

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Фирсовой Т.О. «Линейный и нелинейный магнитоэлектрический эффект в магнитострикционно пьезоэлектрических структурах металл-пьезоэлектрик, металл-полимер-пьезоэлектрик», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Актуальность

Магнитоэлектрические (МЭ) эффекты в искусственно созданных композитных структурах, содержащих механически связанные слои ферромагнетика и пьезоэлектрика, интенсивно исследуют в последние десятилетия в связи с перспективами их использования для создания новых устройств электроники, микросистемной и измерительной техники. Магнитоэлектрический эффект позволяет изменять магнитные параметры структур с помощью электрического поля или их электрические параметры с помощью магнитного поля. Комбинация нескольких физических явлений (магнитострикция, пьезоэлектричество, акустический резонанс) и легкость изменения характеристик структур за счет выбора материалов слоев, технологий их изготовления, ориентации магнитных и электрических полей открывают широкие возможности управления характеристиками наблюдаемых МЭ эффектов.

К настоящему времени достаточно подробно исследованы линейные МЭ эффекты в структурах различных составов и геометрий, разработаны теоретические методы описания линейных эффектов. Поэтому основное внимание исследователей все больше смещается в область нелинейных МЭ явлений. Первые работы показали, что нелинейная зависимость магнитострикции ферромагнитного слоя от внешнего магнитного поля приводит к большому разнообразию наблюдаемых нелинейных эффектов, среди которых генерация высших гармоник, смешение переменных магнитных полей, детектирование переменных полей и так далее.

Представленная диссертация Фирсовой Т.О. как раз и посвящена разработке новых теоретических подходов к описанию нелинейных МЭ эффектов в композитных структурах, экспериментальному исследованию ожидаемых эффектов и поиску путей их использования, что и определяет актуальность и своевременность работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Общий объем работы оставляет 112 стр., включая 35 рисунков, 5 таблиц и 105 наименований литературы. Во введении и первой главе приведен обзор современного состояния исследований линейных и нелинейных МЭ эффектов в композитных структурах и сформулированы цели работы. Во второй главе построена теория, позволяющая рассчитывать характеристики линейного и нелинейного прямого МЭ эффекта в структурах прямоугольной и дисковой формы при различных ориентациях магнитных полей. В третьей главе описана технология изготовления структур ферромагнетик (никель или пермендюр) - пьезоэлектрический цирконат-титанат свинца методами электролитического осаждения или склеивания слоев. Там же приведены результаты экспериментальных исследований эффекта генерации второй гармоники в композитной структуре. Наконец, в четвертой заключительной главе описан принцип действия предложенного соискателем датчика магнитных полей, использующего нелинейный МЭ эффект.

Научная новизна диссертации определяется совокупностью полученных в работе новых научных результатов, среди которых наиболее важные следующие:

- Разработана модель и методика расчета нелинейного МЭ эффекта в слоистых магнитострикционно - пьезоэлектрических структурах с учетом толщины слоев;
- Разработана технология изготовления композитных структур методом электролитического осаждения никеля на пьезоэлектрическую подложку с использованием подслоев, улучшающих механическую связь слоев;
- Впервые исследованы линейный и нелинейный МЭ эффекты в структуре никель – арсенид галлия. Демонстрация возможности сопряжения МЭ элементов с полупроводниковым материалом, широко используемым в современной электронике, несомненно, послужит стимулом к дальнейшему изучению МЭ эффектов в структурах магнитострикционный материал – полупроводник.

Практическая значимость проведенных исследований состоит в разработанной автором достаточно простой технологии изготовления структур, которая может найти применение при производстве МЭ датчиков магнитных полей и актюаторов на основе композитных структур, а также в предложенном оригинальном методе измерения постоянных магнитных полей с помощью нелинейного МЭ эффекта, защищенным патентом на изобретение.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы не вызывает сомнений и основана на: использовании автором фундаментальных физических законов; обоснованном выборе исходных данных при построении физических моделей; использовании стандартных методов математической физики при выполнении расчетов; совпадении результатов экспериментальных исследований с данными аналогичных исследований других авторов.

Замечания по представленной диссертационной работе следующие:

- При построении математической модели для расчета характеристик МЭ эффекта в дисковой структуре учтен коэффициент Пуассона (стр. 44) (описывающий магнитоstrictionное удлинение образца вдоль поля и сжатие в поперечном направлении), а при расчете характеристик эффекта в структуре прямоугольной формы этот эффект не учитывался (стр. 36), что может привести к ошибке в расчетах на ~30%.
- Направления магнитных полей на рис. 2.6 не совпадают с комментариями в тексте, где написано, что поля направлены вдоль оси X, т.е. по касательной к плоскости структуры. То же самое относится к ориентации полей на рис. 2.3.
- В разделе 3.3.1 изображена ориентация образца во внешнем поле H при проведении экспериментальных исследований. Поле направлено под углом 45° к продольной оси образца. Никаких пояснений в тексте, чем обусловлен выбор такой ориентации образца, нет. Кроме того, этот случай не рассматривался в теоретической части работы, что затрудняет сравнение данных измерений с теорией.
- Для подтверждения справедливости теории обычно принято сравнивать результаты теоретических расчетов с экспериментом. К сожалению, в диссертации нет ни одного графика, где было бы приведено такое сравнение.
- Автор диссертации недостаточно тщательно, на мой взгляд, подошел к анализу литературы по теме. В частности, в период работы над диссертацией опубликовано несколько статей зарубежных авторов, которые имеют непосредственное отношение к данной работе. Попытки построить теорию нелинейных МЭ эффектов в композитных структурах ферромагнетик-пьезоэлектрик предприняты в работах: (1) JMMM, 2014, v. 360, p. 131-136; (2) Composite structures, 2015, v. 119, p.685-692; (3) Acta. Mech. Sin, 2012, v. 28(2), p. 385-392 и ряде других. Умножитель частоты на основе нелинейного МЭ эффекта описан в статье JMMM, 2011, v. 323, p.101-103.

Стоило бы процитировать эти статьи и отметить отличие и новизну результатов данной диссертации.

Перечисленные замечания и пожелания в целом не снижают высокого уровня выполненной работы, достоверности и обоснованности ее выводов и рекомендаций.

Основные результаты диссертационной работы **полностью опубликованы** в научной печати, в том числе в 9-ти статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ, докладывались на восьми российских и международных конференциях, защищены 3-мя патентами, известны специалистам. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Учитывая изложенное, считаю, что диссертация представляет собой законченное научное исследование, содержит новые оригинальные и важные для применений результаты, полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор работы Фирсова Т.О, за исследования линейного и нелинейного магнитоэлектрических эффектов в магнитоэлектрично-пьезоэлектрических структурах металл-пьезоэлектрик и металл-полимер-пьезоэлектрик, несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

Директор Научно-образовательного центра
«Магнитоэлектрические материалы и устройства»
Московского технологического университета,
профессор, доктор физ.-мат. наук

E-mail: fetisov@mirea.ru

Тел.: 8 495 4347665

Ю.К. Фетисов

01.06.2016

Подпись Ю.К. Фетисова удостоверяю

Помощник проректора
по кадровой и
документационной работе



Г.С. Пахомова