

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

д-р техн. наук, профессор

В.А. Гунтик

« 14 » апреля 2023 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» на диссертацию Савельева Дмитрия Владимировича «Магнитоэлектрические свойства гибких композитных структур на основе магнито- и электроактивных материалов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2. – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Савельева Д.В. посвящена экспериментальному исследованию магнитоэлектрических эффектов в гибких композитных структурах с различными слоями ферромагнетика и пьезоэлектрика. Исследование направлено на поиск и определение особенностей магнитоэлектрических эффектов в композитных структурах, в которых использованы новые материалы ферромагнитных слоёв, для создания устройств гибкой электроники.

В настоящее время широкий интерес вызывает исследование магнитоэлектрических эффектов в композитных структурах пьезоэлектрик-ферромагнетик ввиду возможности их применения в качестве датчиков магнитных полей, устройств памяти, автономных источников энергии, СВЧ-устройств. Для повышения чувствительности устройств на основе таких структур было предложено использование композитов на основе пьезополимеров, что создает такие преимущества по сравнению с традиционно используемыми материалами

(пьезокерамики на основе свинца, монокристаллические пьезоэлектрики), как гибкость, простота изготовления и биологическая нейтральность. Таким образом, исследование магнитоэлектрических эффектов в гибких композитных структурах актуально для создания устройств гибкой электроники и микросистемной техники.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, 6 разделов, заключения и списка литературы, имеет объем в 182 страницы, включая 120 рисунков, 18 таблиц и библиографию из 187 литературных источников.

В **Главе 1** приведен обзор литературы по теме диссертации. Приведено описание современного состояния в области исследования магнитоэлектрических эффектов в гибких композитных структурах и их применения. Выделены наиболее перспективные материалы, которые могут быть использованы для создания гибких композитных магнитоэлектрических структур и приведены их основные свойства.

В **главе 2** приведено описание методик измерения свойств исследованных структур. Представлены экспериментальные установки для исследования магнитных свойств, магнитомеханических и магнитоэлектрических эффектов, приведены их параметры. Приведено описание основных свойств пьезоэлектрических и магнитострикционных материалов, используемых в работе для создания магнитоэлектрических композитных структур.

Главы 3-6 содержат результаты экспериментальных исследований по теме диссертации, полученные соискателем.

Глава 3 посвящена исследованию магнитоэлектрических эффектов в композитных структурах на основе пьезополимера ПВДФ и аморфного магнитного сплава Метглас. Приведено сравнение линейного и нелинейного магнитоэлектрических эффектов в однослойной и биморфной композитных структурах на частотах изгибных колебаний структур. Измерены зависимости магнитоэлектрического напряжения от постоянного и частоты, и амплитуды переменного магнитного поля. Проведено сравнение экспериментальных зависимостей с рассчитанными с помощью метода эффективных параметров.

В **главе 4** приведены описание основных результатов исследования магнитодеформационных эффектов в магнитоактивных эластомерах. Детально

исследовано влияние концентрации частиц карбонильного железа, модуля сдвига, аспектного соотношения образцов и распределения частиц внутри образцов на параметры магнитодеформации. Обнаружен и исследован эффект Видемана в трубке непроводящего материала – магнитоактивного эластомера. Рассмотрено влияние продольного и циркулярного магнитных полей на величины максимального и остаточного относительного углов поворота.

В главе 5 приведено описание магнитоэлектрических эффектов в структурах с магнитоактивным эластомером. На основе полученных результатов определены особенности деформации магнитоактивных эластомеров в магнитных полях в форме ступеньки, на основании чего сделан вывод о возможности использования магнитоэлектрических структур для определения магнитодеформации магнитоактивных эластомеров. Определено влияние толщины ферромагнитного слоя на величину магнитоэлектрического эффекта и перестройки частоты в магнитном поле.

Глава 6 посвящена исследованию магнитоэлектрического эффекта в композитных структурах на основе магнитострикционных волоконных композитов. Определено влияние геометрии на магнитострикционные свойства волоконных композитов. Обнаружена сильная анизотропия магнитострикции, обусловленная эффектами размагничивания. Определены методы оптимизации характеристик магнитострикционных волоконных композитов. Получены зависимости МЭ напряжения, генерируемого композитными структурами пьезоэлектрик-магнитострикционный волоконный композит от частоты, величины постоянного и амплитуды, и частоты переменного магнитных полей. Приведена теоретическая оценка влияния размагничивающего фактора на величину МЭ коэффициента и магнитного поля, в котором наблюдаются его наибольшие значения.

В заключении сформулированы основные научные результаты и выводы по работе.

Научная новизна работы

К наиболее интересным новым научным результатам работы соискателя можно отнести следующие

1. Впервые исследован обратный МЭ эффект в композитных структурах пьезополимер ПВДФ-Метглас.

