

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Козлова Александра Ипатьевича «Исследования и разработка мембранных тензопреобразователей давления», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

### 1. Актуальность темы диссертации

Тема диссертационной работы автора соответствует одному из важных направлений области приборостроения – исследование, проектирование и производство перспективной датчиковой аппаратуры на основе достижений технологии кремниевой микроэлектроники.

Датчики являются важнейшими элементами информационно-измерительных систем, систем автоматического управления технологическими процессами, аналитических измерений. Среди большого разнообразия датчиков неэлектрических величин датчики давления (ДД) занимают ведущее место по номенклатуре и объемам производства. Они находят широкое применение практически во всех отраслях экономики: энергетика, в том числе атомная, нефтегазодобыча и переработка, авиационная и ракетно-космическая техника, медицина, научные исследования и др.

Основными задачами, которые должны решаться при создании ДД являются:

- повышение точности измерения;
- повышение быстродействия;
- повышение термоустойчивости в расширенном диапазоне температур, в том числе при нестационарном воздействии;
- снижение энергопотребления, массы, габаритов и стоимости;
- повышение стойкости к воздействию механических факторов (вибрации, удары, акустика);
- повышению стойкости к воздействию электромагнитных полей и радиационным излучениям.

При конструировании и производстве различных ДД наибольшее распространение имеют датчики с тензометрическими преобразователями (ТП) и мембранными упругими элементами (УЭ), на которых размещены тензорезисторы жестко связанные с мембраной.

Одним из типов таких тензопреобразователей являются ТП на основе гетероэпитаксиальных структур кремния на сапфире (КНС), которые обладают целым рядом достоинств (высокая перегрузочная способность, высокое сопротивление изоляции и чувствительность, высокая радиационная стойкость, работоспособность в широком диапазоне температур).

Диссертационная работа А.И. Козлова направлена на теоретические и экспериментальные исследования различных вариантов ТП чашечного типа на основе структур КНС. В работе решаются вопросы улучшения метрологических характеристик по снижению температурных погрешностей и расширению диапазонов измерения.

Диссертационная работа А.И. Козлова является актуальной.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Полученные в диссертационной работе теоретические, практические результаты и выводы обоснованы с позиций методологии исследования, основаны на корректных исследованиях основных принципов построения элементов и устройств вычислительной техники и систем управления, теории планирования эксперимента, теории системного анализа и теории тепломассообмена и проч.

При аппаратно-программной реализации исследования диссертантом использованы технологии объектно-ориентированного программирования.

Материалы диссертации соответствуют основным научно-техническим положениям проектирования датчиковой аппаратуры, что подтверждено публикациями автора в различных научно-технических изданиях.

## **3 Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научную новизну диссертационных исследований составляют:

1 Впервые экспериментально исследованы распределения изменения сопротивления тензорезисторов под действием давления и температурных коэффициентов сопротивления тензорезисторов по поверхности УЭ чашечного типа для одно- и двухмембранных ТП.

2. По результатам исследований показано, что для получения адекватных результатов численного моделирования упругих деформаций недостаточно рассматривать только сам УЭ, при расчете профилей УЭ необходимо учитывать весь ТП в целом.

3. По результатам исследований получены конструктивные решения оптимизации ТП, позволяющие значительно повысить их метрологические характеристики.

4. Предложенная в диссертации методика экспериментального определения распределения деформаций в круглой мембране ТП давления имеет научное и практическое значение. Данная методика может использоваться для отладки и проверки адекватности математических моделей ТП давления с УЭ чашечного типа

Наиболее значимыми и новыми результатами работы являются:

1 Теоретические и экспериментальные исследования подтверждены тем, что деформации УЭ распространяются за границы мембраны, особенно при больших значениях отношения толщины мембраны к его диаметру.

2. Полученные автором графики смещения положения экстремума тензочувствительности от края упругой мембраны в зависимости от радиуса и толщины мембраны, могут быть использованы при проектировании ЧЭ ТП давления, что существенно может снизить трудоемкость их проектирования.

3. Большой объем экспериментальных исследований проведенных на моделях и опытных образцах ТП с получением корректных результатов

анализа, подтверждающих основные теоретические положения и выводы диссертации.

