

## ОТЗЫВ

официального оппонента 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

Магнитоэлектрический эффект, определяемый на основе связи между магнитными и электрическими свойствами материальной системы, в настоящее время привлекает пристальное внимание исследователей. Магнитоэлектрический эффект был первоначально открыт и изучен в однородных материалах, однако его величина оказалась незначительной. Созданные впоследствии магнитоэлектрические композиционные структуры являются альтернативой однофазных кристаллических мультиферроиков, поскольку значения магнитоэлектрических коэффициентов превышают аналогичные для монокристаллических материалов на несколько порядков. Наиболее перспективными с точки зрения практического применения являются композиционные материалы, состоящие из ферромагнетика (феррита) и пьезоэлектрика (как правило, пьезоэлектрической керамики) и представляющие собой гетерогенные системы. Магнитоэлектрический эффект в слоистых магнитострикционно-пьезоэлектрических структурах, с практической точки зрения интересен тем, что позволяет на его основе создавать различные твердотельные приборы, такие как датчики магнитного поля, преобразователи напряжения и т.д. Основными достоинствами датчиков магнитного поля на основе МЭ эффекта является их высокая чувствительность при комнатной температуре.

Несмотря на достаточно большое число экспериментальных и теоретических исследований МЭ композитов, многие важные вопросы не решены до сих пор. При теоретическом описании МЭ эффекта в настоящее время наибольшее распространение получил метод, основанный на

совместном решении уравнений отдельно для магнитострикционной и пьезоэлектрической подсистем. Поскольку взаимодействие между слоями передаются через границу раздела, то в связи с этим возникает необходимость более детального исследования влияния неоднородного пространственного распределения деформаций и напряжений, обусловленного наличием границы раздела, на величину МЭ эффекта. В связи с этим **актуальность темы** исследований, представленных в диссертационной работе Галичяна Тиграна Александровича, **не вызывает сомнений**.

Структура диссертационной работы традиционна: во введении лаконично и четко формулируются необходимые положения, связанные с обоснованием актуальности темы, научной новизны, теоретической и практической значимости работы и т.д. За введением следует первая глава, где автором диссертационной работы приведен подробный обзор литературы, посвященной исследованию МЭ эффекта. Описаны условия существования МЭ эффекта. Рассмотрены особенности МЭ эффекта в монокристаллах и композитных материалах. Представлено теоретическое описание МЭ эффекта. Последний раздел первой главы посвящен возможностям практического применения МЭ эффекта в устройствах твердотельной электроники. Следующие три главы последовательно представляют разработанную теоретическую модель и методику расчета прямого МЭ эффекта в магнитострикционно-пьезоэлектрических слоистых структурах (двухслойные и трехслойные) с учетом наличия границы раздела между слоями (вторая и третья глава) и межслоевого клеевого соединения (четвертая глава). В заключении сформулированы выводы и основные результаты работы.

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

и его 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 незначительному изменению резонансной частоты эффекта и 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.

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

**Обоснованность и достоверность** результатов, научных положений и основных выводов диссертации не вызывает сомнений и подтверждается использованием адекватных моделей и согласием расчетных данных с экспериментальными. Так, теоретические зависимости величины МЭ коэффициента и резонансной частоты эффекта от характерных размеров образца находятся в очень хорошем согласовании с экспериментальными данными. Учет неоднородности деформаций по толщине образца приводит к значению МЭ коэффициента по напряжению значительно отличающийся от рассчитанного в предположении, что амплитуда смещений одинакова по толщине образца. Полученные результаты величины МЭ коэффициента по напряжению в предположении, что амплитуда смещений не меняется по толщине образца, практически совпадают с экспериментальными данными при тонких слоях структуры. При толщине пьезокерамики 0.4 мм это предположение дает заниженное значение более чем на 20%. Автором диссертационной работы было показано, что теоретическая зависимость величины МЭ коэффициента от толщины клеевого соединения находятся в хорошем согласовании с экспериментальными данными. Величина МЭ коэффициента по напряжению сильно уменьшается с увеличением толщины клея, что связано с ослаблением связи между магнитострикционным и пьезоэлектрическим слоями.

Основные результаты диссертационной работы отражены в 9 публикациях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ. Они прошли апробацию на конференциях различного уровня.

Диссертационная работа отличается высоким уровнем осмысления проблемы, глубиной постановки и обоснования общих и частных вопросов. Данная диссертация четко структурирована, материал излагается логично, взвешенно, выводы подкреплены экспериментальными данными.

Однако по диссертационной работе имеется ряд вопросов и замечаний.

1. В работе рассмотрен только случай, когда образец поляризован в перпендикулярно плоскости образца и не рассмотрена поляризация в плоскости.
2. При сравнении полученных теоретических и экспериментальных данных диссертантом не приводится оценка погрешности математической модели.
3. В диссертации показано, что дисперсионное соотношение (2.6) (стр. 36) носит нелинейный характер, в предельном случае тонких слоев оно переходит в линейное соотношение. Однако в работе отсутствуют данные о том, как влияет толщина слоев на зависимость частоты  $\omega$  от волнового вектора  $k$ .
4. При расчете характеристик композиционной магнитоэлектрической структуры не указана степень механической связи слоев, которая является важным параметром, определяющим механическое взаимодействие слоев композита. Если автор по умолчанию полагал механическую связь идеальной (коэффициент, определяющий степень связи равен единице), то возникает вопрос, а каковы будут рассчитываемые параметры при неидеальной связи?

Однако, несмотря на приведенные замечания, в целом диссертация Галичяна Т. А. является законченной научно-квалификационной работой, ее основные результаты, выводы и научные положения обладают достоверностью, научной новизной и практической значимостью. Автореферат и публикации по теме работы в достаточной степени отражают содержание диссертации, ее основные положения и выводы. Содержание

диссертации соответствует формуле паспорта специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

По объему, научной новизне, значимости и достоверности **диссертационная работа** Галичяна Тиграна Александровича «Магнитоэлектрический эффект в слоистых структурах в области электромеханического резонанса» **соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней»** от 24 сентября 2013 года, № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

#### **Официальный оппонент**

Доктор физико-математических наук,  
доцент, профессор кафедры физики  
конденсированного состояния  
Тверского государственного университета,  
Солнышкин Александр Валентинович

22.09.2015 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Тверской государственный университет»  
170100, г. Тверь, ул. Желябова, 33.

Тел.: (4822) 58-14-93 (доб. 108); e-mail: a.solnyshkin@mail.ru

