



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011119814/28, 17.05.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.05.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.05.2011

(45) Опубликовано: 10.10.2012 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2391641 C1, 10.06.2010. RU 2312319 C2,
10.12.2007. RU 2397460 C1, 20.08.2010. EP
1380825 A1, 14.01.2004. CN 101922984 A,
22.12.2010.

Адрес для переписки:

440026, г.Пенза, ул. Володарского, 8/10,
ОАО "НИИФИ"

(72) Автор(ы):

**Белозубов Евгений Михайлович (RU),
Белозубова Нина Евгеньевна (RU),
Вологина Валентина Николаевна (RU),
Козлова Наталья Анатольевна (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Открытое акционерное общество "Научно-
исследовательский институт физических
измерений" (RU)****(54) ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО ТИПА С ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ НАНО- И
МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ**

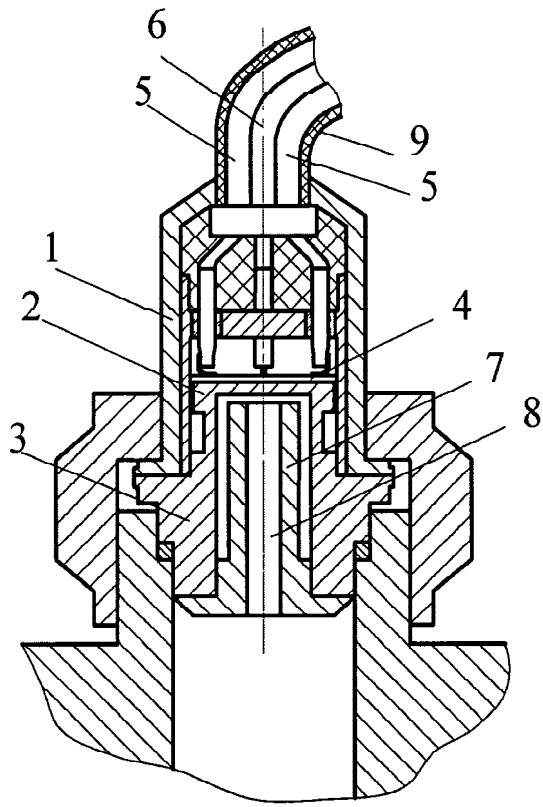
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике, в частности к датчикам давления с тонкопленочной нано- и микроэлектромеханической системой (НиМЭМС), предназначенным для использования при воздействии нестационарных температур и повышенных виброускорений. Технический результат: уменьшение погрешности измерения. Сущность: датчик содержит корпус (1), установленную в нем НиМЭМС, состоящую из мембраны (2), выполненной за одно целое с основанием (3). На мембране сформирована гетерогенная структура (4) из тонких пленок. В

структуре (4) образованы тензорезисторы, расположенные по окружности на периферии мембраны. На основании со стороны подачи измеряемой среды симметрично продольной оси датчика закреплена и размещена внутри основания с зазором относительно мембраны и периферийного основания в области, прилегающей к мембране, цилиндрическая втулка (7) с отверстием (8). Элементы первой и второй измерительной цепи, расположенные вне корпуса, размещены в общем экране (9) из материала с высокой теплопроводностью. Характеристики элементов конструкции датчика связаны соответствующим соотношением. 1 ил.

RU 2 4 6 3 5 7 0 C 1

RU 2 4 6 3 5 7 0 C 1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01L 9/04 (2006.01)
B82B 1/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011119814/28, 17.05.2011

(24) Effective date for property rights:
17.05.2011

Priority:

(22) Date of filing: 17.05.2011

(45) Date of publication: 10.10.2012 Bull. 28

Mail address:

440026, g.Penza, ul. Volodarskogo, 8/10, OAO
"NIIFI"

(72) Inventor(s):

**Belozubov Evgenij Mikhajlovich (RU),
Belozubova Nina Evgen'evna (RU),
Vologina Valentina Nikolaevna (RU),
Kozlova Natal'ja Anatol'evna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Nauchno-
issledovatel'skij institut fizicheskikh
izmerenij" (RU)**