#### **4. Практическая значимость работы**

Наиболее значимыми практическими результатами работы являются:

1. Оптимизация конструкций УЭ ТП, благодаря чему удалось снизить нелинейность (в 1,2 – 1,6 раза) и вариацию (в 3-5 раз) выходного сигнала серийных ТП.

2. Разработка модифицированного ЧЭ на основе КНС с пониженным дрейфом начального сигнала (в 2,5-3 раза).

3. Разработка полупроводникового ЧЭ (ПЧЭ) на основе КНС имеющего в 3,3 раза меньшую площадь, по сравнению с ранее использованными ПЧЭ, что позволило:

-вдвое уменьшить нижний предел измеряемого давления ДД МИДА;

-заменить двухмембранный измерительный узел на более технологически простой одномембранный.

4. Разработанный автором ПЧЭ с оптимизированной топологией внедрен в серийное производство ТП и ДД, а также может быть применен при разработке и производстве ДД на других смежных предприятиях, например, предприятиях разрабатывающих и изготавливающих ДД для авиационной и ракетно-космической техники.

#### **5 Оформление материалов диссертации**

Материалы диссертации и автореферата изложены квалифицированно, логично, грамотным литературно-техническим языком. Диссертация сопровождается достаточным количеством хорошо оформленного иллюстрированного материала. Следует отметить, как положительную сторону использования автором при оформлении диссертации современных графических редакторов.

#### **6.Замечания к диссертационной работе**

1. Гл. 1 Нет обоснования выбора металлического материала мембраны и корпуса ТП, в сравнении с другими материалами, на пример, элинварными сплавами.

2. Стр. 53 Рис. 2.1., стр. 89, рис.44. Нет обозначения топологических элементов на тестовой структуре и серийных ПЧЭ (контактные площадки, тензорезисторы).

3. Не приведены значения мощности рассеивания тензорезисторов, удельной тепловой нагрузки, температуры и соответственно допустимого тока нагрузки.

4. стр.80 рис. 38 Вывод о том, что распределение разности ТКС тензорезисторов практически не зависит от толщины чашки ПЧЭ. может быть справедливым только при воздействии стационарных температур.

5. Нет данных по номинальным значениям коэффициентов тензочувствительности и относительного изменения сопротивлений тензорезисторов на исследованных топологиях ПЧЭ.

6. Нет расчетов и экспериментальных исследований по динамическим характеристикам т ТП, что снижает практическую ценность работы.

### **Заключение по диссертации.**

Отмеченные недостатки не снижают научной ценности и общие положительные оценки оппонируемой диссертации.

Положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достоверны и отличаются новизной.

Диссертация Козлова А.И. является законченной научно-исследовательской работой, а результаты научно-технических решений и экспериментальных исследований вносят значительный вклад в развитие проектирования и производство датчиковой аппаратуры - важного направления приборостроения.

По основным научным результатам диссертации опубликованы 10 работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК. Разработанные модели, конструкции ПЧЭ и методики исследований внедрены в серийное производство датчиков на предприятии ЗАО «Мидаус».

Автореферат в достаточной мере отражает содержание диссертации.

На основании изложенного считаю, что диссертация А.И. Козлова по актуальности, научно-техническому уровню и практическому значению соответствует «Положению о порядке присуждения ученой степени» утвержденный Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24. 09.2013., а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Официальный оппонент:

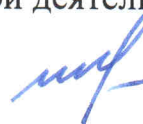
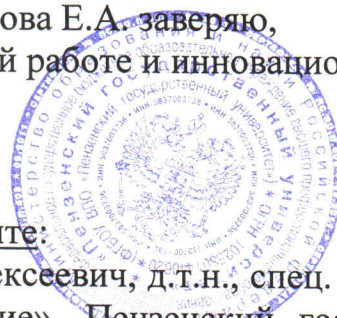
Профессор, доктор технических наук,  
заслуженный деятель науки



Е.А. Мокров

Подпись проф. Мокрова Е.А. заверяю,

проректор по научной работе и инновационной деятельности ПГУ  
профессор, д.т.н.



И.И. Артемов

### Сведения об оппоненте:

Мокров Евгений Алексеевич, д.т.н., спец. 20.02.25. и 20.02.16., профессор кафедры «Приборостроение», Пензенский государственный университет, г. Пенза, ул. Красная, д. 40, тел. (8412)36-82-25