

УТВЕРЖДАЮ

Ректор
ФГБОУ ВПО «Пензенский
государственный университет»

С.Ю.Н., доцент

А.Д. Гуляков

2014



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет»
(ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»)

Диссертация «Разработка технологии формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров» выполнена в ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» кафедры «Нано- и микроэлектроника» и ОАО «НИИФИ» г. Пенза.

В период подготовки диссертации аспирант Пауткин Валерий Евгеньевич работал в ОАО «НИИФИ» в должности начальника сектора и являлся аспирантом очной формы обучения ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет».

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

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2013 году ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет».

Пауткин В.Е. окончил очную аспирантуру ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» в 2013 году.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Нано- и микроэлектроника» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» Аверин Игорь Александрович.

По результатам рассмотрения диссертации «Разработка технологии формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров» принято следующее заключение:

Диссертация является законченной научной квалификационной работой, в которой решены задачи разработки научно-обоснованных технических решений и технологии формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров для информационно-измерительных приборов изделий ракетно-космической техники (РКТ) с улучшенными выходными параметрами.

Существующие в настоящее время микромеханические пьезорезистивные акселерометры не удовлетворяют современным требованиям по работоспособности в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов, в частности при повышенной температуре. Известные пьезорезистивные акселерометры имеют в своем составе кремниевые пьезорезистивные чувствительные элементы (ЧЭ) на основе изолирующего *p-n*- перехода, что ограничивает температурный диапазон работы прибора до 85 °С. В тоже время, необходимы измерения ускорения при отладке изделий РКТ при температурах более 100°С, что возможно с использованием пьезорезистивных акселерометров.

Поэтому разработка технологии кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, работоспособных при температурах более 100 °С, является актуальной задачей, отвечающей потребностям РКТ и общепромышленного применения, соответствующей приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и Перечню критических технологий Российской Федерации, утвержденного Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. N 899, п.14 «Технологии наноустройств и микросистемной техники».

В работах, составляющих основу диссертации, автору принадлежит ведущая роль в постановке и решении задач, анализе и обобщении результатов исследований, формулировании научных выводов.

Достоверность результатов, изложенных в работе, подтверждается непротиворечивостью выводов законам физики, корректным использованием современных аналитических и расчетных методов, математическим моделированием, экспериментальными исследованиями, а также созданием и испытаниями действующих макетных образцов чувствительных элементов.

В комплексе результатов теоретических и экспериментальных исследований, проведенных Пауткиным В.Е., при выполнении диссертационной работы, существенно новыми являются следующие положения:

1. Впервые разработана оригинальная технология изготовления пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, работоспособных при температурах более 100°С, в отличие от известных технологий изготовления микромеханических акселерометров пьезорезисторы измерительной мостовой схемы формируются в виде пленки поликристаллического кремния на слое диоксида кремния, исключая обратно-смещенные *p-n* – переходы, что позволяет расширить температурный диапазон измерений с 85 до более 100°С и снизить начальный выходной сигнал при воздействии повышенной температуры с ±15 мВ до ±4 мВ, а температурную погрешность измерений с ±1,5 % до ±0,5%.

2. Разработана оригинальная аналитическая модель управления электрическими параметрами кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов за счет выбора технологических режимов изготовления, в отличие от известных учитывающая влияние температуры окружающей среды на

выходные параметры чувствительного элемента, что обеспечивает создание кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, работоспособных при температурах более 100⁰С.

3. На основе разработанной аналитической модели управления впервые установлены закономерности между технологическими режимами изготовления и выходными параметрами кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, работоспособных при температурах более 100⁰С, учитывающие технологические режимы получения и воздействие температуры окружающей среды на выходные параметры чувствительного элемента, что обеспечивает развитие научных основ создания новых технологий информационно-измерительных приборов нового поколения.

4. Разработана технологическая модель кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, учитывающая влияние температуры на параметры чувствительных элементов, что позволило разработать технологию кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, работоспособных при температурах более 100⁰С.

Степень научной новизны диссертации подтверждается опубликованными работами, а также тем фактом, что она обоснована и экспериментально подтверждена.

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований автора (в соавторстве) использованы при разработке чувствительных элементов микромеханических акселерометров с расширенным до 120 °С диапазоном рабочих температур.

Практическая ценность работы:

1. Разработана оригинальная технология и впервые изготовлены кремниевые пьезорезистивные чувствительные элементы микромеханических акселерометров с расширенным диапазоном рабочих температур более 100⁰С и пониженным начальным выходным сигналом более чем в 3 раза (с ±15 мВ до ±4 мВ) при воздействии температуры и температурной погрешностью измерений меньшей в 3 раза (с ±1,5 % до ±0,5%) по сравнению с аналогами.

2. В рамках технологической модели разработана топология кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, работоспособных при температурах более 100⁰С, обеспечивающая увеличение чувствительности на 10% по сравнению с существующими аналогами.

3. Результаты, полученные в диссертационной работе, внедрены на предприятии ОАО "НИИФИ" (г. Пенза) при производстве кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, что подтверждается соответствующими документами.

4. Результаты диссертационной работы используются в конструктивно-технологических решениях приборов, разрабатываемых в рамках НИОКР в интересах Роскосмоса.

По материалам диссертационной работы Пауткиным В.Е. опубликовано 20 статей, среди которых 4 – в ведущих рецензируемых журналах из перечня ВАК. Новизна технических решений подтверждена 4 патентами РФ на изобретения и 4 свидетельствами о государственной регистрации топологии интегральных микросхем.

К публикациям, отражающим основное содержание диссертационной работы Пауткина В.Е., относятся:

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 / Косогуоров 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., Шепталиня 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: 2011111239/28 от 24.03.2011, опубл. 27.07.2012, бюл.№ 21.
9. Пауткин В.Е. Термокомпенсационный измерительный преобразователь-39 / Пауткин В.Е., Шепталиня С.В., Николаев А.А. / 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, опублик. 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, опублик. 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, опублик. 27.11.2008

Вышеизложенный список публикаций позволяет сделать вывод о полноте опубликования научных результатов соискателя.

Диссертационная работа Пауткина В.Е. соответствует паспорту специальности 05.11.14 – Технология приборостроения: п. 1 – Разработка научных основ технологии приборостроения при создании нового поколения чувствительных элементов микромеханических акселерометров; п.3 – Разработка и исследование методов и средств повышения надежности микромеханических акселерометров; п.5 – Разработка и исследование методов организации технологической подготовки приборостроительного производства, удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация «Разработка технологии формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров» Пауткина Валерия Евгеньевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.14 – Технология приборостроения.

Диссертационная работа рассмотрена и обсуждена на расширенном заседании кафедры «Нано- и микроэлектроника» (протокол №8 от 28.03.2014) в присутствии 10 чел. Голосовали: «за» - 10, «против» - нет, «воздержались» - нет.

Д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой
«Нано- и микроэлектроника»,
ФГБОУ ВПО «Пензенский
государственный университет»

И.А. Аверин

Ассистент, секретарь кафедры
«Нано- и микроэлектроника»,
ФГБОУ ВПО «Пензенский
государственный университет»

Т.Н. Рыжова

