

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

ЮФУ801.02.05,

созданного на базе Института нанотехнологий, электроники и приборостроения
Южного федерального университета, по диссертации на соискание ученой
степени кандидата наук

*аттестационное дело № _____,
решение диссертационного
совета от 07 декабря 2023 № 16*

О присуждении Малохатко Софье Владимировне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование и разработка матричных пьезоэлектрических микроэлектромеханических ультразвуковых сенсоров» по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств» принята к защите 14 сентября 2023 г. (протокол заседания № 12) диссертационным советом ЮФУ801.02.05, созданным на базе Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета приказом №235-ОД от 27 сентября 2022 г.

Соискатель Малохатко Софья Владимировна, 1993 года рождения.

В 2016 году Малохатко С.В. окончила бакалавриат федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника».

В 2018 году Малохатко С.В. окончила магистратуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника».

С 20.09.2018 г. по 30.09.2022 г. обучалась в очной аспирантуре в

Институте радиотехнических систем и управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» по направлению 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи», направленность 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах» (приказ о зачислении в аспирантуру от 20 сентября 2018 г. № 13572-к, приказ о выпуске обучающихся Института радиотехнических систем и управления от 13 октября 2022 г. №15690-к).

Малохатко С.В. работает младшим научным сотрудником лаборатории технологии функциональных наноматериалов Института нанотехнологий, электроники и приборостроения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет».

Диссертация выполнена на кафедре нанотехнологий и микросистемной техники Института нанотехнологий, электроники и приборостроения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет».

Научный руководитель – член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор Агеев Олег Алексеевич.

Официальные оппоненты:

Корляков Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры микро- и наноэлектроники, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»,

Амиров Ильдар Искандерович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией технологии микро- и наносистемной техники, Ярославский филиал федерального государственного бюджетного учреждения

науки Физико-технологического института им. К.А. Валиева Российской академии наук, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ по теме диссертации, три из них в научных изданиях, входящих в Перечень научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, представленных для защиты в диссертационные советы Южного федерального университета; пять работ опубликованных в научных изданиях, входящих в перечень ВАК и базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science; имеются восемь опубликованных материалов в трудах научных конференций; один патент РФ на полезную модель.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, виде, авторском вкладе и объёме научных изданий.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Малохатко, С. В. Проектирование и формирование кремниевых мембран для акустических датчиков / Малохатко С. В., Гусев Е. Ю., Житяева Ю. Ю. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – №6(208). – С. 53-61. – DOI: 10.23683/2311-3103-2019-6-53-61. (Список ЮФУ)

2. Influence of active structure parameters on resonant frequency of acoustic transducer membranes / S. V. Malokhatko, E. Yu. Gusev, O. A. Ageev // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2086, No 1. – Art. No 012193. – DOI: 10.1088/1742-6596/2086/1/012193. (Scopus)

3. Research of resonance frequencies of silicon membranes for a fiber-optic acoustic receiver / S. V. Malokhatko, E. Y. Gusev, O. A. Ageev, T. A. Efimov, E. A. Rassolov, R. V. Romashko // Proceedings of SPIE - International Conference on

Micro- and Nano-Electronics 2021. – 2022. – Vol. 12157. – Art. No 121570R. – P. 203-208. – DOI: 10.1117/12.2624430. (Scopus)

На диссертацию и автореферат поступило восемь отзывов, отзывы дали:

- Бухараев А.А., д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории физики и химии поверхности Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», отзыв содержит одно замечание;

- Алексеев А.Н., к.ф.-м.н., генеральный директор АО «НТО», отзыв содержит одно замечание;

- Руденко К.В., д.ф.-м.н., зам. директора по научной работе ФГБУН Физико-технологического института им. К.В. Валиева РАН Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», отзыв содержит одно замечание;

- Каменев О.Т., д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории №21 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, отзыв содержит одно замечание;

- Голосов Д.А., к.т.н., ведущий научный сотрудник Центра 2.1 «Ионно-плазменные системы и технологии» научно-исследовательской части учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», отзыв содержит три замечания;

- Воронова Н.В., к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник отдела перспективных исследований АО «НИИМЭ», отзыв содержит три замечания;

- Шерова Е.В., к.т.н., ведущий инженер-технолог АО «Таганрогский научно-исследовательский институт связи», отзыв содержит два замечания;

- Чжунцин Цзя, профессор, директор Лазерного института Шаньдунской Академии Наук, отзыв не содержит замечаний;

Все отзывы **положительные**, во всех отзывах отмечено, что работа соответствует специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

Критические замечания:

1) К недостатку работы можно отнести то, что из представленных в автореферате результатов исследований макета микроэлектромеханического сенсора непонятно, в какой среде измеряются характеристики и каков принцип действия волоконно-оптического акустического приёмника, чтобы эти измерения с определённым уровнем погрешности можно было считать достоверными.

