

УДК 531.787.2

НАНО-ТЕХНОЛОГИИ КАК СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

*Королева М.А., студентка 3 курса факультета
информационных систем и технологий
Научный руководитель – Горбоконенко В.Д., доцент
ФГБОУ ВО УлГТУ*

Ключевые слова: *тензоэффект, датчик давления, полупроводниковые тензорезисторы, нано- и микромеханическая система, мембрана, температурная погрешность, вычислительное устройство.*

В данной статье дана ретроспектива развития тензометрии. Рассмотрены современные направления тензометрии, связанные с использованием нано- и микромеханических систем. Выявлены источники погрешностей, а так же методы и способы улучшения метрологических характеристик датчиков давления.

Время в эпоху интенсивного развития цифровой электроники возрастает потребность в серийно выпускаемых датчиках преобразования неэлектрических величин в электрический сигнал. Большую долю в этом перечне составляют датчики давления на основе тензоэффекта.

Явление тензоэффекта открыто в 1856г. лордом Кельвином. С этого времени произошли большие перемены в области тензометрии. Если первые датчики были проволочными, а основанием служила бумага, то сейчас современные датчики создаются на основе тонкопленочных тензорезисторов и нано-микромеханических систем (НиМЭМС).

Большим прорывом в тензометрии было создание фольговых тензорезисторов методом фотолитографии, которые использовались в основном для измерения механических напряжений в сложных несущих конструкциях и для определения их критических значения для предотвращения разрушений. Применяемый метод фотолитографии позволяет автоматизировать процессы изготовления тензометрических датчиков различной конфигурации, что является несомненным преимуществом.

Полупроводниковые тензорезисторы нашли широкое применение при разработке интегральных датчиков давления. Основное достоинство полупроводниковых тензорезисторов- высокое значение

коэффициента тензочувствительности. Чувствительные элементы (мембраны) выполнялись полосковыми на поверхности которых размещались полупроводниковые преобразователи. Можно выделить два основных направления в полупроводниковый тензометрии: наклеивание единичных или монокристаллических тензопреобразователей и использование интегральных тензомодулей. Наклеиваемые тензорезисторы изготавливаются в основном из кремния и германия путем вырезания из монокристалла полупроводникового материала с заданной электрической проводимостью и ориентацией кристаллографических осей по трем главным направлениям кубической решетки [1-3].

Кроме вырезания используется технология выращивания монокристаллов путем конденсации паров в виде дендритных кристаллов. Процесс создания таких преобразователей является достаточно сложным, требует дополнительных операций, связанных с наклеиванием их на чувствительный элемент, что приводит к низкой рентабельности при изготовлении, удорожанию, снижению надежности, влиянию температуры, вибраций, нелинейности характеристики, что существенно снижает область применения таких преобразователей.

Применение диффузной и эпитаксиальной технологий позволяет создавать интегральные тензомодули. Использование достижений интегральной микроэлектроники приводит к возможности формирования различных топологических структур, которые позволяют в значительной степени улучшить метрологические характеристики. Точность таких преобразователей составляет 0,1-0,2%.

Проволочные, фольговые и полупроводниковые тензорезисторы требуют разработки специальных схем компенсации температурных погрешностей или использования процессорной обработки сигнала. Но даже в этом случае невозможно выполнить жесткие требования по метрологическим характеристикам к датчикам давления, которые используются в авиации и космической технике. Поэтому появилось современное направление в тензометрии, которое связано с применением тонкопленочных тензорезисторов и нано- и микромеханических систем.

Проанализируем известные технические решения, направленные на повышение точности и надежности.

Нано- и микромеханическая система (НиМЭМС) состоит из упругого элемента, простой или сложной формы и гетерогенной структуры. Упругий элемент простой формы - это мембрана, стержень, балка. К сложной форме можно отнести мембраны с жестким центром, две мембраны, соединенные штоком. Гетерогенная структура сформиро-

вана на мембране и состоит из нескольких слоев: тензорезистивных, терморезистивных, диэлектрических и т.д. Толщина тензорезистивного слоя составляет не более 100 нм. Элементы гетерогенной структуры тензорезисторы, терморезисторы образуют измерительные цепи, выполненные в виде мостовых схем.

Исследование гетерогенных структур способствует выявлению источников погрешностей, связанных с нелинейностью мостовой измерительной цепи и температурной погрешностью. Из теории мостовых измерительных цепей известно, что для уменьшения нелинейности выходного сигнала изменение сопротивления противоположных плеч должны быть идентичными во всем диапазоне измерений. Тогда тензорезисторы гетерогенной структуры должны быть расположены таким образом, чтобы абсолютные значения максимальных отрицательных деформаций соответствовали абсолютному значению максимальных положительных деформаций мембраны. Для выполнения этого условия вычисляют радиусы расположений идентичных тензорезисторов, воспринимаются положительные и отрицательные деформации [1].

Тензорезисторы могут быть так же сформированы по окружности одинакового радиуса в виде радиальных и окружных, причем радиус расположения вычисляют исходя из функции преобразования деформация-приложенное напряжение. Известно, что у мембраны имеются три зоны деформации. По вычисленному значению конструктивного коэффициента чувствительности выделяют зоны с расположением окружных и радиальных деформаций. Принятые меры в значительной степени улучшают линейность выходной характеристики мостовой схемы.

Повышение точности за счет уменьшения температурной погрешности реализуется путем расположения окружных и радиальных тензорезисторов в зоне идентичных температурных деформаций мембраны. Реализация измерительной цепи в виде мостовой схемы позволяет исключить аддитивную составляющую температурных погрешностей. Интеллектуальный датчик давления выполнен на основе НиМЭМС и дополнительный аналого-цифровой преобразователь и вычислительное устройство, значительно повышает надежность результата измерений.

Библиографический список:

1. Пат. 2398195 Российская Федерация, МПК G01L 9/04, B82B 3/00. Способ изготовления нано- и микроэлектромеханической системы датчика давления и датчик давления на его основе / Белозубов Е.М., Васильев В.А., Чернов П.С.; заявитель и патентообладатель Белозубов Е.М., Васильев

- В.А., Чернов П.С. – Заявка 2009132264/28 от 26.08.2009; опубл. 27.08.2010, Бюл. № 24.
2. Пат. 2411474 Российская Федерация, МПК G01L 9/04, B82B 1/00. Датчик давления повышенной точности на основе нано- и микроэлектромеханической системы с тонкопленочными тензорезисторами / Белозубов Е.М., Васильев В.А., Чернов П.С.; заявитель и патентообладатель Белозубов Е.М., Васильев В.А., Чернов П.С.- Заявка: 2010105448/28 от 15.02.2010; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4.
 3. Пат. 2515079 Российская Федерация, МПК G01L 9/04. Способ изменения давления и интеллектуальный датчик давления на его основе / Белозубов Е.М., Васильев В.А., Чернов П.С.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет» (ПГУ) - Заявка: 2012118123/28 от 03.05.2012; опубл. 10.11.2013, Бюл. № 31.

NANO-TECHNOLOGY AS A WAY TO IMPROVE THE METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF STRAIN-RESISTANT PRESSURE SENSORS

Koroleva M.A.

Key words: *stress effect, pressure sensor, semiconductor strain gauges, nano- and micromechanical system, membrane, temperature error, computing device.*

This article provides a retrospective of the development of strain gauges. The modern trends of strain gauging associated with the use of nano-and micromechanical systems are considered. The sources of errors, as well as methods and ways to improve the metrological characteristics of pressure sensors are identified.