

Вр.И.О. директора ИИТМ РАН

В.А.Тулин

2015 года

ОТЗЫВ

ведущей организации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук (ИПТМ РАН) на диссертационную работу Пауткина Валерия Евгеньевича на тему "Разработка технологии формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров", представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.14 – «Технология приборостроения»

Актуальность темы выполненной работы:

Развитие датчиковой аппаратуры имеет важное практическое значение. В современном мире невозможно представить отрасль промышленности, в которой не использовались бы датчики для контроля и измерений параметров технологических процессов, контроля состояния параметров технологического оборудования, установок, зданий и сооружений. Одним из наиболее широко используемых классов датчиков являются акселерометры. Они предназначены для контроля параметров движения объектов, при этом они могут использоваться в качестве датчиков угла наклона, а также проводить измерение высокочастотной вибрации и измерение ударных процессов.

Микромеханические (на основе кремниевых чувствительных элементов) акселерометры используются в НИОКР предприятий для контроля параметров разрабатываемых изделий. Особенно это важно для авиационной и ракетно-космической техники.

Использование кремниевых чувствительных элементов акселерометров позволяет снизить габариты датчиков, их энергопотребление, повысить надежность при эксплуатации. Немаловажен тот факт, что использование кремниевой технологии при изготовлении акселерометров позволяет снизить стоимость изготовления чувствительных элементов в силу массовости производства.

В связи с развитием и усложнением уровня техники возникает необходимость в постоянном совершенствовании акселерометров, улучшения их характеристик и повышение надежности при эксплуатации.

Поэтому, разработка технологии кремниевых чувствительных элементов акселерометров, в данном случае пьезорезистивного типа, является актуальной задачей, так как

именно от уровня развития и отработанности технологии зависят параметры изготавливаемых акселерометров.

Разработка технологии микромеханических акселерометров соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и Перечню критических технологий Российской Федерации, утвержденный Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. N 899, п.14 «Технологии наноустройств и микросистемной техники».

Считаю, что представленная работа имеет актуальность и соответствует задачам совершенствования разрабатываемых датчиков для нужд народного хозяйства.

Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации:

В своей работе Пауткин В.Е. предложил технологические методы расширения температурного диапазона измерений, снижения начального выходного сигнала и температурной погрешности измерений при воздействии температуры.

Новизна исследований заключается в следующем:

- впервые для микромеханических акселерометров разработана оригинальная технология изготовления, объединяющая объемную (анизотропное травление структур кремниевого кристалла чувствительного элемента) и поверхностную (формирование измерительной схемы из пленки поликристаллического кремния) микрообработку кремния;

- на основе серии проведенных практических экспериментов разработана аналитическая модель управления параметрами чувствительного элемента на этапе технологического процесса изготовления;

- для чувствительных элементов микромеханических акселерометров установлены закономерности между технологическими режимами формирования (варьирование температурами осаждения и отжига пленки поликристаллического кремния) и выходными параметрами чувствительных элементов (зависимость начального выходного сигнала от температуры, зависимость чувствительности от ускорения);

- разработана технологическая модель чувствительных элементов, позволяющая оценить влияние технологических операций на параметры чувствительных элементов.

При выполнении работ Пауткиным В.Е. получены следующие результаты:

- в результате анализа конструктивно-технологических решений изготовления чувствительных элементов микромеханических акселерометров выявлены основные технологии формирования, их преимущества и недостатки с точки зрения технологичности;

- разработана и, что немаловажно, практически реализована технология формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров, работоспособных при температурах более 100°C;

- изготовлены кремниевые пьезорезистивные чувствительные элементы микромеханических акселерометров и проведены их исследования по разработанным методикам. Проведенные исследования показывают снижение начального выходного сигнала чувствительных элементов с ± 15 мВ до ± 4 мВ при воздействии температуры и температурную погрешностью измерений с $\pm 1,5$ % до $\pm 0,5$ % по сравнению с чувствительными элементами – аналогами (выполненными по диффузионной технологии).

Необходимо отметить, что разработанная аналитическая модель позволяет прогнозировать характеристики чувствительных элементов в зависимости от режимов их формирования, а технологическая модель позволяет оптимизировать конструктивно-технологические решения для формирования чувствительных элементов с заданными параметрами.

Подтверждением новизны является получение автором при выполнении работы свидетельства о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы и патента на изобретение.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям:

Диссертационная работа Пауткина В.Е. является законченной научной квалификационной работой, в ней решены задачи разработки и обоснования конструктивно-технологических решений и технологии формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров.

Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Результаты работы имеют научную и практическую значимость, актуальны для развития технологий приборостроения.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.11.14 «Технология приборостроения», так как в ней отражены вопросы, касающиеся разработки технологии кремниевых чувствительных элементов с расширенным диапазоном измерений, что повышает их надежность при эксплуатации по сравнению с аналогами.

Замечания по диссертации:

1. Недостаточно подробно раскрывается технология наращивания слоев поликристаллического кремния, указанные разбросы поверхностного сопротивления превышают по величине известные аналоги.

2. На приведенных графиках не указаны разбросы величин измеряемых ускорений.

3. В сводной таблице сравнения параметров созданного акселерометра с его аналогами других производителей физические величины приведены в различных единицах измерений.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными для общей положительной оценке работы. В целом диссертация представляет собой подробное разностороннее исследование, выполненное на высоком научном и технологическом уровне.

Значимость для науки и производства полученных соискателем результатов:

Значимость полученных результатов заключается в разработке оригинальной технологии изготовления кремниевых чувствительных элементов с расширенным более 100°C диапазоном измерений, разработке аналитической модели управления параметрами чувствительных элементов, что позволяет прогнозировать их характеристики на этапе технологического процесса изготовления.

Результаты, полученные в диссертационной работе, внедрены на предприятии ОАО "НИИФИ" (г. Пенза) при производстве кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров. При выполнении работы разработана топология чувствительных элементов, которая позволяет повысить чувствительность кремниевых микромеханических акселерометров.

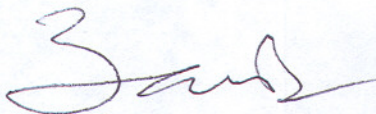
Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы:

Результаты работы рекомендованы к использованию на предприятиях, производящих микромеханические акселерометры – ОАО «НИИФИ» (г. Пенза), ОАО «АНПП «Темп-авиа» (г. Арзамас). Также научным коллективам ОАО «НИИФИ» и ФГБОУ «Пензенский государственный университет» рекомендовано продолжить исследования технологических процессов формирования чувствительных элементов и их влияние на параметры изготавливаемых датчиков.

На основании изложенного можно заключить, что диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Пауткин Валерий Евгеньевич, заслуживает присуждения искомой степени.

Диссертационная работа Пауткина В.Е. "Разработка технологии формирования кремниевых пьезорезистивных чувствительных элементов микромеханических акселерометров" заслушана и обсуждена на заседании Физического семинара Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН протокол № 8 от 24 декабря 2014 года.

Руководитель семинара
Зав.лаб. теоретической физики
Доктор физ.-мат. наук



Зайцев Сергей Иванович

Отзыв заслушан и утвержден на заседании Ученом совете Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН протокол № 1 от 19 января 2015 года.

142432, Московская обл., г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д.6, ИПТМ РАН
тел.8(496)52 440-60
e-mail: general@iptm.ru