



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2016110606, 23.03.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
23.03.2016Дата регистрации:  
21.07.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.03.2016

(45) Опубликовано: 21.07.2017 Бюл. № 21

Адрес для переписки:

121087, Москва, ул. Новозаводская, 2, корп. 6-7,  
кв. 66, пат. пов. Скомороховой Т.С.

(72) Автор(ы):

Аленков Владимир Владимирович (RU),  
Евтушенко Дина Генриховна (RU),  
Забелин Алексей Николаевич (RU),  
Медведев Андрей Валерьевич (RU),  
Сахаров Сергей Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Открытое акционерное общество "Фомос -  
Материалс" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: JP 4794185 B2, 19.10.2011. US  
7622851 B2, 24.11.2009. WO 2010112992 A1,  
07.10.2010. RU 2475892 C2, 20.02.2013. US  
2007277618 A1, 06.12.2007.**(54) СПОСОБ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРЕЦИЗИОННЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к технологии изготовления пьезоэлектрических чувствительных элементов из пьезоэлектрических материалов и может быть использовано при изготовлении датчиков динамического давления для двигателей внутреннего сгорания из синтетических кристаллов галлотанталата лантан  $La_3Ga_{5,5}Ta_{0,5}O_{14}$ . Сущность: каждый датчик формируют из трех чувствительных элементов идентичной длины. Каждый чувствительный элемент вырезают в форме прямоугольного бруска из термически обработанных монокристаллов галлотанталата лантана. Каждый чувствительный элемент имеет кристаллографическую ориентацию (22.0), длина чувствительного элемента совпадает с направлением, отвечающим на воздействие динамического давления. Чувствительные элементы изготавливают в едином технологическом цикле в три этапа. На первом этапе кристалл галлотанталата лантана режут вдоль кристаллографического полярного направления X с шагом, задающим толщину чувствительного элемента, на заготовки первого типа, имеющие плоскости реза

кристаллографической ориентации (22.0), и шлифуют до заданной толщины и шероховатости. На втором этапе полученные заготовки первого типа с плоскостями реза X режут вдоль направления Y с шагом, задающим длину чувствительного элемента вдоль оси <0.10>, на заготовки второго типа. На третьем этапе полученные заготовки второго типа с плоскостями реза Y режут вдоль направления Z с шагом, определяющим ширину чувствительного элемента вдоль оси <00.1>, на заготовки третьего типа. Перед выполнением второго и третьего этапов предварительно полученные заготовки первого типа и второго типа склеивают в блоки и подвергают полученные блоки двухсторонней шлифовке и полировке до достижения заданного размера чувствительного элемента вдоль направления <01.0> и направления <00.1>. После выполнения второго и третьего этапов резки указанные блоки из заготовок первого и второго типов расклеивают и отмывают в органическом растворителе. На третьем этапе получают конечный продукт в виде серии чувствительных элементов идентичной длины, каждый из которых имеет кристаллографическую ориентацию (22.0).

Технический результат: возможность получения в промышленных масштабах идентичных по геометрическим размерам микроминиатюрных

чувствительных элементов с величиной разброса по линейным размерам не более  $\pm 0,5$  мкм. 4 з.п. ф-лы.

RU 2 6 2 6 0 8 0 C 1

RU 2 6 2 6 0 8 0 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H01L 41/22* (2013.01)  
*G01L 23/10* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2016110606, 23.03.2016**(24) Effective date for property rights:  
**23.03.2016**Registration date:  
**21.07.2017**

Priority:

(22) Date of filing: **23.03.2016**(45) Date of publication: **21.07.2017** Bull. № 21

Mail address:

**121087, Moskva, ul. Novozavodskaya, 2, korp. 6-7,  
kv. 66, pat. pov. Skomorokhovej T.S.**

(72) Inventor(s):

