

Отзыв официального оппонента на диссертацию
Скворцова Павла Аркадьевича
«Разработка методики расчета и проектирования упругого элемента
тензодатчика на структуре «кремний на сапфире»,
представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и
аппаратуры»

Актуальность темы

В настоящее время вопрос повышения точности расчета упругих элементов датчиков давления продолжает оставаться весьма актуальным. Конструкция упругого элемента влияет на величину выходного сигнала, его нелинейность и существенно влияет на точность устройства. Несмотря на достаточную освещенность темы расчета упругих элементов в литературе на практике проектирование зачастую осуществляется опытным путём, что приводит к излишним затратам и не даёт оптимального результата. В связи с этим тема диссертационной работы Скворцова П.А. является актуальной, а созданная авторская программа, как приложение к известному программному комплексу ANSYS, позволяет провести уточненный прочностной расчет двухмембранного упругого элемента полупроводникового тензодатчика на структуре «кремний на сапфире» и решить задачу оптимизации конструкции. Авторская программа позволяет получать Парето-оптимальные варианты конструкции с параметрами качества, превосходящими исходный вариант.

Оценка содержания диссертации, ее целостность и завершенность

Диссертационная работы содержит – введение, шесть глав, заключение, список литературы из 137 наименований, два приложения. Общий объем работы насчитывает 153 страницы, 106 рисунков, 5 таблиц.

Во введении дано обоснование актуальности диссертационной работы, постановка цели, выбор объекта и предмета исследования, оценка научной новизны. Актуальность работы подтверждается приведенными данными из реферативной базы данных SCOPUS, статистический анализ публикаций, связанных с исследованием структуры КНС на основе реферативной базы данных SCOPUS, что подтверждает актуальность работы.

В первой главе дан подробный обзор конструкций существующих полупроводниковых тензодатчиков, а также литературный обзор вопроса проектирования полупроводниковых датчиков на структуре «кремний на сапфире». Список литературы, включающий 137 наименований, содержит 88 отечественных публикаций и 49 зарубежных публикаций, что свидетельствует о тщательном изучении состояния вопроса в современной научно-технической литературе. Приведены фотографии существующих тензодатчиков, выпускаемых отечественными и зарубежными производителями. Завершается 1-я глава выводами, в которых отмечается отсутствие единой методики проектирования и расчета упругих элементов полупроводниковых датчиков давления на КНС.

Вторая глава посвящена применению аналитических методов для расчета упругого элемента рассматриваемого тензодатчика, содержит 6 примеров расчета и выводы по главе. Решение об изгибе плоской мембраны тензодатчика проведено на основе различных теорий осесимметричного изгиба пластин при малых и больших деформациях. Сделан вывод о необходимости численного моделирования и учета прочностных свойств слоя припоя и кристалла сапфира.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию границы сапфир-кремний и определению прочностных свойств серебросодержащего сплава для дальнейшего использования их при численном моделировании. Приводится подробное описание конструкции сканирующего электронного двухлучевого микроскопа и разрывной машины, объясняется принцип их

работы. Приведены 6 цветных фотографий исследуемых чувствительных элементов КНС, границ сапфир-кремний, полученных на микроскопе. Прочностные свойства припоя представлены виде экспериментально полученных диаграмм растяжения образцов из сплавов Ag,Cu.

Четвертая глава посвящена численному моделированию полупроводникового датчика на КНС методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS. Рассмотрено влияние допусков на геометрические размеры и температуры окружающей среды на линейность выходной характеристики. Была выявлена сильная зависимость напряженно-деформированного состояния от геометрии конструкции упругого элемента, от допуска на размеры и от влияния температуры.

Пятая глава посвящена применению методики многокритериальной оптимизации. Проведение многокритериальной оптимизации проводится по методу исследования пространства параметров на основе ЛП последовательности, которая впервые была описана в работах И.М.Соболя. В главе приводится алгоритм, реализующий процесс многокритериальной оптимизации, проводится расчет 200 пробных точек. Автором диссертации был разработан алгоритм оптимизации и создана программа на языке C#. В результате получены 27 Парето-оптимальных вариантов конструкции, некоторые из которых превосходят исходный вариант по всем параметрам качества.

В шестой главе приведены результаты многокритериальной оптимизации, результаты экспериментального исследования партии датчиков, имеющих геометрию Парето-оптимального варианта, полученного в ходе оптимизационного расчета. В результате было выявлено увеличение выходного сигнала и уменьшение его нелинейности при использовании оптимизированной геометрии упругого элемента. На основе проведенного расчета становится возможным изменить топологию полупроводникового

чувствительного элемента на структуре КНС, что позволяет получить экономию средств на производство в размере 850000 рублей в год.

В заключении приводятся основные результаты и выводы по работе.