(54) **TENSORESISTIVE PRESSURE SENSOR WITH THIN-FILM NANO- AND MICRO-ELECTROMECHANICAL SYSTEM**

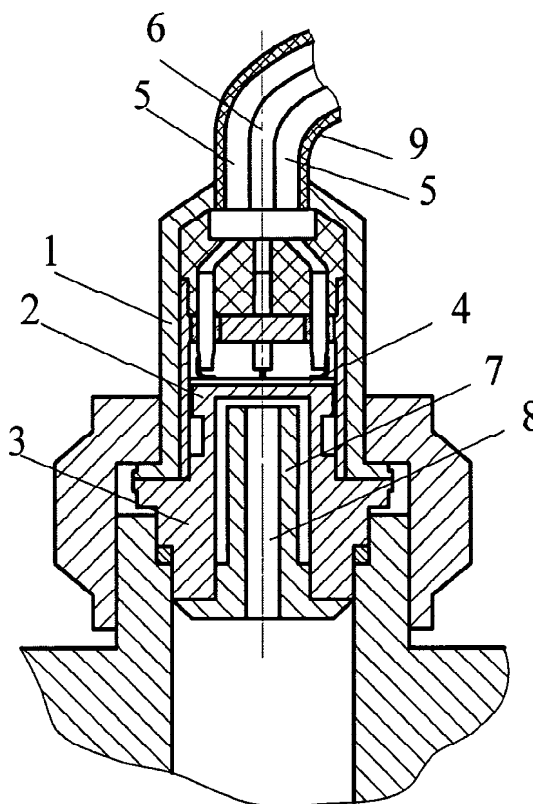
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: sensor has a housing (1) in which there is a nano- and micro-electromechanical system consisting of a membrane (2) which is integrated with the base (3). A heterogeneous structure (4) of thin films is formed on the membrane. Tensoresistors are formed in the structure (4) and lie on a circle on the periphery of the membrane. A cylindrical bushing (7) with a hole (8) is mounted on the base on the side of feeding the measured medium, symmetrically about the longitudinal axis of the sensor and said bushing lies inside the base with a gap from the membrane and the peripheral base in a region adjacent to the membrane. Elements of the first and the second measuring circuits, lying outside the housing, are placed in a common screen (9) made from material with high heat conductivity. Characteristics of structural components of the sensor are linked by a corresponding relationship.

EFFECT: reduced measurement error.

1 dwg



Фиг. 1

RU 2 4 6 3 5 7 0 C 1

RU 2 4 6 3 5 7 0 C 1

Изобретение относится к измерительной технике, в частности к датчикам, предназначенным для использования в различных областях науки и техники, связанных с измерением давления в условиях воздействия нестационарных температур и повышенных виброускорений.

5 Известна конструкция датчика давления тензорезистивного типа с тонкопленочной нано- и микроэлектромеханической системой (НиМЭМС) [1], который предназначен для измерения давления в условиях воздействия нестационарной температуры измеряемой среды, содержащий корпус, тонкопленочную нано- и
10 микроэлектромеханическую систему, состоящую из упругого элемента в виде круглой жесткозашемленной мембраны, выполненной за одно целое с основанием, на которой расположены соединенные в мостовую схему окружные и радиальные тензорезисторы, выполненные в виде соединенных тонкопленочными перемычками
15 одинакового количества имеющих одинаковую форму тензоэлементов, расположенных по окружности на периферии мембраны, выводные проводники, соединяющие тензорезисторы с гермовыводами.

Недостатком известной конструкции является сравнительно большая погрешность при воздействии нестационарной температуры измеряемой среды. Одной из причин
20 является взаимодействие множества последовательно и встречно включенных термоэдс, возникающих на границах разделов тензоэлементов и перемычек вследствие случайным образом распределенных по поверхности чувствительного элемента неоднородностей структуры и неидентичности физических характеристик
25 тензоэлементов и перемычек, находящихся в нестационарном температурном поле. Недостатком известной конструкции является сравнительно большая погрешность при воздействии повышенных (более 10000 мс^{-2}) виброускорений, которые вызывают несимметричное и неравномерное нестационарное температурное поле и,
30 соответственно, аналогичные явления, описанные при воздействии нестационарных температур.

