

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Турутина Андрея Владимировича на тему: «Магнитоэлектрический эффект в композитных мультиферроиках на основе бидоменных кристаллов ниобата лития», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния», и состоявшейся в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС») 22.09.2021 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 24.05.2021, протокол № 28.

Диссертация выполнена на кафедре материаловедения полупроводников и диэлектриков и кафедре полупроводниковой электроники и физики полупроводников НИТУ «МИСиС».

Научный руководитель – Кобелева Светлана Петровна, к.ф.-м.н., доцент, НИТУ «МИСиС», кафедра полупроводниковой электроники и физики полупроводников.

Консультант – Соболев Николай Андреевич, к.ф.-м.н., ведущий инженер лаборатории функциональных низкоразмерных структур НИТУ «МИСиС».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (протокол № 28 от 24.05.2021) в составе:

1. Мухин Сергей Иванович - д.ф.-м.н., заведующий кафедрой теоретической физики и квантовых технологий НИТУ «МИСиС» – председатель комиссии;

2. Панина Лариса Владимировна - д.ф.-м.н., профессор кафедры технологии материалов электроники НИТУ «МИСиС»;

3. Ховайло Владимир Васильевич - д.ф.-м.н., профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСиС;

4. Коледов Виктор Викторович - д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории магнитных явлений в микроэлектронике, Институт радиотехники и электроники (ИРЭ) им. В.А. Котельникова Российской академии наук;

5. Фетисов Леонид Юрьевич, д.ф.-м.н., доцент кафедры нанoeлектроники, МИРЭА – Российский технологический университет

В качестве ведущей организации рекомендуется Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», 344006 г. Ростов-на-Дону.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Впервые в качестве пьезоэлектрического слоя в композитном мультиферроике использованы бидоменные кристаллы LiNbO_3 (LN).
- Экспериментально показано, что максимальное значение магнитоэлектрического (МЭ) коэффициента в композитных МЭ структурах на основе бидоменных кристаллов LN выше, чем в композитном образце на основе монокристалла LN, что согласуется с расчетом МЭ коэффициента для данных композитных структур.
- В композитных мультиферроиках на основе бидоменных кристаллов LN у+140°-среза / метгласа получен гигантский МЭ коэффициент - 1704 В/(см·Э). Достигнута рекордная чувствительность к переменному магнитному полю среди композитных

мультиферроиков, которая составила $92 \text{ фТл/Гц}^{1/2}$ при комнатной температуре на частоте резонанса 6862 Гц.

- Установлено, что применение МЭ сенсора с чувствительным элементом, выполненным в форме камертона, позволяет увеличить чувствительность к магнитному полю на резонансной частоте в 6,7 раза по сравнению с единичным МЭ датчиком. На резонансной частоте спектральные плотности магнитного шума составляют $3 \text{ пТл/Гц}^{1/2}$ и $20 \text{ пТл/Гц}^{1/2}$ для МЭ камертона и единичного МЭ сенсора, соответственно. Усиление шумоподавления на нерезонансных частотах является от 7 до 25 кратным в МЭ камертоне по сравнению с единичным МЭ датчиком.)

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- В диссертации представлены расчёты магнитоэлектрического (МЭ) коэффициента в композитных мультиферроиках на основе бидоменных кристаллов LN / метглас, которые хорошо согласуются с полученными экспериментальными результатами по изучению МЭ эффекта в данных материалах.
- Представленные расчёты МЭ коэффициента в композитных мультиферроиках на основе бидоменных кристаллов LN / метгласа позволяют предсказывать оптимальный срез бидоменных кристаллов LN для создания МЭ сенсоров с максимальной чувствительностью к магнитному полю.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- Разработанный МЭ сенсор в форме камертона на основе бидоменного кристалла LN $y+128^\circ$ -срез/метгласа позволяет увеличить чувствительность к низкочастотному магнитному полю в 6,7 раза по сравнению с единичным МЭ датчиком. Получен патент на полезную модель (RU188677U1).
- В результате исследований предложена оптимальная структура композитного мультиферроика на основе бидоменного кристалла LN $y+128^\circ$ -среза / метгласа для создания коммерческих сенсорных приборов детектирования сверхслабых магнитных полей.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

что теоретические результаты получены с использованием автором известных и хорошо себя зарекомендовавших математических методов и подходов. Экспериментальные результаты получены с использованием современной аппаратуры. Также, некоторые результаты данной работы находятся в согласии с уже имеющимися результатами, независимо полученными другими авторами. Результаты, представленные в диссертации, опубликованы в высокорейтинговых журналах, входящих в базы данных WoS и Scopus. Полученные результаты неоднократно докладывались Турутиным А.В. на международных конференциях в виде устных докладов по теме диссертационной работы и получали положительную оценку.

Личный вклад соискателя состоит в:

планировании и проведение всех экспериментов по диссертации, разработке теоретической модели, написании научных статей, выступлении на международных конференциях, формулировке основных положений диссертационной работы.

Соискатель представил 8 опубликованных работ в рецензируемых научных изданиях из перечня, утвержденного Минобрнауки России, из которых 7 опубликованных работ в изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science, Scopus и 1 патент.

Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Турутина Андрея Владимировича соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней проведены всесторонние исследования магнитоэлектрического эффекта в композитных мультиферроиках на основе бидоменных кристаллов LiNbO_3 . При этом, впервые в качестве пьезоэлектрического слоя в композитном мультиферроике использованы бидоменные кристаллы LiNbO_3 . Разработана теоретическая модель расчёта магнитоэлектрического коэффициента для композитных структур на основе моно- и бидоменных кристаллов LiNbO_3 / метгласа. Установлено, что магнитоэлектрический коэффициент выше в композитных мультиферроиках на основе бидоменных кристаллов. В композитных мультиферроиках на основе бидоменных кристаллов LiNbO_3 y+140°-среза / метгласа достигнута рекордная чувствительность к переменному магнитному полю среди композитных мультиферроиков, которая составила 92 фТл/Гц^{1/2} при комнатной температуре на частоте резонанса 6862 Гц. Разработан и запатентован магнитоэлектрический сенсор в форме камертона на основе бидоменного кристалла LiNbO_3 y+128°-среза / метгласа.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Турутину Андрею Владимировичу ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 4, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель Экспертной комиссии

 С.И. Мухин

22.09.2021