

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра
Великого»,
доктор технических наук



О.Н. Остапенко

2015 г.

Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Галичяна Тиграна Александровича на тему «Магнитоэлектрический эффект в слоистых структурах в области электромеханического резонанса», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Актуальность темы

Актуальность темы исследования подтверждена тем, что исследование магнитоэлектрического (МЭ) эффекта в слоистых материалах устанавливает взаимосвязь упругих, электрических и магнитных свойств материала. Это позволяет выработать рекомендации по синтезу структур с максимальной величиной МЭ эффекта и разработать на их основе принципиально новые устройства твердотельной электроники, такие как датчики магнитного поля, фильтры, фазовращатели и т.д. Эти устройства обладают рядом преимуществ перед традиционными приборами. В частности, датчики магнитного поля на основе МЭ эффекта обладают высокой чувствительностью при комнатной температуре, что позволяет им успешно конкурировать с датчиками Холла. Перспективными считаются приборы, использующие МЭ эффект в слоистых структурах ферромагнетик-пьезоэлектрик и ферромагнетик - промежуточный слой - пьезоэлектрик. При проектировании устройств необходимо знать МЭ характеристики таких структур, поэтому тема диссертационной работы Галичяна Т.А. безусловно является актуальной.

При теоретическом описании МЭ эффекта в настоящее время наибольшее распространение получили два метода:

- метод эффективных параметров
- метод, основанный на совместном решении уравнений электростатики и эластодинамики отдельно для магнитострикционной и пьезоэлектрической подсистем, с учетом условий на границе раздела между фазами.

Метод эффективных параметров относительно прост и потому часто используется, но применимость его ограничена. Он пригоден только тогда, когда размеры структурных единиц композиционного материала (размер зерна, или толщина слоев) много меньше

длины акустической волны. Кроме того, для расчета самих эффективных параметров необходимо использовать определенные модели, вносящие погрешность в расчеты.

Учитывая упомянутые недостатки первого метода, представляется целесообразным более строгое исследование МЭ эффекта методом, включающим совместное решение уравнений электростатики и теории упругости. Наличие резкой границы раздела приводит к неоднородному распределению деформаций и напряжений в направлении, перпендикулярном к ней. В связи с этим возникает необходимость детального исследования влияния неоднородного пространственного распределения деформаций и напряжений, обусловленного наличием границы раздела, на величину МЭ эффекта.

Слоистые МЭ структуры, как правило, изготавливаются либо методом напыления, либо методом осаждения, либо методом склеивания магнитострикционного и пьезоэлектрического слоев. Если в первых двух случаях наличием промежуточного слоя между магнитострикционной и пьезоэлектрической фазами можно пренебречь, то во втором случае свойства промежуточной фазы оказывают сильное влияние на величину эффекта. Вместе с тем, число работ, где учитывается межслоевое соединение на границе раздела магнитострикционно-пьезоэлектрического образца, незначительно и его детальных исследований не проводилось.

Все это позволяет считать изучение этих эффектов весьма актуальной задачей.

Новизна, научная и практическая ценность результатов

- В работе представлено детальное теоретическое описание прямого МЭ эффекта в слоистых магнитострикционно-пьезоэлектрических структурах с учетом наличия границы раздела между слоями.
- Получены выражения и проанализирована частотная зависимость МЭ коэффициента по напряжению и его зависимость от параметров, геометрических размеров слоев для образцов в форме пластины.
- Проведено исследование влияния клеевой прослойки между слоями на величину и частотные характеристики эффекта. Показано, что наличие клеевой прослойки приводит к незначительному изменению резонансной частоты эффекта и значительному изменению МЭ коэффициента по напряжению.
- Разработанные **программы для ЭВМ** позволяют рассчитывать МЭ характеристики структур на основе параметров магнитострикционной и пьезоэлектрической фаз.

Полученные результаты являются **научно-значимыми**, они вносят существенный вклад в область исследований физических свойств твердых материалов и структур на их основе.

Основные научные результаты

В диссертационной работе Галичяна Т.А. построена теоретическая модель МЭ эффекта в слоистых магнитострикционно-пьезоэлектрических структурах. При описании МЭ эффекта был применен метод, основанный на совместном решении уравнений электростатики и теории упругости отдельно для магнитострикционной и пьезоэлектрической подсистем, с учетом условий на границе раздела между ними.

При изучении МЭ эффекта были выбраны слоистые (двухслойные и трехслойные) магнитострикционно-пьезоэлектрические образцы в форме пластинки. Рассмотрены продольная и поперечная ориентации полей. Получены выражения для МЭ коэффициента через параметры, геометрические размеры магнитострикционного и пьезоэлектрического слоев с учетом неоднородности амплитуды планарных колебаний по толщине данного образца. Рассчитаны частотные зависимости МЭ коэффициента по напряжению для различных значений параметров и геометрических размеров структур. Исследовано влияние межслоевого клеевого соединения на величину МЭ эффекта в слоистых магнитострикционно-пьезоэлектрических структурах.

Показано, что неоднородность амплитуды колебаний по толщине структуры приводит к нелинейной связи между угловой частотой и волновым вектором. В предельном случае малых толщин эта связь переходит в линейное соотношение.