Известен датчик давления тензорезистивного типа с тонкопленочной нано- и микроэлектромеханической системой (НиМЭМС) [2], выбранный в качестве
прототипа, содержащий корпус, установленную в нем НиМЭМС, состоящую из
35 упругого элемента - круглой мембраны, выполненной за одно целое с периферийным основанием, сформированной на ней гетерогенной структуры из тонких пленок материалов, в которой образованы включенные соответственно в противоположные плечи измерительного моста воспринимающие деформацию разного знака от
40 измеряемого давления тензорезисторы, выполненные в виде соединенных тонкопленочными перемычками одинакового количества, имеющих одинаковую форму тензоэлементов, расположенных по окружности на периферии мембраны, измерительные и питающие электрические цепи, соединяющие тонкопленочную
НиМЭМС с выходом датчика, а характеристики элементов конструкции датчика
45 связаны соотношением.

Недостатком известной конструкции является сравнительно большая погрешность при воздействии нестационарной температуры измеряемой среды и повышенных
(более 10000 мс^{-2}) виброускорений, которые вызывают несимметричные и
50 неравномерные нестационарные температурные поля, которые вследствие неоптимальности и невозможности учета соотношений характеристик всех элементов конструкции датчиков давления тензорезистивного типа с тонкопленочными
НиМЭМС для экстремальных условий эксплуатации приводят к появлению некомпенсированной термоэдс.

Целью предлагаемого изобретения является уменьшение погрешности измерения датчиков давления тензорезистивного типа с тонкопленочными НиМЭМС для экстремальных условий эксплуатации в условиях воздействия нестационарной температуры измеряемой среды и повышенных виброускорений за счет уменьшения суммарной интегральной термоэдс путем оптимизации и возможности учета соотношений характеристик всех элементов конструкции датчиков давления.

Поставленная цель достигается тем, что в датчике давления тензорезистивного типа с тонкопленочной нано- и микроэлектромеханической системой (НиМЭМС), содержащем корпус, установленную в нем НиМЭМС, состоящую из упругого элемента - круглой мембраны, выполненной за одно целое с периферийным основанием, сформированной на ней гетерогенной структуры из тонких пленок материалов, в которой образованы включенные соответственно в противоположные плечи измерительного моста воспринимающие деформацию разного знака от измеряемого давления тензорезисторы, выполненные в виде соединенных тонкопленочными перемычками одинакового количества, имеющих одинаковую форму тензоэлементов, расположенных по окружности на периферии мембраны, измерительные и питающие электрические цепи, соединяющие тонкопленочную НиМЭМС с выходом датчика в соответствии с предлагаемым изобретением, на периферийном основании со стороны подачи измеряемой среды симметрично продольной оси датчика плотно закреплена и размещена внутри периферийного основания с зазором относительно мембраны и периферийного основания в области, прилегающей к мембране, цилиндрическая втулка с цилиндрическим отверстием вдоль ее оси, при этом корпус, элементы НиМЭМС, а также расположенные внутри корпуса и вне корпуса в области, прилегающей к нему, элементы первой и второй измерительной цепи, соединяющей НиМЭМС с выходом датчика, размещены симметрично продольной оси датчика, причем элементы первой и второй измерительной цепи, расположенные вне корпуса, размещены в общем экране из материала с высокой теплопроводностью и характеристики элементов конструкции датчика связаны соотношением

$$\sum_{j=1}^4 \left\{ \sum_{i=1}^I \left[\sum_{m=1}^M S_{jim} (T_{jim} - T_{j-1,i-1,m-1}) + \sigma_{\alpha ji} (T_{jiK} - T_{jiH}) \right] \right\} \left\{ \sum_{j=1}^4 R_{j0} [1 + \alpha_j \Delta T_j] \right\}^{-1} \times$$