**Alenkov Vladimir Vladimirovich (RU),  
Evtushenko Dina Genrikhovna (RU),  
Zabelin Aleksej Nikolaevich (RU),  
Medvedev Andrej Valerevich (RU),  
Sakharov Sergej Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Fomos -  
Materials" (RU)**(54) **METHOD OF INDUSTRIAL PRODUCTION OF PRECISION PIEZOELECTRIC SENSING ELEMENTS**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: each sensor is formed from three sensing elements of identical length. Each sensor element is cut out in the form of a rectangular bar of heat-treated single monocrystals of lanthanum gallotantalate. Each sensing element has a crystallographic orientation (22. 0), the length of the sensing element coincides with the direction corresponding to the effect of dynamic pressure. Sensing elements are manufactured in a single technological cycle in three stages. In the first stage, the lanthanum gallotantalate crystal is cut along the crystallographic polar direction X with a pitch which specifies the thickness of the sensing element into the preforms of the first type, having cutting planes of the crystallographic orientation (22. 0), and grinded to a predetermined thickness and roughness. In the second stage, the obtained preforms of the first type with cutting planes X are cut along the Y direction with a pitch which specifies the length of the sensing element along the axis <0.10> into the preforms of the second

type. In the third stage, the resulting preforms of the second type with cutting planes Y are cut along the Z direction with a pitch which specifies the width of the sensing element along the axis <00.1> into the preforms of the third type. Before performing the second and third stages, the preobtained preforms of the first type and the second type are glued into blocks and the obtained blocks are subjected to double-sided grinding and polishing until a predetermined size of the sensing element is achieved along the direction <01.0> and the direction <00.1>. After performing the second and third cutting stages, the mentioned blocks of the preforms of the first and second types are unglued and washed in an organic solvent. In the third stage, the final product is obtained in the form of a series of sensing elements of identical length, each of which has a crystallographic orientation (22. 0).

EFFECT: possibility of obtaining microminiature sensors with identical geometric dimensions with a minimum linear dimension spread on an industrial scale.

5 cl

RU 2 6 2 6 0 8 0 C 1

RU 2 6 2 6 0 8 0 C 1

Изобретение относится к технологии изготовления пьезоэлектрических чувствительных элементов и может быть использовано при изготовлении микроминиатюрных чувствительных элементов из кристаллов группы галлогерманатов для пьезоэлектрических датчиков динамического давления, предназначенных для измерения силы давления газообразных веществ в двигателях внутреннего сгорания.

Известно, что важнейшим функциональным узлом систем контроля, диагностики и автоматического управления являются датчики физических величин, воспринимающие информацию о состоянии параметров контролируемого объекта техники. Первичным узлом, регистрирующим и передающим информацию о параметрах объекта, является чувствительный элемент из пьезоэлектрического материала, который преобразует неэлектрические физические величины в электрические сигналы. Взаимодействие между чувствительным элементом и локальной физической окружающей средой приводит к генерации сигнала, интерпретация которого путем обработки, синтеза данных в конечном итоге обеспечивает получение нужной информации об объекте исследования (см., например, патент US, 5852793). Чувствительный элемент для датчиков динамического давления выполняется в виде конструктивно завершеного измерительного модуля.

Принцип работы пьезоэлектрического датчика основан на использовании пьезоэлектрического эффекта: чувствительный элемент датчика давления, выполненный из пьезоэлектрического материала, преобразует изменение давления в электрический заряд так, что на противоположных гранях чувствительного элемента при его сжатии образуется разность потенциалов, пропорциональная изменению давления, которая может быть подана на вход усилителя для дальнейшего преобразования. Прямой пьезоэлектрический эффект используется для измерений быстро протекающих динамических процессов. Пьезоэлектрические датчики обладают следующими известными преимуществами: малыми габаритами, простотой конструкции, надежностью в работе, возможностью измерения быстропеременных нагрузок.

В двигателях внутреннего сгорания датчики давления работают в экстремальных условиях, т.к. средняя температура в цилиндре порядка  $300^{\circ}\text{C}$ , а в момент взрыва бензино-воздушной смеси температура достигает величины порядка  $3000^{\circ}\text{C}$ . Среда, для которой предназначены такие датчики, характеризуется жесткими условиями воздействия высоких температур и давлений в диапазоне до 25 МПа, причем эти параметры среды изменяются с частотой до 100 Гц. Кроме того, датчик давления, предназначенный для двигателей внутреннего сгорания, должен быть небольших размеров и при этом высоконадежен.