2) В работе говорится, что «разработан и исследован макет микроэлектромеханического сенсора для волоконно-оптического акустического приёмника с повышенной в 2,8 раза чувствительностью и сниженной в 1,6 раза резонансной частоты», однако из текста автореферата непонятно, с каким устройством сравниваются характеристики.

3) В качестве недостатка следует отметить, что из текста автореферата неясно, как при исследовании макета ультразвукового МЭМС-сенсора, который состоит только из кремниевой мембраны, учитывается отсутствие пьезоэлектрического слоя.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются ведущими специалистами в областях, рассматриваемых в диссертации.

Доктор технических наук Корляков Андрей Владимирович является специалистом в области создания элементов микросистемной техники, в том числе мембранных структур на основе SiC.

Доктор физико-математических наук Амиров Ильдар Искандерович является специалистом в области создания высокоаспектных структур для микро- и наномеханических устройств.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан унифицированный технологический маршрут изготовления

многочастотных матричных пьезоэлектрических микроэлектромеханических ультразвуковых сенсоров;

предложена конструкция многочастотной матрицы пьезоэлектрических микроэлектромеханических ультразвуковых сенсоров унифицированных по параметрам преобразователей.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

установлены закономерности влияния физико-механических параметров материалов слоёв на функциональные параметры многослойных мембран с учётом их конструктивных параметров.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

предложен пороговый критерий, позволяющий оценивать влияние физико-механических параметров пьезоэлектрического слоя на функциональные параметры мембранной структуры;

разработан способ проектирования мембранных матричных пьезоэлектрических микроэлектромеханических сенсоров, отличающийся учётом влияния физико-механических параметров материалов структуры многослойных мембран, а также конструкции и параметров подвесов мембранных структур, что позволяет разрабатывать многочастотные матричные пьезоэлектрические микроэлектромеханические ультразвуковые сенсоры.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики

разработанные способ проектирования мембранных матричных пьезоэлектрических микроэлектромеханических сенсоров, а также результаты исследований влияния защитных свойств плёнок оксида кремния, концентрации и температуры щелочных растворов на морфологию поверхности кремниевых мембран **внедрены** в учебный процесс Южного федерального университета (направления подготовки «Нанотехнологии и микросистемная

техника» и «Наноинженерия», бакалавриат). **Установленные** закономерности влияния физико-механических параметров материалов и конструктивных параметров мембран на функциональные параметры матричных пьезоэлектрических микроэлектромеханических ультразвуковых сенсоров **использовались** при выполнении НИР по гранту РФФИ №20-37-90087;

установлены критические значения порогового критерия, при достижении которых на этапе проектирования многослойной мембранной структуры возможно не учитывать параметры пьезоэлектрического слоя с заданным уровнем погрешности расчётов. Показано, что критическое значение порогового критерия -0,3 дБ соответствует погрешности расчётов 3,9 %;

определены режимы отжига материалов слоёв многослойных мембран для снижения значений механических напряжений. Показано, что механические напряжения снижаются: в плёнках молибдена с $-204 \pm 5,0$ до $-79 \pm 7,0$ МПа после отжига при 240 °С, а в плёнках оксида цинка с $-716,5 \pm 0,4$ до $-457,5 \pm 0,2$ МПа после отжига при 330 °С;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теоретические результаты, а именно закономерности влияния физико-механических параметров материалов слоёв на функциональные параметры многослойных мембран с учётом их конструктивных параметров, в достаточной степени согласуются с проведенными экспериментальными исследованиями;

использовано сравнение параметров матриц микроэлектромеханических ультразвуковых сенсоров, представленных на рынке, с разработанным многочастотным матричным микроэлектромеханическим ультразвуковым сенсором;

установлено качественное совпадение результатов экспериментальных исследований с результатами исследований, представленными в независимых источниках по тематике работы;

использованы специализированное программное обеспечение и

современное высокотехнологичное технологическое и аналитическое оборудование при создании и анализе полученных структур.

Личный вклад соискателя состоит в установлении закономерности влияния физико-механических параметров материалов слоёв на функциональные параметры многослойных мембран с учётом их конструктивных параметров; разработке способа проектирования мембранных матричных пьезоэлектрических микроэлектромеханических сенсоров; проведении экспериментальных исследования влияния технологических режимов формирования на электрофизические параметры материалов структуры микроэлектромеханических сенсоров и функциональные параметры мембран.

На заседании 07 декабря 2023 г. диссертационный совет отметил, что рассматриваемая диссертация соответствует критериям раздела 2 «Положения о присуждении учёных степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет»», и принял решение **присудить** Малохатко С.В. учёную степень кандидата технических наук.

Из 11 членов диссертационного совета в тайном электронном голосовании с использованием информационно-коммуникационных технологий приняли участие 10 человек, из них 3 доктора наук по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств», участвовавших в заседании очно, 6 человек, из них 1 доктор наук по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств», участвовавших в заседании дистанционно, проголосовали: за 10, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета ЮФУ801.02.05 _____ Петров В.В.

Секретарь диссертационного совета ЮФУ801.02.05 _____ Вакулов З.Е.