$$\times \left\{ [R_{40} [1 + \alpha_4 \Delta T_4] + R_{10} [1 + \alpha_1 \Delta T_1]] + \sum_{i=1}^I \left[\sum_{m=1}^M S_{im} (T_{im} - T_{i-1,m-1}) + \sigma_{\alpha li} (T_{liK} - T_{liH}) \right] + \right.$$

$$\left. + \sum_{i=1}^I \left[\sum_{m=1}^M S_{4im} (T_{4im} - T_{4,i-1,m-1}) + \sigma_{\alpha 4i} (T_{4iK} - T_{4iH}) \right] + \sum_{n=1}^N \left[S_{An} (T_{An} - T_{An-1}) + \sigma_{\alpha An} (T_{AnK} - T_{AnH}) \right] \right\}^{-1}, \quad (1)$$

$$- \sum_{n=1}^N \left[S_{Bn} (T_{Bn} - T_{Bn-1}) + \sigma_{\alpha Bn} (T_{BnK} - T_{BnH}) \right] = \Delta U$$

где 4 - количество тензорезисторов в мостовой измерительной схеме НиМЭМС; I - количество тензоэлементов в тензорезисторе; M - количество термоэлектрических структур в тензоэлементе; S_{jim} - коэффициент термоэдс контактирующих материалов m-й термоэлектрической структуры i-го тензоэлемента j-го тензорезистора; T_{jim} - температура контактирующих материалов m-й термоэлектрической структуры i-го тензоэлемента j-го тензорезистора; $\sigma_{\alpha ji}(T)$ - коэффициент Томсона для материала i-го тензоэлемента j-го тензорезистора; T_{jiH} , T_{jiK} - температура соответственно в начале и конце i-го тензоэлемента j-го

тензорезистора; $R_j(T) = \sum_{i=1}^I R_{ji}$ - сопротивление j-го тензорезистора; R_{j0} -

сопротивление j-го тензорезистора при начальной среднеинтегральной температуре j-го тензорезистора; α_j - температурный коэффициент сопротивления j-го тензорезистора; ΔT_j - изменение среднеинтегральной температуры j-го тензорезистора; T_{AnH} , T_{AnK} , T_{BnH} , T_{BnK} - температура в начале и конце n-й термоэлектрической неоднородности соответственно первой и второй измерительной цепи, соединяющей НиМЭМС с выходом датчика; S_{An} , S_{Bn} - коэффициент термоэдс контактирующих материалов n-й термоэлектрической неоднородности соответственно первой и второй измерительной цепи, соединяющей НиМЭМС с выходом датчика; $\sigma_{\alpha_{An}}(T)$, $\sigma_{\alpha_{Bn}}(T)$ - коэффициент Томсона материала n-й термоэлектрической неоднородности соответственно первой и второй измерительной цепи, соединяющей НиМЭМС с выходом датчика; ΔU - допустимая абсолютная погрешность при воздействии нестационарной температуры и повышенных виброускорений.

Заявляемая конструкция датчика давления тензорезистивного типа с тонкопленочной НиМЭМС представлена на фиг.1. Она содержит корпус 1, установленную в нем НиМЭМС, состоящую из упругого элемента - круглой мембраны 2, выполненной за одно целое с периферийным основанием 3, сформированной на ней гетерогенной структуры 4 из тонких пленок материалов, в которой образованы включенные соответственно в противоположные плечи измерительного моста воспринимающие деформацию разного знака от измеряемого давления тензорезисторы, выполненные в виде соединенных тонкопленочными перемычками одинакового количества, имеющих одинаковую форму тензоэлементов, расположенных по окружности на периферии мембраны. Измерительные 5 и питающие 6 электрические цепи соединяют тонкопленочную НиМЭМС с выходом датчика. На периферийном основании со стороны подачи измеряемой среды симметрично продольной оси датчика плотно закреплена и размещена внутри периферийного основания с зазором относительно мембраны и периферийного основания в области, прилегающей к мембране, цилиндрическая втулка 7 с цилиндрическим отверстием 8 вдоль ее оси. При этом корпус, элементы НиМЭМС, а также расположенные внутри корпуса и вне корпуса в области, прилегающей к нему, элементы первой и второй измерительной цепи, соединяющей НиМЭМС с выходом датчика, размещены симметрично продольной оси датчика, причем элементы первой и второй измерительной цепи, расположенные вне корпуса, размещены в общем экране 9 из материала с высокой теплопроводностью и характеристики элементов конструкции датчика связаны заявляемым соотношением.