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

Обоснованность и достоверность большинства полученных автором научных и практических результатов, сделанных по ним выводов, подтверждается корректным использованием методов механики деформируемого твердого тела, строгим использованием математического аппарата, а также подробным обзором литературных источников по теме диссертации. Научная новизна результатов исследований заключается в разработке методики и алгоритма многокритериального проектирования упругого элемента полупроводникового тензодатчика на структуре «кремний на сапфире» на основе метода исследования пространства параметров. Достоверность результатов исследования обеспечивается использованием высокоточного оборудования: электронного микроскопа Helios NanoLab 660, разрывной машины МИ-40КУ. Результаты экспериментального исследования тестовой партии датчиков подтверждают эффективность разработанной в диссертации методики расчета и проектирования.

Значимость для науки и практики результатов диссертации

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в аналитическом расчете упругого элемента тензодатчика на структуре «кремний на сапфире» по теории плоской мембраны, по теории абсолютно гибкой мембраны и по уточненной теории, проведении численного моделирования упругого элемента с учетом его геометрии и физико-механических свойств слоя припоя и кристалла сапфира. В процессе расчета на основе распределения деформаций на поверхности упругого элемента определено точное место для расположения центра тензорезистора.

Практическая значимость заключается в реализации разработанного алгоритма в виде программы и, как результат, получение оптимизированных вариантов конструкции упругого элемента. Параметрами управления выступают геометрические размеры мембран, что приводит к сохранению исходной архитектуры конструкции, и для практического исполнения не потребуется покупка нового оборудования и внесение кардинальных изменений в существующий технологический процесс производства.

Подтверждение опубликованных основных результатов в печати

Основные положения диссертации опубликованы в 10 работах, две из них в журналах, включенных в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК РФ, три из них в журналах, индексируемых SCOPUS. Основные результаты работы докладывались на международном симпозиуме «Динамические и технологические проблемы конструкций и сплошных сред» им. А.Г.Горшкова – 2016, 2018 года, на всероссийской научной конференции «Кристаллофизика и деформационное поведение перспективных материалов», на Всероссийской конференции «Цифровые средства производства инженерного анализа», ТПУ, г.Тула, 2017 г. Также результаты работы были включены в гранты РФФИ и РНФ.

Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования

Созданная в диссертационной работе методика расчета и проектирования упругого элемента тензодатчика на структуре «кремний на сапфире» может быть использована ведущими российскими предприятиями (ЗАО «ОРЛЭКС», ООО «Микротензор», г. Орел, АО «НИИФИ», г. Пенза) для оптимизации существующих конструкций датчиков давления мембранного типа. Методика реализована в виде программы, что позволит использовать ее широкому кругу специалистов (конструкторов, технологов и т.д.).

Программа также может быть внедрена в образовательный процесс ВУЗа с целью обучения студентов методам оптимального проектирования.

Замечания по работе

1. Материал второй главы, содержащий результаты расчета по схеме осесимметричной мембраны, можно было бы существенно сократить и ограничиться оценкой погрешности, привносимой линеаризацией соотношений по сравнению с уточненными результатами расчета по нелинейной теории.

2. В качестве объекта исследования в диссертации указан полупроводниковый датчик давления на структуре «кремний на сапфире». Однако опущена информация об измерительной системе в целом, в состав которой входит данный датчик.

3. Помимо статического нагружения рассматриваемые датчики испытывают вибрационные и ударные нагрузки. Неясно, как скажется влияние вибрационных нагрузок на выходном сигнале? Этот аспект работы датчиков в работе не описан.

4. Для оценки качества конструкции автором были выбраны только 3 основных параметра (нелинейность выходного сигнала, прочность, рабочий коэффициент передачи). Было бы интересно также оценить датчик по критериям материалоемкости и трудоемкости изготовления.

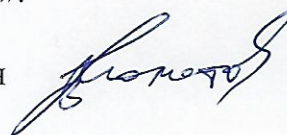
5. В процессе оптимизационных расчетов в качестве наиболее эффективных является Парето-оптимальный вариант расчета. Нигде по тексту диссертации не дано определения этого метода, в чем он заключается. Следует обратить внимание диссертанта на необходимость дать это определение в процессе защиты работы.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования П.А. Скворцова.

Заключение

Диссертационная работа Скворцова Павла Аркадьевича на тему «Разработка методики расчета и проектирования упругого элемента тензодатчика на структуре «кремний на сапфире» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной задачи, научную новизну и практическую значимость результатов исследования. Диссертационная работа Скворцова Павла Аркадьевича по актуальности, новизне и практической значимости, а также объему выполненных исследований, соответствует критериям, изложенным в «Положении о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям, 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, Хроматов Василий Ефимович



ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет

«Московский энергетический институт»,

кандидат технических наук, профессор,

профессор кафедры «Робототехника, мехатроника, динамика и прочность машин»

Специальность 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

Телефон: 8 (495) 362-77-00, E-mail: KhromatovVY@mpei.ru

Адрес: 11250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14



уосто верно

МЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
ПО РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛОМ
Л.И. ПОЛЕВАЯ

