

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«МИРЭА – Российский технологический университет»

Н.И. Прокопов
«23» января 2020 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Маничевой Ирины Николаевны «Магнитоэлектрический эффект в электролитически осажденных слоистых структурах никель-арсенид галлия и никель-кварц», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «Физика конденсированного состояния»

Магнитоэлектрические (МЭ) эффекты в объемных и слоистых композитных материалах, обладающих одновременно как ферромагнитными, так и сегнетоэлектрическими свойствами, интенсивно изучают в последние годы в связи с перспективами применения для создания новых устройств обработки информации, таких как высокочувствительные датчики магнитных полей, управляемые напряжением резонаторы, фильтры и фазовращатели и радио- и сверхвысокочастотного диапазонов, элементы магнитной памяти, переключаемые электрическим полем, автономные источники электрической энергии.

МЭ эффект позволяет изменять поляризацию материала с помощью магнитного поля (прямой эффект) или намагниченность материала с помощью электрического поля (обратный эффект). Наибольший по величине МЭ эффект обнаружен в композитных структурах, содержащих механически связанные ферромагнитные (ФМ) и пьезоэлектрические (ПЭ) слои. Установлено,

что величина эффекта зависит от параметров используемых материалов и технологии изготовления структур, определяющей механическую связь слоев.

Одной из перспективных технологий является изготовление ФМ-ПЭ структур методом электролитического осаждения слоев, который позволяет формировать монокристаллические структуры со слоями сравнимой толщины. В этой связи актуальным является экспериментальное исследование характеристик монокристаллических структур из различных материалов, изготовленных методом электролитического осаждения, и разработка теоретических моделей, описывающих МЭ эффект в подобных многослойных структурах, чему и посвящена представленная диссертация. Новизна поставленных задач с научной точки зрения и важность ожидаемых результатов для решения практических задач определяют *актуальность и своевременность диссертационной работы.*

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка использованных источников, изложена на 101 страницах, включая 20 рисунков и 3 таблицы. Список литературы содержит 145 наименований. Первая глава содержит обзор теоретических и экспериментальных работ в области магнитоэлектрических явлений в композитных структурах в целом и в структурах, изготовленных методом электролитического осаждения в частности. Во второй главе описана разработанная соискателем технология изготовления многослойных композитных структур методом электролитического осаждения никеля. В третьей главе изложена теория магнитоэлектрических эффектов в многослойных композитных структурах. В четвертой главе диссертации приведены результаты оригинальных экспериментальных исследований резонансных магнитоэлектрических эффектов в структурах с пьезоэлектрическими слоями из арсенида галлия и кварца. В заключении суммированы основные выводы и рекомендации диссертации.

Научная новизна диссертационной работы определяется совокупностью новых научных результатов, изложенных в диссертации. Наиболее важными из них представляются следующие:

1. Впервые разработана технология изготовления многослойных структур со слоями из магнитострикционного никеля и олова методом электролитического осаждения, позволяющая уменьшить механические напряжения между слоями и обеспечивающая хорошую адгезию. Экспериментально установлено соотношения между толщинами слоев никеля и олова, при котором структуры обладают высокой прочностью и значительным МЭ эффектом.
2. Разработанным методом впервые изготовлены многослойные структуры со слоями из никеля и олова на подложках из арсенида галлия и кварца. Показано, что монокристаллические структуры, изготовленные методом электролитического осаждения слоев, обладают на порядок более высокой добротностью, чем структуры, изготовленные методом склеивания слоев, что приводит к существенному увеличению коэффициента МЭ преобразования.
3. Усовершенствован метод расчета характеристик МЭ эффекта в многослойных структурах, позволяющий описывать эффекты, возникающие на границе фаз с учетом наличия демпфирующего слоя, что способствует более точному описанию характеристик МЭ эффектов в таких структурах.
4. Экспериментально установлено, что электролитически осажденные слои никеля обладают отрицательным дельта-Е эффектом в диапазоне магнитных полей 0-120 кА/м.

Практическая значимость работы состоит в разработанной автором технологии изготовления многослойных монокристаллических композитных структур ферромагнетик-пьезоэлектрик на основе подложек из арсенида галлия и кварца. Технология защищена патентом на изобретение № 2682504 от 19.03.2019. Применение этих, хорошо изученных и широко используемых материалов, несомненно, будет способствовать более быстрому внедрению различных МЭ устройств в современную электронику и микросистемную технику. Разработанная автором программа расчета МЭ характеристик многослойных структур (защищена свидетельством о госрегистрации № 2019613818 от 11.03.2019) может найти применение для расчета характеристик устройств, использующих МЭ эффекты в композитных структурах.

