

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию 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

Тематика мультиферроиков является примером того, как концепции, возникшие в одной области физики, могут оказаться исключительно плодотворными в другой. Магнетизм оказал существенное влияние на развитие теории сегнетоэлектричества, свидетельством чему служить само название сегнетоэлектриков в иноязычной литературе “ferroelectrics”. История исследования магнитоэлектрических эффектов отмечена такими именами как Пьер Кюри и Луи Неель, Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, И.Е. Дзялошинский и др. Однако, несмотря на интенсивные полувековые исследования в области физики мультиферроиков, большая часть синтезируемых веществ-магнитоэлектриков представляет академический интерес, так как проявляют свои магнитоэлектрические свойства только при низких температурах. Те немногочисленные материалы, которые проявляют магнитоэлектрические свойства при комнатной температуре, характеризуются значительными потерями за счет конечной проводимости. В связи с этим актуален поиск иных сценариев реализации магнитоэлектрических явлений в твердом теле, среди которых особого внимания заслуживают композиционные материалы, состоящие из механически взаимодействующих магнитострикционной и пьезоэлектрической подсистем, где величина эффекта превышает значения, наблюдаемые в однофазных материалах, на несколько порядков.

Исследуемые диссертантом слоистые магнитострикционно-пьезоэлектрические структуры характеризуются малыми токами утечки и наиболее перспективны в практическом плане. Эта особенность делает

возможным использование ферромагнитных материалов с высоким значением константы магнитострикции в качестве магнитострикционного слоя.

На данный момент существуют два основных метода теоретического исследования магнитоэлектрического эффекта:

1. метод эффективных параметров,
2. метод, основанный на совместном решении уравнений отдельно для магнитострикционной и пьезоэлектрической подсистем.

Недостатком метода эффективных параметров является его ограниченность применения и, следовательно, представляется целесообразным исследование МЭ эффекта методом, основанным на совместном решении уравнений отдельно для каждой из подсистем с учетом граничных условий. Поскольку взаимодействие между слоями передается через границу раздела, то в связи с этим возникает необходимость более детального исследования вклада в эффект, связанного с неоднородностью пространственного распределения деформаций и напряжений, обусловленного наличием границы раздела.

Наряду с методами напыления и электролитического осаждения, для изготовления слоистых магнитострикционно-пьезоэлектрических образцов, применяется метод склеивания магнитострикционного и пьезоэлектрического слоев. В первых двух случаях наличием промежуточного слоя между магнитострикционной и пьезоэлектрической фазами можно пренебречь, а в третьем 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.

Таким образом, установление более детальной взаимосвязи между упругими, магнитными и электрическими свойствами материала в

исследовании МЭ эффекта является **актуальной задачей** в диссертационной работе Галичяна Т.А. Данная работа представляет дополнительные теоретические результаты в области изучения прямого МЭ эффекта, что позволяет получить более точные результаты о величине и частотных зависимостях эффекта, необходимые для построения устройств на его основе. Это обуславливает практическое значение полученных результатов.

Автор четко формулирует соответствующие цели и задачи исследования, связанные с теоретическим исследованием вопроса и практическим применением результатов.

Диссертационная работа Т.А. Галичяна состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 147 наименований. **Во введении** четко формулируются необходимые положения, связанные с обоснованием актуальности темы, теоретической и практической значимости работы, научной новизны и пр. За введением следует **первая глава**, где диссертантом приведен подробный обзор литературы, посвященной исследованию МЭ эффекта. Описаны условия существования МЭ эффекта. Рассмотрены особенности МЭ эффекта в однофазных и композитных материалах. Представлено теоретическое описание МЭ эффекта. Следующие две главы последовательно представляют разработанную теоретическую модель и методику расчета МЭ коэффициента по напряжению в двухслойных (**вторая глава**) и трехслойных (**третья глава**) магнитострикционно-пьезоэлектрических слоистых структурах с учетом наличия границы раздела между слоями. В **четвертой главе** рассмотрена роль межслоевого клеевого соединения. В **заключении** четко сформулированы выводы и основные результаты работы.

