

Отзыв официального оппонента на диссертацию

Скворцова Павла Аркадьевича

**«Разработка методики расчета и проектирования упругого элемента тензодатчика на структуре «кремний на сапфире»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры**

Актуальность темы

Вопросы точного измерения давления затрагивают различные отрасли современной промышленности. Рассматриваемый в диссертационной работе полупроводниковый тензодатчик на структуре «кремний на сапфире», предназначенный для измерения давления, применяется, в частности, в авиационных двигателях, на установках нефтедобычи, где играет весьма важную роль. Степень точности расчета подобного рода устройств должна быть максимально высока и должна учитывать режим работы устройства в условиях широкого диапазона температур, химического и радиационного воздействия. На сегодняшний день в России имеется отлаженное производство полупроводниковых датчиков на структуре «кремний на сапфире», но вопросам расчета упругих элементов должное внимание до сих пор не было уделено. Конструкция датчика разработана на основе экспериментальных методов, которые не учитывают все особенности нелинейного деформирования упругого элемента. Ввиду этого созданная в диссертационной работе методика расчета и проектирования позволяет решать актуальную задачу анализа конструкции, а также синтезировать новые варианты, превосходящие исходный вариант по всем параметрам качества. Созданная в диссертационной работе методика расчета и проектирования реализована в виде авторской программы, внедрена в расчетную практику предприятия ЭПО «Сигнал» (г. Энгельс), что подтверждает эффективность предложенного решения.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Основные научные положения и выводы, изложенные в работе, подтверждены результатами проведенных теоретических и экспериментальных исследований. Теоретические положения работы основаны на результатах аналитических расчетов с использованием теории изгиба круглых пластинок и результатах численного моделирования в программно-вычислительном комплексе ANSYS. В результате экспериментальных исследований уточнены механические свойства припоя, измерена толщина слоя кремния и сапфира, а также испытана партия датчиков с оптимизированной геометрией упругого элемента. Результаты работы прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в научных изданиях. Научная новизна работы заключается в использовании метода исследования пространства параметров для разработки авторской методики проведения многокритериальной оптимизации упругого элемента тензодатчика на структуре «кремний на сапфире», в создании авторской программы, являющейся приложением к программно-вычислительному комплексу ANSYS, осуществляющей многокритериальное проектирование упругого элемента, в получении новых рациональных вариантов конструкций упругого элемента тензодатчика на структуре «кремний на сапфире».

Структура и оформление диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 153 страницы машинописного текста, содержащего 106 рисунков, 5 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель исследования, указана практическая значимость выполненной работы и приведена ее научная новизна.

Первая глава посвящена обзору наиболее известных и нашедших применение Отечественных и зарубежных конструкций полупроводниковых тензодатчиков с различными чувствительными элементами, описаны основные преимущества тензодатчиков, выполненных на структуре «кремний на сапфире», рассмотрен вопрос основных погрешностей при измерении давления, а также приведены результаты последних исследований тензопреобразователей на структуре «кремний на сапфире».

Во второй главе диссертационной работы приведен прочностной расчет упругого элемента мембранного типа по различным теориям изгиба круглой пластинки, вычислены напряжения и деформации, возникающие в радиальном и окружном направлениях.

В третьей главе автором проведено исследование чувствительного элемента рассматриваемого тензодатчика методом растровой электронной микроскопии, получены фотографии границы сапфир-кремний, проведены точные измерения слоя кремния и толщины сапфировой подложки. В данной главе автором для определения прочностных свойств экспериментально при помощи разрывной машины исследована тестовая партия образцов, выполненных из сплава, родственного по химическому составу серебряному припою ПСр72. Определен предел прочности, предел текучести и модуль упругости исследуемого материала.

Четвертая глава содержит описание процесса численного моделирования двухмембранного упругого элемента. Расчет, при котором учитывалось не только давление, но и действие температуры, был произведен в геометрически нелинейной постановке. Также было исследовано влияние величины размерных допусков на выходную характеристику датчика. Рассмотрено влияние геометрических размеров мембран на напряженно-деформированное состояние поверхности измерительной мембраны.

В пятой главе приведено описание алгоритма оптимизации, а также выполнен оптимизационный расчет. Полученные результаты свидетельству-

ют о возможности незначительного изменения конструкции, что приведет к увеличению выходного сигнала и уменьшению его нелинейности.

В шестой главе приведено сравнение исходной конструкции упругого элемента с конструкциями, полученными в ходе оптимизации, даётся рекомендация об изменении расположения тензорезисторов в чувствительном элементе, даётся оценка экономического эффекта от оптимизации. В главе описана методика проверки тестовой партии датчиков, а также приведены результаты испытаний, свидетельствующие об улучшении конструкции.

