

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу Савченко Евгения Геннадьевича «Улучшение метрологических и эксплуатационных характеристик преобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

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 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 датчиков давления 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 датчиков давления наибольшее распространение имеют датчики с тензометрическими преобразователями (ТП) и мембранными упругими элементами, на которых размещены тензорезисторы жёстко связанные с мембраной.

Одним из наиболее популярных типов таких тензопреобразователей являются ТП на основе гетероэпитаксиальных структур «кремний 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 Е.Г. Савченко направлена на совершенствование метрологических и эксплуатационных характеристик преобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире» путём выбора наилучших материалов упругих элементов и их соединения с сапфиром. В работе решаются вопросы улучшения точности тензопреобразователей давления и расширению их температурного диапазона эксплуатации.

Диссертационная работа Е.Г. Савченко является актуальной.

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 прочностного анализа и проч.

Материалы диссертации соответствуют основным научно-техническим положениям проектирования датчиковой аппаратуры, что подтверждено 18-ю публикациями автора в различных научно-технических изданиях.

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

Научную новизну диссертационных исследований составляют:

1. Впервые детально исследован слой, соединяющий мембрану из титанового сплава с сапфировой подложкой чувствительного элемента мембранного датчика давления, и установлено что при стандартной пайке припоем ПСр72 в соединительном слое четко выделяются три области различной толщины с резко различающимся составом и механическими свойствами
2. Экспериментально доказано, что оптимальной микроструктурой титанового сплава для упругой мембраны тензопреобразователей давления на основе структур КНС, обеспечивающей минимальные остаточные напряжения и статические погрешности датчиков является мелкозернистая структура 1–3 балла глобулярного типа.

Наиболее значимыми и новыми результатами работы являются:

1. Показано, что недостатки соединения подложки с мембраной на основе припоя ПСр72, обусловленные неоднородностью его состава по толщине, можно устранить, используя высокотемпературную вакуумную пайку аморфными припоями марки СТЕМЕТ на основе титана и циркония, при этом соединительный слой однороден по химическому составу и механическим свойствам, имеет микротвёрдость больше микротвёрдости титанового сплава, что препятствует возникновению в нём пластических деформаций и ползучести при механическом нагружении.
2. Теоретически обоснован и практически исследован техпроцесс термомеханической стабилизации тензопреобразователей с помощью которого удалось расширить температурный диапазон работы высокоточных ТП давления до 350 °С.

Практическая значимость работы.

Наиболее значимыми практическими результатами работы являются:

1. Благодаря уменьшению гистерезиса первого нагружения (параметр, который не поддается схемотехнической и программной коррекции) в 50-100 раз при отрицательных температурах в ТП с усовершенствованным соединением, удалось разработать и освоить выпуск датчиков давления, работающих при криогенных температурах (до -200 °С), а также существенно улучшить характеристики общепромышленных датчиков.
2. Изменённое соединение лейкосапфира с упругой мембраной позволило в 4–7 раз снизить вариацию и гистерезис выходного сигнала ТП, особенно при отрицательных температурах. Это привело к повышению точности датчиков на основе таких ТП.
3. Разработаны ТП и датчики давления на основе КНС, работающие до температуры 350 °С, для измерения давления расплавов полимеров и эталонные датчики давления с точностью 0,01–0,05%. Эти приборы освоены в серийном производстве ПГ МИДА.

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.

Замечания к диссертационной работе.

1. В работе отсутствует сравнительная оценка технических характеристик датчиков давления с улучшенных тензопреобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире» с датчиками давления иностранных производителей.
2. Имеются замечания по оформлению иллюстраций (стр. 102, 109). Слишком большое количество информации в одной иллюстрации, лучше было бы представить данные с помощью большего числа рисунков.
3. В работе отсутствуют данные о наличии либо отсутствии таких нерегламентированных погрешность тензопреобразователей давления как гистерезис первого нагружения и

температурный гистерезис в датчиках давления, построенных на других чувствительных элементах (емкостные, вибрационно-частотные, кремниевые, металлопленочные, керамические и др.).

4. Из работы неясно может ли быть разработанная автором методика термомеханической стабилизации применима к другим измерителям давления мембранного типа.
5. Учитывая практическую направленность работы, патентоспособные результаты, имеющие новизну, целесообразно запатентовать.

Заключение по диссертации.

Отмеченные недостатки не снижают научной ценности диссертационной работы и общую положительную оценку оппонируемой диссертации.

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

Диссертация Савченко Е.Г. 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 опубликовано 18 печатных работ, в том числе 9 статей в журналах из перечня российских рецензируемых научных журналов по списку ВАК, 2 статьи в журналах, индексируемых в SCOPUS. Разработанная методика термомеханической стабилизации и тензопреобразователи с улучшенными метрологическими и эксплуатационными характеристиками внедрены в серийное производство датчиков на предприятии ООО «Мидаус», которое успешно конкурирует с ведущими мировыми компаниями в области датчиков давления.

Автореферат в достаточной мере отражает содержание диссертации, а её содержание соответствует специальности 05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

На основании изложенного считаю, что диссертация Е.Г. Савченко «Улучшение метрологических и эксплуатационных характеристик преобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире» соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук: п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор Савченко Е.Г. заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по заявленной специальности.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, спец. 05.13.05,
доцент, профессор кафедры авиационной
техники Федерального государственного
бюджетного учреждения
высшего профессионального образования
«Ульяновский институт гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева»


И.В. Антонев

30 ноября 2021 г.

Подпись доцента Антонца И.В. удостоверяю:
Ученый секретарь Ученого совета УИГА
канд.тех.наук, доцент


Д.И. Сагитов

Сведения об оппоненте:
Антонев Иван Васильевич



доктор технических наук, спец. 05.13.05,
доцент, профессор кафедры авиационной техники Федерального
государственного бюджетного учреждения высшего
профессионального образования «Ульяновский институт гражданской
авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева»,
432071, Приволжский федеральный округ, Ульяновская область, город
Ульяновск, улица Можайского, дом 8/8,
тел.: +7(8422)39-81-23, web-сайт: <http://www.favt.ru>, e-mail: rusavia@scaa.rus