К **научной новизне** диссертации можно отнести, в частности, представленное в работе детальное теоретическое описание прямого МЭ эффекта в слоистых магнитострикционно-пьезоэлектрических структурах с учетом наличия границы раздела между слоями. Автором получены выражения МЭ коэффициента и проанализирована его частотная

зависимость по напряжению, а также зависимость от параметров, геометрических размеров слоев для образцов в форме пластинки. Проведено исследование влияния клеевой прослойки между слоями на величину и частотные характеристики эффекта. Показано, что наличие клеевой прослойки приводит к значительному изменению МЭ коэффициента по напряжению. Полученные диссертантом выражения для МЭ коэффициента с учетом межслоевого соединения позволяют оценить влияние клеевой прослойки на резонансную частоту и величину МЭ эффекта. Автором показано, что частотная зависимость МЭ коэффициента зависит, как от параметров, так и от геометрических и упругих свойств магнитострикционной, клеевой и пьезоэлектрической подсистем.

К практической ценности результатов можно отнести разработанные программы для ЭВМ позволяют рассчитывать МЭ характеристики структур на основе параметров магнитострикционной и пьезоэлектрической фаз.

Обоснованность результатов, полученных соискателем, следует из согласованности теоретических результатов с данными эксперимента. Так, учет неоднородности деформаций по толщине образца дает лучшее согласие с экспериментом для толстых (порядка 0.5мм и более) слоев пьезокерамики, чем модель с однородным распределением амплитуды, которая дает 20% расхождение с экспериментальным значением по величине эффекта.

Результаты, представленные в диссертации полностью отражены в публикациях в реферируемых научных журналах, а также прошли апробацию на международных конференциях. Следует отметить большое, для кандидатской работы, количество публикаций (9 статей в журналах списка ВАК), а также то, что часть работ опубликована в журнале с достаточно высоким импакт-фактором (Appl.Phys.A, IF=1.7) и цитируется в статьях других научных групп.

Вместе с тем, необходимо отметить, что диссертационная работа Т.А. Галичяна не лишена ряда недостатков:

1. В диссертационной работе не рассмотрены вклад изгибных колебаний в величину эффекта, а также возможность электромеханического резонанса по толщине пластины.

2. Некоторые рассматриваемые случаи слишком частные, причем ограничения в рассмотрении напрямую не вытекают из упрощений модели. Так, в третьей главе рассматривается случай трехслойного образца, где в качестве магнитострикционных фаз фигурируют слои одинаковой толщины, состоящие из одного и того же материала.

3. Полученное диссертантом дисперсионное соотношение, которое в неявном виде представляет зависимость угловой частоты от волнового вектора, неудобно для анализа.

4. Следует отметить небольшие неточности в терминологии: штриховые линии в подписях к рисункам (см. например рис. 2.1) упоминаются как «пунктирные», термин «монокристалл» используется на стр. 32 в значении однофазного материала. На рисунке 2.8 (с. 54) в подписи к горизонтальной шкале должна стоять просто «частота», а не «резонансная частота».

5. Также в работе имеется небольшое количество опечаток: с. 19 «в следствие» – предлог отдельно с. 76 «не смотря на» частица «не» написано отдельно и другие орфографические и стилистические недочеты. Впрочем, стоит отметить, что в целом работа написана хорошим русским языком.

Сделанные замечания, большая часть из которых носит характер пожеланий, нисколько не снижают общей высокой оценки работы. В целом,

работа представляется актуальной, выполненной на достаточно высоком научном уровне.

Считаю, что работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, а ее автор Галичян Тигран Александрович заслуживает присуждения степени кандидата наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

доктор физико-математических наук,
доцент кафедры физики колебаний
физического факультета, ФГБОУ ВО
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»



Пятаков Александр Павлович

27 сентября 2015 г.

Адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1,
кафедра физики колебаний МГУ им. М.В. Ломоносова
Телефон: +7 495 939 41 38
E-mail: pyatakov@physics.msu.ru

Декан физ. факультета,
МГУ им. М.В. Ломоносова,
проф. Сысоев Н.Н.

