

УДК 537.9

DOI: 10.17223/00213411/63/9/15

В.Н. НЕЧАЕВ, А.В. ШУБА

О МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ В ДВУХСЛОЙНОЙ СИСТЕМЕ ФЕРРОМАГНЕТИК – ПЬЕЗОЭЛЕКТРИК

Представлена теория прямого магнитоэлектрического (МЭ) эффекта в двухслойной структуре ферромагнетик – пьезоэлектрик, отличающаяся от существующих теорий точным учетом неоднородных по толщине слоя электрических полей. Совместное решение уравнений движения для пьезоэлектрической и ферромагнитной среды позволило численно-аналитически рассчитать зависимость частоты собственных механических колебаний системы от ее параметров и определить частотную зависимость коэффициента МЭ-эффекта, а учет диссипативных свойств системы позволил оценить максимальную величину коэффициента МЭ-связи. Проанализировано влияние длины МЭ-слоя на собственные частоты структуры и коэффициент МЭ-связи.

Ключевые слова: продольный магнитоэлектрический эффект, двухслойная структура ферромагнетик – пьезоэлектрик, собственная частота колебаний.

Введение

В последние годы значительный интерес проявляется к исследованию искусственных материалов, обладающих магнитоэлектрическим (МЭ) эффектом, обусловленный тем, что коэффициент МЭ-связи в этих материалах может быть на несколько порядков больше, чем в природных мультиферроиках. Это обстоятельство делает данные материалы весьма перспективными для применения, например, в качестве высокочувствительных датчиков магнитных полей, электрически управляемых источников переменного магнитного поля, новых типов магнитной памяти и логических элементов [1–4].

Теоретические исследования МЭ-эффекта в искусственно созданных материалах в основном проводились М.И. Бичуриным, Д.А. Филипповым с соавторами [5–9], которые достаточно подробно исследовали широкий спектр материалов от матричных до слоистых композитов. В работах [5, 6] построена термодинамическая теория МЭ, в [7, 8] теория обобщена на более высокий «гидродинамический» уровень для пленочной МЭ-структуры, а именно произведен расчет коэффициента МЭ-связи в колеблющейся двухслойной структуре. Однако в работах [5–8] колебания многослойных структур рассматривались фактически в приближении заданного упругого поля без учета влияния на них электрических и магнитных полей. Для ферромагнитного слоя это приближение является вполне приемлемым в силу малости магнитоупругой связи вдали от частоты магнитоупругого резонанса [10]. Для пьезоэлектрического слоя этот подход приводит к погрешностям, сравнимым с величиной самого эффекта [11]. Сделанное также в работе [6] утверждение: «если размеры композита гораздо меньше длины электромагнитной волны, то можно пренебречь градиентами электрического и магнитного полей внутри образца» – не подходит к обсуждаемой ситуации, поскольку речь идет не о распространении в системе электромагнитных волн, а о возбуждении электроупругих и магнитоупругих волн в слоистой структуре ферромагнетик – пьезоэлектрик. Необоснованное пренебрежение влиянием электрических полей на собственные частоты колебаний МЭ-структур присутствует также и в работах других авторов, например в [12, 13]. В отмеченных работах также не учитываются диссипативные свойства МЭ-структур, хотя ясно, что максимальное значение коэффициента МЭ-связи в условиях резонанса будет определяться величиной внутреннего трения составляющих композит материалов.

1. Геометрия задачи

В настоящей работе проводится исследование МЭ-эффекта в двухслойной системе ферромагнетик – пьезоэлектрик на основе решения задачи о колебаниях с учетом неоднородности индуцируемого электрического поля по толщине структуры.

Используем геометрию задачи такую же, как в работе [6]. Пусть исследуемая структура расположена в плоскости xOy перпендикулярно оси Oz . При приложении переменного магнитного по-

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>