

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.233.01
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ», МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 07 апреля 2015 г. № _4/15_ о присуждении Пауткину Валерию Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка технологии формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров»

по специальности 05.11.14 — Технология приборостроения

принята к защите 17 октября 2014 года, выписка из протокола №4 диссертационным советом Д212.233.01 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Министерство образования и науки Российской Федерации, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, приказ № 421/нк от 12.08.2013 г.

Соискатель Пауткин Валерий Евгеньевич, 1976 года рождения, гражданин Российской Федерации, работает начальником сектора в открытом акционерном обществе «Научно-исследовательский институт физических измерений», г. Пенза, в 2013 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет».

В 1999 году соискатель окончил «Пензенский государственный университет» по специальности: «Микроэлектроника и полупроводниковые приборы»

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет» и Открытом акционерном обществе «Научно-исследовательский институт физических измерений», г.Пенза.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор, Аверин Игорь Александрович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет», кафедра «Нано- и микроэлектроника», заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

1. Михайлов Петр Григорьевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный технологический университет», профессор кафедры информационных технологий и систем (ИТС), профессор.

2. Филонов Олег Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», кафедра конструирования и технологии электронных и лазерных средств, доцент, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук» (ИПТМ РАН), 142432, Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д.6., в своем положительном заключении, подписанном, руководителем семинара, заведующим лабораторией теоретической физики, доктором физико-математических наук Зайцевым С.И., утвержденным Тулиным В.А., Вр.И.О. Директора ИПТМ РАН указала, что диссертация В.Е. Пауткина является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям

Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11. 14 – технология приборостроения.

Соискатель имеет 20 опубликованных статей, среди которых 4 – в ведущих рецензируемых журналах из перечня ВАК. Новизна технических решений подтверждена 4 патентами РФ на изобретения и 4 свидетельством на топологии интегральных микросхем.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Пауткин В.Е., Аверин И.А. Особенности формирования микроэлектромеханических элементов первичных преобразователей информации / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014. – № 2 (30). – С. 24–32.

2. Пауткин В.Е. Разработка технологии и специального оборудования для соединения кремния со стеклом в поле высокого напряжения // Козин С.А., Федулов А.В., Пауткин В.Е. //Датчики и системы. – №9. – 2005. – С. 46-47.

3. Пауткин В. Е. Создание полупроводниковых интегральных датчиков механических параметров на основе технологии МЭМС. / Козин С.А., Федулов А.В., Акимов И.Г., Пауткин В. Е. //Датчики и системы. – 2005.–№9.-С. 48-51.

4. Пауткин В. Е. Разработка технологии электростатического соединения многослойных стеклокремниевых структур /Косогоров В. М., Федулов А. В., Пауткин В. Е. //Датчики и системы. – 2000. – №7. – С.59-60.

5. Патент РФ № 2526789, Российская Федерация, МПК G01P15/08, G01P15/125. Чувствительный элемент интегрального акселерометра / Пауткин В.Е., Прилуцкая С.В.Заявка: 2013110978/28 от 12.03.2013, опубл. 27.08.2014, бюл.№24.

6. Патент РФ № 2504866, Российская Федерация, МПК H01L29/84. Интегральный тензопреобразователь ускорения / Пауткин В.Е. Заявка 2012122850/28 от 01.06.2012, опубл. 20.01.2014, бюл.№ 2.

7. Патент РФ№2485620 Российская Федерация, МПК H01L21/302, G01C19/22. Способ изготовления микромеханического вибрационного гироскопа / Пауткин В. Е, Мишанин А.Е., Шепталинина С.В., Николаев А.А. Заявка 2011154296/28 от 28.12.2011;

опубл. 20.06.2013, бюл. №17.

8. Патент РФ №2457577, Российская Федерация, МПК H01L29/84, G01L9/04. Многофункциональный измерительный модуль / Пауткин В.Е., Соломинская И.В. Заявка: 201111239/28 от 24.03.2011, опубл. 27.07.2012, бюл.№ 21.

9. Пауткин В.Е. Термокомпенсационный измерительный преобразователь-39 / Пауткин В.Е., Шепталина С.В., Николаев А.А. М Свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы №2012630032. Заявка №2011630105 от 28.12.2011. Опубл. 20.01.2012

10. Пауткин В.Е. Термокомпенсационный измерительный преобразователь-33 / Пауткин В.Е., Мишанин А.Е. Свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы №2011630027. Заявка №2010630103 от 25.11.2010, опубл. 27.01.2011.