Для обоснования наличия причинно-следственной связи между совокупностью признаков и достигаемым техническим результатом рассмотрим более подробно конструкцию датчика давления тензорезистивного типа с тонкопленочной НиМЭМС в условиях воздействия нестационарной температуры измеряемой среды, направленной под углом к оси датчика, и повышенных виброускорений.

Плотное закрепление на периферийном основании со стороны подачи измеряемой среды симметрично продольной оси датчика и размещение внутри периферийного основания цилиндрической втулки с цилиндрическим отверстием вдоль ее оси обеспечивает осесимметрирование тепловых потоков, а следовательно, идентичность температур, имеющих одинаковую форму тензоэлементов, расположенных по окружности на периферии мембраны, и минимизацию влияния нестационарной

температуры измеряемой среды. Наличие зазора втулки относительно мембраны и периферийного основания в области, прилегающей к мембране, устраняет возможное в противном случае негативное влияние несимметричных термдеформаций на тензоэлементы. Размещение симметрично продольной оси датчика корпуса элементов

5 НиМЭМС, а также расположенных внутри корпуса и вне корпуса в области, прилегающей к нему элементов первой и второй измерительной цепи, соединяющей НиМЭМС с выходом датчика, обеспечивает минимальную погрешность при

10 воздействии нестационарной температуры измеряемой и окружающей среды, а также повышенных виброускорений за счет взаимной компенсации встречно включенных термоэдс, возникающих в том числе в кабельной перемычке датчика. Размещение

расположенных вне корпуса элементов первой и второй измерительной цепи в общем экране из материала с высокой теплопроводностью выравнивает температуры этих элементов, возникающих в результате воздействия повышенных виброускорений.

15 При всем многообразии конструктивно-технологических решений, применяемых при создании датчиков давления тензорезистивного типа с тонкопленочными НиМЭМС для экстремальных условий эксплуатации, в их структуре можно выделить общие подсистемы и элементы, определяющие характер термоэлектрических явлений

20 при воздействии нестационарных температур и виброускорений. К ним, в самом общем виде, можно отнести: чувствительный элемент в виде НиМЭМС, питающие и измерительные электрические цепи, соединяющие НиМЭМС с выходом датчика. В датчиках давления тензорезистивного типа с тонкопленочными НиМЭМС, как правило, две питающие и две измерительные электрические цепи. Кроме того, в

25 датчиках, предназначенных для экстремальных условий эксплуатации, с целью исключения влияния жестких воздействующих факторов на разъем датчика эти цепи частично выполняются в виде гибкой кабельной перемычки, соединяющей корпус датчика и разъем.

30 После проведения дополнительного анализа, синтеза и обобщения приведенного в прототипе выражения для математической модели неинформативного преобразования термоэдс в выходной сигнал ТТДД при воздействии нестационарных температур и виброускорений получим