Достоверность и обоснованность научных положений и полученных результатов исследований определяется следующими обстоятельствами:

- Использованием при построении модели многослойной структуры общепризнанных физических законов и допущений, учетом максимального числа действующих факторов;
- Количественным совпадением результатов расчетов, полученных с помощью разработанной модели, с данными экспериментальных исследований;
- Согласованием полученных соискателем результатов с результатами исследований других независимых авторов.

В качестве недостатков и замечаний по диссертационной работе укажем следующие:

1. Одной из главных и наиболее информативных характеристик МЭ эффекта в композитных структурах является зависимость эффективности МЭ преобразования от напряженности постоянного магнитного поля H , форма которой определяется как материалом, так и размерами магнитных слоев структуры. Важным параметром является величина поля H_m , при которой МЭ коэффициент достигает максимального значения. Однако в работе такие зависимости почему-то не приведены ни для одной из изготовленных структур.
2. На рис. 18 показаны частотные зависимости МЭ коэффициента для структур Ni-кварц, изготовленных методом электролитического осаждения Ni (кривая 1) и путем склеивания (кривая 2). Сравнивать эффективность МЭ преобразования в таких структурах не совсем корректно, т.к. толщины слоев никеля отличаются в 25 раз. В склеенной структуре, где толщина слоя Ni составляет 250 мкм, большую роль играют эффекты размагничивания, которые приводят к значительному уменьшению пьезомагнитного коэффициента и соответствующему снижению МЭ коэффициента.
3. В работе несколько раз отмечается, что в изготовленных методом электролитического осаждения многослойных структурах температурная стабильность частоты должна быть выше, чем в склеенных структурах. Од-

нако каких-либо результатов измерений автора, или ссылок на работы других авторов, которые подтвердили бы это утверждение, не приводится.

4. Как в самой работе, так и в автореферате имеется целый ряд опечаток и грамматических несоответствий, например: стр. 39, 8-я строка сверху; стр. 42, 8-я строка снизу; стр. 47, 13-я строка сверху; неверная размерность α_E по вертикальной оси на рис. 16 и т.д.

Высказанные замечания и погрешности в оформлении несколько снижают общее впечатление от работы, но никоим образом не влияют на оригинальность, научную ценность, достоверность выводов и рекомендаций проведенных исследований.

Результаты диссертации опубликованы в 7 статьях в журналах, входящих в список ВАК РФ, доложены на 4-х российских и международных конференциях и защищены патентом. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Результаты, выводы и рекомендации диссертационной работы могут быть использованы в организациях, занимающихся разработкой новых композитных магнитных и пьезоэлектрических материалов и устройств измерительной и информационной техники, использующих магнитоэлектрические эффекты, таких как РТУ МИРЭА, ИРЭ РАН, Воронежский государственный университет, ОКБ «Пьезотехника» (г. Ростов на Дону), ОАО НИИ «Элпа» (г. Зеленоград), и ряде других.

Учитывая изложенное, считаем, что диссертационная работа Маничевой И.Н. представляет собой законченное научное исследование, посвященное актуальной тематике, содержащее целый ряд новых с научной точки зрения и важных для практики результатов. Работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в п.п. 9-14 Положения ВАК РФ «О присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 и соответствует пунктам 1, 6, 7 паспорта специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния. Соискатель, Маничева И.Н. за разработку технологии изготовления

слоистых структур никель–арсенид галлия и никель–кварц методом электролитического осаждения и экспериментальное и теоретическое исследование характеристик МЭ эффектов в таких структурах, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

Отзыв рассмотрен и одобрен после обсуждения диссертационной работы Маничевой И.Н. на научном семинаре Научно-образовательного центра «Магнитоэлектрические материалы и устройства» РТУ МИРЭА, 21 января 2020 г.

Отзыв составили:

Фетисов Юрий Константинович, д.ф.-м.н., профессор,
директор Научно образовательного центра
«Магнитоэлектрические материалы и устройства»
Тел. 8 916 7922558, E-mail: fetisov@mirea.ru



Гладышев Игорь Васильевич, к.ф.-м.н., доцент,
зам. заведующего кафедрой «Нанотехнологии»
Тел. 8 916 5094543 E-mail: i_gladushev@mirea.ru

Адрес: РТУ МИРЭА, просп. Вернадского, д. 78, Москва, 119454