В связи с этим к материалу для изготовления чувствительного элемента подобного типа датчиков давления предъявляются жесткие требования: отсутствие фазовых переходов в кристалле вплоть до температур порядка  $1200^{\circ}\text{C}$ , отсутствие пьезоэлектрического эффекта, отсутствие гистерезиса физических свойств, высокая чувствительность, определяемая высоким значением пьезомодулей материала; высокое удельное электрическое сопротивление; низкая деградация поверхности материала при контакте с электродами (см. J. Stade, et. all. "Electro-optic, Piezoelectric and Dielectric Properties of Langanite ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ), Langanite ( $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{14}$ ) and Langataite ( $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ )". Crystall Res. Technology 37, p. 1113-1120, 2002).

Чувствительным элементом датчика давления являются пьезоэлектрические пластины, соединенные электрически параллельно для повышения чувствительности устройства. Обычно для увеличения чувствительности пьезоэлектрического датчика применяют две или несколько пластин, соединенных параллельно, при этом заряды одноименно

заряжающихся плоскостей складываются (К. Бриндли. "Измерительные преобразователи", Справочное пособие, М., Энергоиздат, 1991). Патент US 7603906 раскрывает пьезоэлектрический датчик давления, чувствительный элемент которого состоит, по крайней мере, из двух пьезоэлектрических пластин, соединенных электрически параллельно. Измеряемое давление воспринимается мембраной, которая одновременно служит дном корпуса датчика. Пьезоэлектрические пластины закреплены в корпусе датчика между мембраной и электродами, электрически изолированными от корпуса датчика.

Патент US 7622851 раскрывает высокотемпературный пьезоэлектрический материал для чувствительных элементов беспроводных пьезоэлектрических устройств, предназначенных для работы при температуре 650°C, где чувствительный элемент выполнен из редкоземельного оксибората кальция и лангасита.

Для пьезоэлектрических датчиков динамического давления используются различные конструкции чувствительных элементов. В силу того, что величина электрического заряда, возникающего в чувствительном элементе при воздействии на него динамического давления, пропорциональна площади поверхности, перпендикулярной к его пьезоэлектрической оси, то для увеличения величины заряда (повышения чувствительности) необходимо увеличивать геометрические размеры этих элементов. Однако увеличение геометрических размеров чувствительных элементов приводит к увеличению габаритов самих датчиков, тогда как одним из современных требований к конструкции датчиков является миниатюризация их исполнения. Миниатюризация датчиков позволяет расширять области их применения за счет снижения затрат на их установку в испытываемое оборудование. Кроме того, уменьшение геометрических размеров датчиков повышает частоту механического резонанса, что позволяет использовать датчики для контроля высокоскоростных процессов (частотой до 10000 Гц).

Для решения задачи по уменьшению геометрических размеров датчиков, первоначально требуется уменьшить размеры чувствительных элементов при сохранении их основных характеристик таких, как чувствительность к механическому воздействию. Для решения этой проблемы разработчики датчиков прибегают к усложнению конструкции чувствительных элементов и повышению требований по точности их изготовления.

В состав чувствительного элемента датчика давления для двигателей внутреннего сгорания входят три чувствительных элемента, каждый из которых выполнен в форме прямоугольного бруска, длина которого совпадает с направлением, отвечающим на воздействие динамического давления. Конструктивно указанные чувствительные элементы устанавливаются вертикально по отношению к мембранам датчиков, а при виде сверху образуют треугольник, при этом внутри этого треугольника обращены стороны компонент с положительным направлением полярной кристаллографической оси X, а наружу - с отрицательным направлением оси X. Кроме того, к этим трем компонентам предъявляется очень жесткое требование по идентичности их по высоте: допуск на разброс по высоте компонент должен составлять не более  $\pm 0,5$  мкм. При этом для контроля геометрического размера с точностью  $\pm 0,5$  мкм требуется специальное измерительное оборудование класса точности измерения  $\pm 0,1$  мкм. Это очень дорогостоящее оборудование, которое в основном используется только в исследовательских целях.

Более того, возникают сложности при измерениях длины чувствительного элемента из-за малой площади их торцовых сторон и наличия фасок по обеим сторонам торцевой

поверхности. Все эти проблемы увеличивают себестоимость изготовления чувствительного элемента.

