. Были исследованы трехслойные структуры, состоящие из пермендюра и пьезокерамики ЦТС. Пермендюр (магнитный сплав состава 49 % Co, 49 % Fe и 2 % V) представляет собой идеальный материал для изучения МЭ композитов, поскольку имеет низкое удельное сопротивление, высокую температуру Кюри и высокую магнитострикцию. PZT был выбран из-за высоких значений температуры Кюри и пьезоэлектрических констант.

Измерения МЭ коэффициента показали, что сильный МЭ эффект наблюдается в области низких частот (~ 100 Гц), а гигантский МЭ эффект в области ЭМР [1] на частотах 200-300 кГц для радиальных мод и на частотах $\sim 2,7$ МГц для толщинных мод. Полученные данные показали, что от смещающего магнитного поля зависят два ключевых параметра: частота ЭМР f_r и величина резонансного МЭ коэффициента $\alpha_{E,R}$. С возрастанием H возрастает f_r , что приводит к резкому увеличению, а затем падению $\alpha_{E,R}$. В нашей модели мы рассмотрели два механизма влияния магнитного поля на МЭ эффект в области ЭМР:

1. Сдвиг частоты ЭМР, обусловленный изменением коэффициентов упругости (ΔE -эффект).
2. Изменение амплитуды сигнала ЭМР, связанное с зависимостью пьезомагнитных коэффициентов от магнитного поля.

МЭ эффект в области ЭМР в радиальных и толщинных модах композитов является эффектом подобным по природе с низкочастотным МЭ эффектом (вынужденная поляризация композита под воздействием переменного магнитного поля), только магнитное поле в этом случае настроено на частоту ЭМР. Динамическая магнитострикция ответственна за электромагнитное взаимодействие и в случае ЭМР приводит к существенному увеличению МЭ коэффициента. Сдвиг резонансной частоты в приложенном магнитном поле, приводящем к изменению модуля Юнга, обусловлен ΔE -эффектом.

Были изучены трехслойные структуры, состоящие из пермендюра с высокой магнитострикцией и сильной пьезомагнитной связью и пьезокерамики ЦТС. Эти структуры изготавливались путем склеивания дисков из пьезокерамики и пермендюра диаметром 9 мм и толщиной 0,18-0,8 мм. Трехслойная структура состояла из центрального диска пьезокерамики, к которому присоединены с помощью эпоксидных слоев толщиной 0,01-0,03 мм внешние диски пермендюра.

МЭ коэффициент $\alpha_E = \delta E / \delta H$ был определен путем измерения электрического поля, индуцированного перпендикулярно плоскости образца при поле δH (100 Гц – 3 МГц) и смещающем магнитном поле H . Мы наблюдали резонанс на радиальных и толщинных модах на частотах 200 кГц – 2,7 МГц. Резонансная частота f_r и пик α_E были измерены как функции от H . Сдвиг f_r наблюдался с увеличением H . Расчетные значения сдвига δf_r хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Кроме того, МЭ эффект в области ЭМР и его зависимость от ΔE -эффекта исследована в трехслойных структурах на основе металлических ферромагнетиков и пьезокерамики ЦТС.

Измерения на образцах с пьезокерамикой и Fe, Co и Ni показали наличие сильного МЭ взаимодействия.

В заключение можно сделать следующие выводы. Нашими теоретическими расчетами были предсказаны два механизма влияния подмагничивающего поля на МЭ эффект, обусловленные изменением пьезомагнитного коэффициента и коэффициента упругой деформации. В работе показано, что эти вклады могут быть измерены в отдельности в области электромеханического резонанса.

Данные частотных зависимостей МЭ коэффициентов показали гигантское взаимодействие в области ЭМР на частотах 200-300 КГц для радиальных мод и на частотах порядка 2,7 МГц для толщинных мод. Теоретические модели зависимости МЭ коэффициентов хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Полученные результаты могут найти применение при создании устройств обработки сигналов с точной настройкой частоты.

1. V.M. Laletin, N.N. Paddubnaya, G.Srinivasan and M.I. Bichurin. Magnetolectric effects in Ferromagnetic metal-piezoelectric Oxide layered structures // Proc. Int. Conf. "Magnetolectric Interaction Phenomena in Crystals" Eds. M. Fiebig et al. Kluwer Acad Publ., 2004, p. 57-63.