2. Впервые исследован резонансный магнитоэлектрический эффект в композитных структурах ПВДФ-магнитоактивный эластомер. Определено влияние толщины слоя магнитоактивного эластомера на параметры резонансного магнитоэлектрического эффекта в композитных структурах.

3. Изготовлен и исследован новый материал – магнитострикционный волоконный композит. Исследовано влияние диаметра волокон и периода между ними на магнитомеханические свойства магнитострикционного волоконного композита.

Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертационной работы основана на использовании современного измерительного оборудования, применении теоретических моделей, подтверждённых ранее экспериментально, согласовании экспериментальных и теоретических результатов. Проведённые исследования были опубликованы в научных журналах, входящих в базы данных Web of Science, Scopus, а также в список ВАК.

Ясная и последовательная логика изложения материалов работы позволяет сделать вывод об обоснованности результатов исследования.

Практическая значимость работы состоит в возможности применения исследованных гибких структур для создания устройств гибкой электроники и микросистемной техники, в частности датчиков магнитных полей. Исследование влияния параметров магнитоактивных эластомеров на их деформационные свойства позволит использовать их в качестве гибких актюаторов.

Полученные результаты могут быть использованы на предприятиях и научных организациях, занимающихся разработкой датчиков магнитных полей и устройств гибкой электроники. Среди них АО «Росэлектроника», НКТБ «Пьезоприбор», НИИ «Элпа», АО «НИИФИ», ООО «Релеон», ООО «Пьезоэлектрик», АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», СПбГЭТУ ЛЭТИ, ГНИИХТЭОС, УрФУ, НИУ МИЭТ, НИТУ «МИСиС», ТПУ.

Замечания по диссертационной работе

Анализ диссертационной работы показал, что соискателем проделана значительная экспериментальная работа, однако, диссертационная работа не лишена недостатков, среди которых следует отметить следующие:

1. Магнитоэлектрические коэффициенты, приведенные в положениях, выносимых на защиту, указаны с точностью в 2 знака после запятой. При этом не ясно, имеется ли такая точность измерений на самом деле.

2. В работе не отражено влияние температуры на свойства материалов, используемых в качестве магнитострикционных слоев композитных структур. Также в работе не проведено исследование температурных зависимостей магнитоэлектрического эффекта в структурах на их основе.

3. В диссертационной работе на рисунке 52а приведена измеренная зависимость магнитодеформации одного магнитоактивного эластомера от магнитного поля. Видно, что величины деформаций отличаются при различных циклах намагничивания (при положительных и отрицательных магнитных полях). Из текста диссертации не понятно, были ли проведены подобные измерения для остальных эластомеров.

4. В работе указаны значения добротности резонансов, но не указано, как они были рассчитаны.

5. В диссертации имеется ряд опечаток. В частности, в главе 6, повествующей об исследовании свойств магнитострикционных волоконных композитов слово выражение «никелевая проволока» и подобные практически не встречаются. Также, как и в задачах работы указано «...провести исследование влияния диаметра волокон...». Тем не менее, в положении 4, выносимом на защиту сказано «...волоконных композитов, состоящих из *проволок* никеля...».

6. В тексте диссертации методика измерения в общем случае описана в главе 2. В главах 5 и 6 приведено дополнительное описание, частично повторяющее написанное в главе 2.

Данные замечания не снижают общую высокую оценку представленной диссертационной работы, которая выполнена на высоком научном уровне. Актуальность работы не вызывает сомнения, а представленные результаты

исследования достоверны, имеют теоретическую и практическую значимость, выводы обоснованы

Основные результаты работы опубликованы в 3-х статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ, в 8-х статьях в журналах, входящих в базы данных Web of Science/Scopus, и представлены на 11 российских и международных научных конференциях. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Савельева Д.В. на тему «Магнитоэлектрические свойства гибких композитных структур на основе магнито- и электроактивных материалов» соответствует требованиям п.п. 9-14 Положения ВАК РФ «О присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Савельев Дмитрий Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2. – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств» (согласно пункту 1 паспорта специальности).

Отзыв составлен доктором физ.-мат. наук, профессором кафедры физической электроники и технологии ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ» Устиновым Алексеем Борисовичем на основе изучения текста диссертации, автореферата и основных публикаций, в которых представлены результаты работы.

Диссертационная работа была заслушана и обсуждена на заседании научного семинара кафедры физической электроники и технологии ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 12 апреля 2023 года (протокол № 4)

Профессор кафедры физической электроники и технологии, д-р физ.-мат. наук

Заведующий кафедрой физической электроники и технологии, д-р физ.-мат. наук
«14» апреля 2023 г.

Подпись А.Б. Устинова удостоверяю:
Ученый секретарь совета СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

 А.Б. Устинов

 А.А. Семенов

 Т.Л. Русева

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова»

Россия, 197022, Санкт-Петербург, л. Профессора Попова, дом 5 литера 6

Телефон: +7 812 346-44-87

Факс: +7 812 346 27 58

Эл. почта: info@etu.ru

Сайт: <https://etu.ru/>