$$\begin{aligned}
 U_{\text{ВЫХ}}(T) = & \sum_{j=1}^4 \left\{ \sum_{i=1}^I \left[\sum_{m=1}^M E_{jim}(T) + \int_{T_{jiH}}^{T_{jiK}} \sigma_{\alpha ji}(T) \cdot dT \right] \cdot \left[\sum_{j=1}^4 R_j(T) \right]^{-1} \cdot \left[R_4(T) + R_1(T) \right] + \right. \\
 & + \sum_{i=1}^I \left[\sum_{m=1}^M E_{lim}(T) + \int_{T_{liH}}^{T_{liK}} \sigma_{\alpha li}(T) \cdot dT \right] + \sum_{i=1}^I \left[\sum_{m=1}^M E_{4im}(T) + \int_{T_{4iH}}^{T_{4iK}} \sigma_{\alpha 4i}(T) \cdot dT \right] + \\
 & \left. + \sum_{n=1}^N \left[E_{An}(T) + \int_{T_{AnH}}^{T_{AnK}} \sigma_{\alpha An}(T) dT \right] - \sum_{n=1}^N \left[E_{Bn}(T) + \int_{T_{BnH}}^{T_{BnK}} \sigma_{\alpha Bn}(T) dT \right], \quad (2)
 \end{aligned}$$

45 где $T=f(T_{\text{ни}}, T_{\text{но}}, W)$; $T_{\text{ни}}$ - нестационарная температура измеряемой среды; $T_{\text{но}}$ - нестационарная температура окружающей среды; W - амплитуда виброускорений; 4 - количество тензорезисторов в мостовой измерительной схеме НиМЭМС; I - количество тензоэлементов в тензорезисторе; M - количество термоэлектрических структур в тензоэлементе; $E_{jim}(T)$ - m -я термоэдс i -го тензоэлемента j -го тензорезистора; T_{jiH} - температура в начале i -го тензоэлемента j -го тензорезистора; T_{jiK} - температура в конце i -го тензоэлемента j -го тензорезистора; $\sigma_{\alpha ji}(T)$ -

коэффициент Томсона для материала i-го тензоэлемента j-го тензорезистора;
 $R_j(T) = \sum_{i=1}^I R_{ji}$ - сопротивление j-го тензорезистора; $E_{An}(T)$, $E_{Bn}(T)$ - термоэдс n-й

5 термоэлектрической неоднородности соответственно первой и второй измерительной цепи, соединяющей тонкопленочную НиМЭМС-структуру с выходом датчика, T_{AnH} , T_{AnK} , T_{BnH} , T_{BnK} - температура в начале и конце n-й термоэлектрической неоднородности соответственно первой и второй измерительной цепи, соединяющей тонкопленочную НиМЭМС-структуру с выходом датчика; $\sigma_{\alpha An}(T)$, $\sigma_{\alpha Bn}(T)$ -
 10 коэффициент Томсона материала n-й термоэлектрической неоднородности соответственно первой и второй измерительной цепи, соединяющей тонкопленочную НиМЭМС-структуру с выходом датчика.

Выражение (2) при $U_{\text{вых}}(T)=0$ является общим условием минимизации
 15 нескомпенсированной термоэдс ТТДД при воздействии нестационарных температур и виброускорений. Для проведения качественного анализа влияния нестационарных температур и виброускорений рассмотрим полученную модель при достаточно малых различиях температур элементов. В этом случае, условно пренебрегая нелинейным характером распределения температур в пределах конкретных элементов, можно
 20 представить выражение для упрощенной математической модели неинформативного преобразования термоэдс в выходной сигнал ТТДД в виде

$$\begin{aligned}
 U_{\text{вых}}(T) = & \sum_{j=1}^4 \left\{ \sum_{i=1}^I \left[\sum_{m=1}^M S_{jim} (T_{jim} - T_{j-1,i-1,m-1}) + \sigma_{aji} (T_{jik} - T_{jih}) \right] \right\} \left\{ \sum_{j=1}^4 R_{j0} [1 + \alpha_j \Delta T_j] \right\}^{-1} \times \\
 & \times \left\{ [R_{40} [1 + \alpha_4 \Delta T_4] + R_{10} [1 + \alpha_1 \Delta T_1]] + \sum_{i=1}^I \left[\sum_{m=1}^M S_{1im} (T_{1im} - T_{1,i-1,m-1}) + \sigma_{\alpha 1i} (T_{1ik} - T_{1ih}) \right] + \right. \\
 & + \sum_{i=1}^I \left[\sum_{m=1}^M S_{4im} (T_{4im} - T_{4,i-1,m-1}) + \sigma_{\alpha 4i} (T_{4ik} - T_{4ih}) \right] + \sum_{n=1}^N \left[S_{An} (T_{An} - T_{An-1}) + \sigma_{\alpha An} (T_{AnK} - T_{AnH}) \right] - \\
 & \left. - \sum_{n=1}^N \left[S_{Bn} (T_{Bn} - T_{Bn-1}) + \sigma_{\alpha Bn} (T_{BnK} - T_{BnH}) \right] \right\}, \quad (3)
 \end{aligned}$$