В разделе «Выводы по работе» представлены основные результаты, полученные на основе проведенных исследований.

Теоретическая значимость результатов работы

На основе проведенного прочностного расчета становится возможным установить связь между геометрией конструкции, физическими свойствами материалов и функциональными характеристиками датчика.

Практическая значимость результатов работы

Разработанная авторская программа успешно может быть использована производителями датчиков давления мембранного типа. При применении программы для оптимизации упругого элемента в датчиках на структуре «кремний на сапфире» производители получают рекомендации относительно расположения и ориентации тензорезисторов, что в конечном итоге позволит получить увеличение выходного сигнала и уменьшение нелинейности выходной характеристики.

Рекомендации по использованию результатов
диссертационного исследования

Авторская программа, созданная в диссертационном исследовании, может быть успешно применена в расчетной практике предприятий, занимающихся производством датчиков давления, в частности: ООО «Глобал-Тест» г. Саров, ООО «Электронные технологии и метрологические системы» г. Зеленоград, ООО «Эл-Скада», г. Пермь, НПК «Технологический центр» г. Зеленоград, АО НПК «ВИП», г. Екатеринбург.

Замечания по работе

1. На стр. 6 для обоснования актуальности темы диссертации дается ссылка на реферативную базу данных SCOPUS. Однако, как следует из подрисуночной надписи на рис. 1.1, эти публикации относятся к исследованию структуры датчиков давления КНС, и не ясно, как это связано с задачами прочности и деформативности ответственных элементов рассматриваемых конструкций, т.е., насколько они соответствуют научной специальности, по которой представлена диссертационная работа.

2. В разд. 2.1 представлены результаты решения осесимметричной задачи для круговой защемленной по краям пластины под действием поверхностного давления в линейной и геометрически нелинейной постановке. Однако, поскольку отсутствуют ссылки на первоисточники, представляется весьма затруднительно оценить личный вклад автора как в постановку задачи, так и представленные разрешающие уравнения и соотношения – полностью ли они взяты из других работ, или автор дорабатывал их с учетом особенностей исследуемых конструкций. Кроме того, для обоснованности и достоверности, представленных результатов следовало бы провести их сопоставление с результатами других авторов, например, см.: «Статика и динамика тонкостенных оболочечных конструкций / А.В. Кармишин, В.А. Лясковец, В.И. Мяченков, А.Н. Фролов. - М.: Машиностроение, 1975. - 376 с.», где на стр. 138 представлены результаты решения для кольцевой пластины с жестким цен-

том по линейной и геометрически нелинейной теории в рамках модели Кирхгоффа-Лява, полученные методом последовательных приближений. Также следовало бы сделать вывод, какая из представленных математических моделей наиболее точно описывает особенности деформирования рассматриваемых конструкций, исходя из условий их эксплуатации – характерных значений давления, температурных полей и т.п.

3. Представленные на рис. 3.15-3.17 результаты экспериментального определения на 10 образцах модуля упругости, предела прочности и предела текучести серебряного припоя ПСР 72 имеют достаточно большой разброс значений, поэтому не ясно, чем руководствовался автор (критерием, методом и т.п.) при назначении конкретных значений этих характеристик припоя для проведения дальнейших исследований.

4. При проведении прочностного расчета и последующей оптимизации автором не рассматривалось явление гистерезиса.

Указанные замечания носят, в основном, рекомендательный характер и не снижают в целом общей высокой оценки диссертационной работы Скворцова П.А.

Заключение

Диссертационная работа Скворцова П.А. представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится новое решение актуальной задачи, имеющей существенное значение для различных отраслей промышленности и связанной с проектированием рациональных конструкций упругого элемента полупроводникового тензодатчика на структуре «кремний на сапфире». Автореферат в достаточной степени соответствует содержанию диссертации. По результатам диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 2 статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ, 3 статьи в журналах, индексируемых SCOPUS, а также получен акт о внедрении результатов работы.

Диссертация полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Скворцов Павел Аркадьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры «Машиноведение и детали машин»

ФГБОУ ВО Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет) МАИ (НИУ)

125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, А-80, ГСП-3

Дмитриев Владимир Георгиевич

Телефон: +7 985 129-07-79

e-mail: vgd2105@mail.ru



29. 11. 2019 г.

Подпись Дмитриева В. Г. удостоверено

Директор Дирекции №9 МАИ (НИУ)



Л.Н. Рабинский