По этой причине имеется потребность в промышленном производстве экономически эффективных миниатюрных чувствительных элементов, которые могли бы обеспечить работу датчиков давления при температурах не ниже 350°C и давлениях из диапазона от 0,1 МПа до 25 МПа, при этом допуск на разброс по высоте чувствительного элемента должен составлять не более  $\pm 0,5$  мкм с возможностью его контроля измерительным оборудованием с ценой деления 0,001 мм.

В рамках данного изобретения решается задача разработки такого способа изготовления чувствительных элементов для высокотемпературных пьезоэлектрических датчиков динамического давления, который позволит получать в промышленных масштабах идентичные по геометрическим размерам микроминиатюрные чувствительные элементы, так что разброс по линейным размерам элементов составит величину не более  $\pm 0,5$  мкм, без увеличения себестоимости чувствительного элемента. Решается также проблема по измерению линейных размеров элементов с указанной выше точностью без использования дорогостоящего оборудования класса точности  $\pm 0,1$  мкм. Кроме того, решается также задача разработки такого способа изготовления чувствительных элементов, который позволит обеспечить высокую чувствительность датчиков динамического давления в условиях воздействия температур из диапазона от минус 60°C до плюс 650°C и давлениях из диапазона от 0,1 МПа до 25 МПа.

Поставленная задача решается тем, что в способе промышленного производства прецизионных пьезоэлектрических чувствительных элементов для датчиков динамического давления, работающих при температуре из диапазона от минус 60°C до плюс 650°C и давлениях из диапазона от 0,1 МПа до 25 МПа, изменяющихся с частотой не менее 10 кГц, каждый датчик формируют из трех чувствительных элементов идентичной длины, при этом каждый чувствительный элемент вырезают в форме прямоугольного бруска из термически обработанных монокристаллов галлотанталата лантана, имеющих химический состав, который может быть представлен формулой  $\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_{14}$ , каждый чувствительный элемент имеет кристаллографическую ориентацию (22.0), при этом длина чувствительного элемента совпадает с направлением, отвечающим на воздействие динамического давления, указанные чувствительные элементы изготавливают в едином технологическом цикле в три этапа, где на первом этапе объемный кристалл галлотанталата лантана режут вдоль кристаллографического полярного направления X с шагом, задающим толщину чувствительного элемента, на заготовки первого типа, имеющие плоскости реза кристаллографической ориентации (22.0), и шлифуют до заданной толщины и шероховатости; на втором этапе полученные заготовки первого типа с плоскостями реза X режут вдоль направления Y с шагом, задающим длину компонента вдоль оси  $\langle 0.10 \rangle$ , на заготовки второго типа, а на третьем этапе полученные заготовки второго типа с плоскостями реза Y режут вдоль направления Z с шагом, определяющим ширину чувствительного элемента вдоль направления  $\langle 00.1 \rangle$ , на заготовки третьего типа, при этом перед выполнением второго и третьего этапов предварительно полученные заготовки первого типа и второго типа, соответственно, склеивают в блоки и подвергают полученные блоки, состоящие, соответственно, из заготовок первого и второго типов, двухсторонней шлифовке и полировке до достижения заданного размера чувствительного элемента вдоль направления  $\langle 01.0 \rangle$  и направления  $\langle 00.1 \rangle$ , а после выполнения второго и третьего этапов резки указанные блоки из промежуточных заготовок первого и второго типов расклеивают и отмывают в органическом растворителе, при этом на третьем этапе

получают конечный продукт в виде серии чувствительных элементов идентичной длины, каждый из которых имеет кристаллографическую ориентацию (22.0).

Монокристаллы галлотанталата лантана  $\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_{14}$  имеют точечную группу симметрии 32. Целесообразно, что термически модифицированные кристаллы галлотанталата лантана имеют величину пьезоэлектрического модуля  $d_{12}$  равную 6,5 пКл/Н с отклонением не более  $\pm 5\%$  в диапазоне рабочих температур от минус  $200^\circ\text{C}$  до  $450^\circ\text{C}$ . Предпочтительно, что удельное сопротивление термически модифицированных кристаллов галлотанталата лантана при температуре  $250^\circ\text{C}$  составляет величину не менее  $10^{11}$  Ом\*см, а при температуре  $600^\circ\text{C}$  удельное сопротивление указанных кристаллов составляет величину менее  $10^7$  Ом\*см.