где S_{jim} - коэффициент термоэдс контактирующих материалов m-й
 35 термоэлектрической структуры i-го тензоэлемента j-го тензорезистора; T_{jim} - температура контактирующих материалов m-й термоэлектрической структуры i-го тензоэлемента j-го тензорезистора; R_{j0} - сопротивление j-го тензорезистора при начальной среднеинтегральной температуре j-го тензорезистора; α_j - температурный коэффициент сопротивления j-го тензорезистора; ΔT_j - изменение среднеинтегральной
 40 температуры j-го тензорезистора; S_{An} , S_{Bn} - коэффициент термоэдс контактирующих материалов n-й термоэлектрической неоднородности соответственно первой и второй измерительной цепи, соединяющей тонкопленочную НиМЭМС-структуру с выходом датчика; T_{An} , T_{Bn} - температура n-й термоэлектрической неоднородности
 45 соответственно первой и второй измерительной цепи, соединяющей тонкопленочную НиМЭМС-структуру с выходом датчика.

В выражении (3) $U_{\text{вых}}(T)$ показывает величину нескомпенсированной термоэдс, возникающей при воздействии нестационарной температуры и повышенных виброускорений, и характеризует абсолютное значение погрешности $U_{\text{вых}}(T)=\Delta U$.
 50 После преобразования выражения (3) ΔU получим заявляемое соотношение. Таким образом, техническим результатом заявляемого решения является уменьшение погрешности измерения при воздействии нестационарных температур и повышенных виброускорений за счет минимизации напряжения нескомпенсированной термоэдс

путем оптимизации и возможности учета соотношений характеристик всех элементов конструкции датчиков давления тензорезистивного типа с тонкопленочными НиМЭМС для экстремальных условий эксплуатации.

Источники известности

1. RU Патент №2312319, МПК G01L 9/04. Бюл. №34. 10.12.2007.
2. RU Патент №2391641, МПК G01L 9/04. Бюл. №16. 10.06.2010.

Формула изобретения

Датчик давления с тонкопленочной нано- и микроэлектромеханической системой (НиМЭМС), содержащий корпус, установленную в нем НиМЭМС, состоящую из упругого элемента - круглой мембраны, выполненной за одно целое с периферийным основанием, сформированной на ней гетерогенной структуры из тонких пленок материалов, в которой образованы включенные соответственно в противоположные плечи измерительного моста воспринимающие деформацию разного знака от измеряемого давления тензорезисторы, выполненные в виде соединенных тонкопленочными переключками одинакового количества имеющих одинаковую форму тензоэлементов, расположенных по окружности на периферии мембраны, измерительные и питающие электрические цепи, соединяющие тонкопленочную НиМЭМС с выходом датчика, отличающийся тем, что на периферийном основании со стороны подачи измеряемой среды, симметрично продольной оси датчика плотно закреплена и размещена внутри периферийного основания с зазором относительно мембраны и периферийного основания в области, прилегающей к мембране, цилиндрическая втулка с цилиндрическим отверстием вдоль ее оси, при этом корпус, элементы НиМЭМС, а также расположенные внутри корпуса и вне корпуса в области, прилегающей к нему, элементы первой и второй измерительных цепей, соединяющие НиМЭМС с выходом датчика, размещены симметрично продольной оси датчика, причем элементы первой и второй измерительных цепей, расположенные вне корпуса, размещены в общем экране из материала с высокой теплопроводностью и характеристики элементов конструкции датчика связаны соотношением