Полученное выражение для МЭ коэффициента по напряжению учитывающее наличие границы между слоями и неоднородность распределения смещений по толщине образца, дает лучшее совпадение теоретических результатов с экспериментальными данными по сравнению с расчетами, полученными без учета названных факторов. Теоретические зависимости МЭ коэффициента по напряжению и резонансной частоты эффекта от характерных размеров образца находятся в хорошем согласовании с экспериментальными данными. В предельном случае тонких слоев полученные результаты совпадают с результатами, полученными ранее, однако в случае толстых слоев имеется значительное расхождение, достигающее 20%.

Неоднородность структуры, связанная с наличием границы раздела феррит-пьезоэлектрик, приводит к неоднородному распределению амплитуды смещений и механических напряжений по толщине образца. Показано, что в области низких частот эта неоднородность не существенна, но при частотах порядка сотен килогерц неоднородность становится значительной и вносит заметный вклад в величину как МЭ коэффициента по напряжению, так и амплитуды смещений по толщине образца.

Показано, что учет межслоевого клеевого соединения в магнитострикционно-пьезоэлектрической трехслойной структуре приводит к изменению величины МЭ коэффициента по напряжению. Получены количественные оценки уменьшения МЭ коэффициента по напряжению с увеличением толщины клеевого соединения. Проведенное сравнение полученных теоретических результатов с экспериментальными данными показало хорошее соответствие.

Результаты, полученные Т.А. Галичяном и приведенные в его диссертации, являются новыми и оригинальными, представляют несомненный интерес для исследователей.

Достоверность проведенных исследований

Все результаты, полученные в диссертации, представляются достоверными. Это подтверждается в результате сравнительного анализа полученных теоретических

зависимостей с экспериментальными данными. Достоверность полученных результатов обусловлена адекватным применением методов теоретической физики и физики конденсированных сред. В частности, был использован метод, основанный на совместном решении уравнений движения среды, теории упругости и электростатики для каждой из подсистем. Расчеты численных значений параметров были выполнены с помощью математического пакета Maple (версия 17.0). Работы, в которых изложены основные результаты, представлены в российских (РИНЦ) и ведущих международных (Scopus, Web of Science) базах данных.

Принятые в работе допущения находятся в согласии с современными представлениями физики конденсированного состояния и теоретической физики.

Замечания

Вместе с тем, диссертация Т.А. Галичяна не свободна от некоторых недостатков. В частности:

1. При сравнении с экспериментальными данными не приведена оценка влияния принятых приближений на полученные теоретические зависимости.
2. Полученное в диссертации дисперсионное соотношение довольно неудобно для анализа. Были бы полезны упрощенные выражения.
3. В диссертации не обсуждается магнитоэлектрический эффект в структурах не прямоугольной формы или при ориентации магнитного поля не вдоль длинной оси пластинки.
4. Не приведено сколько-либо подробного обсуждения особенностей электромеханического резонанса в рассмотренных структурах, хотя это понятие фигурирует в названии диссертации.

Перечисленные недостатки не умаляют основных достоинств работы. Надежность и достоверность результатов диссертации обеспечиваются согласованием теоретических расчетов с экспериментальными данными.

Работы Т.А. Галичяна опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Полученные автором научные результаты могут быть использованы для дальнейшего развития представлений о прямом магнитоэлектрическом эффекте в слоистых магнитострикционно-пьезоэлектрических структурах, а также для разработки на их основе принципиально новых приборов твердотельной электроники. Результаты исследования могут быть использованы в научных и учебных организациях, в которых ведутся исследования по близкой тематике: в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого, Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе, Московском государственном университете им. В.М. Ломоносова, Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Московском государственном университете информационных технологий, радиотехники и электроники, Институте физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Институте неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, а также в других вузах и научно-исследовательских институтах.

Закключение

Сделанные в отзыве замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации и, их следует рассматривать как рекомендации для дальнейших исследований.

Диссертация представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Основные полученные результаты отражены в 20 публикациях и 2 разработанных программ для ЭВМ. Выводы по работе, приведенные в заключении, достаточно обоснованы и адекватно отражают результаты, выносимые на защиту. Работа отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, тематика работы соответствует специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Полученные результаты следует рекомендовать для использования в учебных процессах студентов и аспирантов вузов, а также для научных сотрудников, работающих в области исследований физических свойств материалов.

Диссертация полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении научных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842. Считаем, что Галичян Т.А. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Доклад Галичяна Т.А. заслушан на заседании кафедры экспериментальной физики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Отзыв составил доктор физ.-мат. наук, профессор Насрединов Ф.С.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры экспериментальной физики

30 сентября 2015 года (протокол № 2).

Заведующий кафедрой экспериментальной
физики СПбПУ,
доктор физико-математических наук



Иванов Вадим Константинович

Сведения о Насрединове Фарите Сабировиче:

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07. профессор,
профессор кафедры экспериментальной физики Санкт-Петербургского политехнического
университета Петра Великого, 195251, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29.

Телефон: 8 904 511-84-02

E-mail: nasfas@mail.ru