Кроме того, датчики динамического давления являются пьезоэлектрическими датчиками, работающими на прямом пьезоэлектрическом эффекте и выдающими электрический сигнал в ответ на динамическое давление, действующее в направлении длины чувствительного элемента. При этом чувствительность датчика, изготовленного с применением данного способа производства прецизионных чувствительных элементов из монокристаллов галлотанталата лантана  $\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_{14}$ , составляет величину не менее 200 пКл/МПа, температурный дрейф чувствительности при температурах работы двигателей внутреннего сгорания - не более  $\pm 5\%$ , наработка на отказ - не менее  $2,5 \times 10^8$  циклов, нелинейность чувствительности в диапазоне измеряемых давлений от 0,1 МПа до 25 МПа не более  $\pm 3\%$ .

Предпочтительно, что шлифованные поверхности блоков промежуточных заготовок первого и второго типов полируют алмазным абразивом с размером зерна 5-3 мкм при давлении полировальника на поверхность блоков из диапазона от 0,6 до  $0,7 \times 10^{-3}$  Па до достижения шероховатости поверхности менее 0,05 мкм.

Измерение геометрических размеров чувствительных элементов осуществляют в блоках микрометром МЗЦ 0-25 с ценой деления 0,001 мм.

Сущность данного способа производства прецизионных пьезоэлектрических чувствительных элементов для датчиков динамического давления поясняется неограниченным примером его реализации.

#### Пример

Выращенный методом Чохральского объемный монокристалл галлотантала лантана, имеющий химический состав  $\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_{14}$ , подвергают термической обработке. Затем режут обработанный объемный монокристалл на заготовки заданной для чувствительного элемента кристаллографической ориентации (22.0). При этом длина каждого чувствительного элемента совпадает с направлением, отвечающим на воздействие динамического давления. Указанные чувствительные элементы изготавливают в едином технологическом цикле в три этапа, где на первом этапе выращенный объемный кристалл галлотанталата лантана режут вдоль кристаллографического полярного направления X с шагом, задающим толщину чувствительного элемента  $0,84 \pm 0,04$  мм, на заготовки первого типа. Полученные заготовки первого типа имеют плоскости реза кристаллографической ориентации (22.0). Плоскости реза заготовок первого типа шлифуют до заданной толщины и шероховатости. Затем на втором этапе полученные заготовки первого типа с плоскостями реза X режут вдоль направления Y с шагом, задающим длину чувствительного элемента вдоль кристаллографической оси  $\langle 0.10 \rangle$ , на заготовки второго типа. На третьем этапе полученные заготовки второго типа с плоскостями

реза Y режут вдоль направления Z с шагом, определяющим ширину чувствительного элемента вдоль направления <00.1> на заготовки третьего типа. Перед выполнением второго и третьего этапов предварительно полученные заготовки первого типа и второго типа, соответственно, склеивают в блоки и подвергают полученные блоки, состоящие, соответственно, из заготовок первого и второго типов, двухсторонней шлифовке и полировке до достижения заданного размера чувствительного элемента вдоль направления <01.0> и <00.1>. После выполнения второго и третьего этапов резки указанные блоки из промежуточных заготовок первого и второго типов расклеивают и отмывают в органическом растворителе, при этом на третьем этапе получают конечный продукт в виде серии чувствительных элементов идентичной длины, каждый из которых имеет кристаллографическую ориентацию (22.0).

Пакеты заготовок шлифуются на чугунных полировальниках с использованием смазочно-охлаждающих суспензий (СОЖ) на основе ККЗ (карбида кремния зеленого) зернистостью M10 или F800 и на основе электрокорунда белого зернистостью M10 или F800. Контроль геометрических размеров блоков выполняют микрометром МЗЦ 0-25 с ценой деления 0,001 мм. Пакеты заготовок полируют на суспензии, состоящей из АСМ 5/3 (алмаз синтетический нормальной абразивной способности с размером зерна основной фракции 5-3 мкм) и деионизованной воды. Давление, создаваемое полировальником на поверхности блоков заготовок, задают из диапазона  $0,6-0,7 \cdot 10^{-3}$  Па. Шероховатость поверхности Ra получают менее 0,05 мкм. Шероховатость поверхности измеряют прибором для контроля геометрии поверхности Форм Талисерф Инфра компании Taylor Hobson.