$$\sum_{j=1}^4 \left\{ \sum_{i=1}^I \left[\sum_{m=1}^M S_{jim} (T_{jim} - T_{j-1,i-1,m-1}) + \sigma_{\alpha ji} (T_{jiK} - T_{jiH}) \right] \right\} \left\{ \sum_{j=1}^4 R_{j0} [1 + \alpha_j \Delta T_j] \right\}^{-1} \times$$

$$\times \left\{ [R_{40} [1 + \alpha_4 \Delta T_4] + R_{10} [1 + \alpha_1 \Delta T_1]] + \sum_{i=1}^I \left[\sum_{m=1}^M S_{iim} (T_{iim} - T_{1,i-1,m-1}) + \sigma_{\alpha i1} (T_{i1K} - T_{i1H}) \right] + \right.$$

$$\left. + \sum_{i=1}^I \left[\sum_{m=1}^M S_{4im} (T_{4im} - T_{4,i-1,m-1}) + \sigma_{\alpha 4i} (T_{4iK} - T_{4iH}) \right] + \sum_{n=1}^N [S_{An} (T_{An} - T_{An-1}) + \sigma_{\alpha An} (T_{AnK} - T_{AnH})] - \right.$$

$$\left. - \sum_{n=1}^N [S_{Bn} (T_{Bn} - T_{Bn-1}) + \sigma_{\alpha Bn} (T_{BnK} - T_{BnH})] \right\} = \Delta U,$$

где 4 - количество тензорезисторов в мостовой измерительной схеме НиМЭМС; I - количество тензоэлементов в тензорезисторе; M - количество термоэлектрических структур в тензоэлементе; S_{jim} - коэффициент термоэдс контактирующих материалов m-й термоэлектрической структуры i-го тензоэлемента j-го тензорезистора; T_{jim} - температура контактирующих материалов m-й термоэлектрической структуры i-го тензоэлемента j-го тензорезистора; $\sigma_{\alpha ji}(T)$ - коэффициент Томсона для материала i-го тензоэлемента j-го тензорезистора; T_{jiH} , T_{jiK} - температура соответственно в начале и конце i-го тензоэлемента j-го

тензорезистора; $R_j(T) = \sum_{i=1}^I R_{ji}$ - сопротивление j-го тензорезистора; R_{j0} -

сопротивление j-го тензорезистора при начальной среднеинтегральной температуре j-го тензорезистора; α_j - температурный коэффициент сопротивления j-го тензорезистора; ΔT_j - изменение среднеинтегральной температуры j-го тензорезистора; T_{AnH} , T_{AnK} , T_{BnH} , T_{BnK} - температура в начале и конце n-й термоэлектрической неоднородности соответственно первой и второй измерительных цепей, соединяющих НиМЭМС с выходом датчика; A_{An} , S_{Bn} - коэффициент термоэдс контактирующих материалов n-й термоэлектрической неоднородности соответственно первой и второй измерительных цепей, соединяющих НиМЭМС с выходом датчика; $\sigma_{\alpha An}(T)$, $\sigma_{\alpha Bn}(T)$ - температура в начале и конце n-й термоэлектрической неоднородности соответственно первой и второй измерительных цепей, соединяющих НиМЭМС с выходом датчика; S_{An} , S_{Bn} - коэффициент термоэдс контактирующих материалов n-й термоэлектрической неоднородности соответственно первой и второй измерительной цепи, соединяющей НиМЭМС с выходом датчика; $\sigma_{\alpha An}(T)$, $\sigma_{\alpha Bn}(T)$ - коэффициент Томсона материала n-й термоэлектрической неоднородности соответственно первой и второй измерительных цепей, соединяющих НиМЭМС с выходом датчика; ΔU - абсолютная погрешность при воздействии нестационарной температуры и повышенных виброускорений.

25

30

35

40

45

50