11. Пауткин В.Е. Тензорезистивный преобразователь давления-32 / Пауткин В.Е., Акутина С.М. Свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы №2010630101. Заявка №2010630066 от 01.09.2010, опубл. 27.10.2010.

12. Пауткин В.Е. «Термокомпенсационный измерительный преобразователь - 23» / Пауткин В.Е., Акутина С.М., Мишанин А.Е. Свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы 2008630066. Заявка №2008630051 от 07.10.2008, опубл. 27.11.2008

13. Пауткин В.Е., Аверин И.А. Технологические особенности формирования чувствительных элементов микромеханических акселерометров /Математическое моделирование в машино- и приборостроении: сборник научных трудов Пензенского государственного университета, 2013. – №9. – С.83–91.

14. Пауткин В. Микроэлектронные датчики физических величин на основе МЭМС-технологий. /Козин С., Федулов А., Пауткин В., Баринов И. //Компоненты и технологии. – 2010. - № 1.- С. 24-27.

15. Пауткин В.Е. Датчики механических параметров на основе МЭМС – технологий / Блинов А.В., Козин С.А., Федулов А.В., Акимов И.Г., Пауткин В.Е. // Мир измерений.- 2008.- №1.- С.49- 53.

16. Пауткин В.Е. Разработка технологии электростатического соединения многослойных стеклокремниевых структур./ Косоголов В. М., Федулов А. В., Пауткин В. Е. // «Сборка в машиностроении» 2001. - №5.- С.22-26.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из 8 организаций (все отзывы положительные):

1. ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», (подписал Директор Института радиотехники и электроники, заведующий кафедрой Полупроводниковой электроники, Национального исследовательского университета «МЭИ», доктор технических наук, профессор И.Н. Мирошникова).

Замечания: 1) Автор несколько странно указывает рабочие температуры разработанного акселерометра «акселерометров, работоспособных при температурах более 100°C». Возникает вопрос: это 101 или 150 °C? Казалось бы логичнее указывать верхнее значение диапазона. 2) В автореферате имеется утверждение, что работа «соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям», а также выводы по соответствию диссертационной работы паспорту специальности.

2. ФГБОУ ВПО Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. (подписал заведующий кафедрой «Информационная безопасность автоматизированных систем» ФГБОУ ВПО Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А., доктор физико-математических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, Академик РАЕН, В.Б. Байбурин).

Замечания: В автореферате при изложении математической стороны исследуемых зависимостей не всегда уточняется (хотя в тексте диссертации, возможно, это имеет место) какие соотношения были известны, а какие получены впервые.

3. ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (подписал кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, доцент кафедры биомедицинской и полупроводниковой электроники федерального государственного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет» Н.В.

Вишняков).

Замечания: не совсем корректное использование терминов «аналитическая модель» и «технологическая модель», которые по своей сути являются физико-математическими моделями чувствительных элементов МЭМС-акселерометра, учитывающими влияние технологических режимов изготовления на электрические параметры этих элементов.

4. ОАО «АНПП «Темп-авиа», (подписал начальник отдела ОАО «АНПП Темп-авиа», кандидат технических наук Былинкин С.Ф.).

Замечания: К недостаткам автореферата следует отнести отсутствие предложений по использованию разработанных моделей к другим категориям МЭМС-датчиков, что не снижает общего характера работы.

5. Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» - НИИПМ им. академика В.И. Кузнецова, (подписал начальник отдела, кандидат технических наук Соловьев А.В., утвердил главный конструктор филиала ФГУП «ЦЭНКИ»-«НИИПМ им. академика В.И. Кузнецова» Волынцев А.А.).

Замечания: следует отметить, что в автореферате не отражена степень влияния повышенной температуры при операции электростатического соединения кремниевого чувствительного элемента со стеклом на появление термоупругих напряжений в структуре подвеса из-за разности в коэффициентах линейного расширения материалов.

6. ЗАО «Юмирс», (подписал заместитель начальника научно-исследовательской лаборатории, кандидат технических наук Матвиенко А.Е.).

Замечания: неполное описание преимущества метода анизотропного травления при формообразовании структуры кристалла ЧЭ по сравнению с другими методами, например, плазмохимического травления.

7. СПбГЭТУ ЛЭТИ, (подписал доцент кафедры микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ ЛЭТИ, кандидат физико-математических наук, доцент Александрова О.А., утвердил профессор кафедры микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ ЛЭТИ, доктор физико-математических наук, профессор Мошников В.А.).

Замечания: Автор не отметил работы, выполненные в СПбГЭТУ (ЛЭТИ).

Начиная с 70-х годов кремниевые тензодатчики успешно создавались и исследовались группой профессора Волокобинского Ю.М. и были внедрены его учеником Шишлянниковым Б.Г. в Нижнем Новгороде.

8. ОАО «Гос МКБ «Радуга» имени А.Я. Березняка (подписали начальник ЭИС-623, кандидат технических наук Н.В. Николаев, ведущий конструктор В.К. Куролес, секретарь НТС Л.А. Дергач, утвердил Генеральный директор, Председатель научно-технического совета ОАО «Гос МКБ «Радуга» им. А.Я. Березняка, доктор технических наук, Лауреат государственной премии РФ В.Н. Трусов).

Замечания: отсутствие исследований вторичного преобразователя (схемы обработки сигнала с чувствительного элемента) при воздействии температуры.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается достижениями и известностью в данной отрасли, способностью определить научную и практическую ценность диссертации и наличием публикаций в соответствующей сфере исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основе выполненных соискателем исследований:

проведен анализ методов и средств формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров с целью выбора направлений конструктивно - технологических решений, обеспечивающих измерение ускорений при температуре окружающей среды до +120 °С;

разработана и практически реализована технология формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, работоспособных при температурах до 120 °С, что позволяет создавать на их основе информационно - измерительные приборы нового поколения, работающих в специальных средах;

разработана модель управляемого технологического процесса формирования электрических свойств кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров при их

изготовлении;

разработана структурно-функциональная модель кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, отражающая учет влияния температуры на параметры чувствительного элемента;

реализована технология формирования пьезорезисторов измерительной мостовой схемы, учитывающая дестабилизирующее действие окружающих температур, и основанная на зависимости между выходными параметрами чувствительных элементов и технологическими режимами их получения;

разработаны методики и проведены исследования выходных параметров кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров при различных температурах и ускорениях для подтверждения работоспособности элементов при заданных условиях.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно и эффективно использованы численные и аналитические методы описания электрофизических свойств кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов, методы механики сплошных сред для анализа оптимальных конструктивно - технологических решений, статистические методы обработки экспериментальных данных;

определен технологический маршрут создания кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров с улучшенными выходными характеристиками;

разработана и практически реализована технология формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, работоспособных при температурах до 120 °С;

изучены взаимосвязи между технологическими режимами изготовления и выходными параметрами чувствительных элементов и воспроизведены при разработке моделей;

изложены основные методы и средства, предлагаемые для изготовления

чувствительных элементов микромеханических акселерометров;

изучены особенности технологических операций, необходимые для формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров с улучшенными выходными характеристиками;

разработана структурно-функциональная модель проектирования и изготовления кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров;

предложены методики и проведены исследования выходных параметров кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров при различных температурах и ускорениях для подтверждения работоспособности элементов при заданных условиях.

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

разработана оригинальная технология, позволяющая расширить диапазон рабочих температур до 120°C , понизить начальный выходной сигнал при воздействии температуры более чем в 3 раза (с $\pm 15\text{ мВ}$ до $\pm 4\text{ мВ}$), снизить температурную погрешность измерений в 3 раза (с $\pm 1,5\%$ до $\pm 0,5\%$) по сравнению с аналогами;

определены оптимальные технологические режимы формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, что отражается в снижении температурной погрешности;

сформулированы конкретные рекомендации по применению микромеханических акселерометров в изделиях Роскосмоса;

результаты диссертационной работы использованы на предприятии ОАО " НИИ физических измерений" (г. Пенза) при производстве кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, что подтверждается Актом о внедрении технологий, разработанных в рамках диссертационной работы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория базируется на известных, проверяемых данных и фактах, в том числе для предельных случаев, согласуется с результатами экспериментальных исследований отечественных и зарубежных научных коллективов;

установлен факт того, что выходные параметры чувствительных элементов зависят от технологических режимов получения и температуры окружающей среды, что описано математически и проверено экспериментально;

корректно использованы научные методы, современные технологии обработки информации и методы имитационного моделирования.

Личный вклад соискателя состоит в получении основных результатов, выносимых на защиту. Во всех работах, которые выполнены в соавторстве, соискатель непосредственно участвовал в постановке задач, обсуждении методов их решения, получении и анализе результатов исследований.

На заседании 7 апреля 2015 года диссертационный совет принял решение присудить Пауткину Валерию Евгеньевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.11.14, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного
совета Д 212.233.01

доктор технических наук, профессор



Ларин Валерий Павлович

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.233.01

доктор технических наук, профессор

Шелест Дмитрий Константинович