Каждый датчик давления формируют из трех чувствительных элементов идентичной длины, при этом чувствительные элементы электрически связывают между собой параллельно и устанавливают в корпусе датчика вертикально относительно его мембран.

Ранее функции контроля геометрических размеров микроминиатюрных пьезоэлектрических элементов были доступны только дорогому измерительному оборудованию класса точности измерения  $\pm 0,1$  мкм. Данный способ позволяет отказаться от дорогого измерительного оборудования. Благодаря данному способу стало возможным осуществлять контроль геометрических размеров микроминиатюрных чувствительных элементов в блоках с использованием микрометров с ценой деления 0.001 мм.

Коммерческое преимущество данного способа состоит в том, что отсутствует необходимость использовать дорогое прецизионное измерительное оборудование, кроме того данный способ позволяет получать в промышленных масштабах идентичные по геометрическим размерам микроминиатюрные чувствительные элементы, так что разброс по линейным размерам чувствительных элементов составляет величину не более  $\pm 0,5$  мкм.

#### 40 (57) Формула изобретения

1. Способ промышленного производства прецизионных пьезоэлектрических чувствительных элементов для датчиков динамического давления, работающих при температуре из диапазона от минус 60 до плюс 650°C и давлениях из диапазона от 0,1 МПа до 25 МПа, изменяющихся с частотой не менее 10 кГц, в котором каждый датчик формируют из трех чувствительных элементов идентичной длины, при этом каждый чувствительный элемент вырезают в форме прямоугольного бруска из термически обработанных монокристаллов галлотанталата лантана, имеющих химический состав, который может быть представлен формулой  $\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_{14}$ , каждый чувствительный



элемент имеет кристаллографическую ориентацию (22.0), при этом длина чувствительного элемента совпадает с направлением, отвечающим на воздействие динамического давления, указанные чувствительные элементы изготавливают в едином технологическом цикле в три этапа, где на первом этапе выращенный объемный кристалл галлотанталата лантана режут вдоль кристаллографического полярного направления X с шагом, задающим толщину чувствительного элемента, на заготовки первого типа, имеющие плоскости реза кристаллографической ориентации (22.0), и шлифуют до заданной толщины и шероховатости; на втором этапе полученные заготовки первого типа с плоскостями реза X режут вдоль направления Y с шагом, задающим длину чувствительного элемента вдоль оси  $\langle 0.10 \rangle$ , на заготовки второго типа, а на третьем этапе полученные заготовки второго типа с плоскостями реза Y режут вдоль направления Z с шагом, определяющим ширину чувствительного элемента вдоль оси  $\langle 00.1 \rangle$ , на заготовки третьего типа, при этом перед выполнением второго и третьего этапов предварительно полученные заготовки первого типа и второго типа, соответственно, склеивают в блоки и подвергают полученные блоки, состоящие, соответственно, из заготовок первого и второго типов, двухсторонней шлифовке и полировке до достижения заданного размера чувствительного элемента вдоль направления  $\langle 01.0 \rangle$  и направления  $\langle 00.1 \rangle$ , после выполнения второго и третьего этапов резки указанные блоки из заготовок первого и второго типов расклеивают и отмывают в органическом растворителе, при этом на третьем этапе получают конечный продукт в виде серии чувствительных элементов идентичной длины, каждый из которых имеет кристаллографическую ориентацию (22.0).

2. Способ по п. 1, характеризующийся тем, что термически модифицированные кристаллы галлотанталата лантана имеют величину пьезоэлектрического модуля  $d_{12}$  равную 6,5 пКл/Н с отклонением не более  $\pm 5\%$  в диапазоне рабочих температур от минус 200°C до 450°C.

3. Способ по п. 1, характеризующийся тем, что удельное сопротивление термически модифицированных кристаллов галлотанталата лантана при температуре 250°C составляет величину не менее  $10^{11}$  Ом·см, а при температуре 600°C удельное сопротивление указанных кристаллов составляет величину не менее  $10^7$  Ом·см.

4. Способ по п. 1, характеризующийся тем, что датчики динамического давления являются пьезоэлектрическими датчиками, работающими на прямом пьезоэлектрическом эффекте и выдающими электрический сигнал в ответ на динамическое давление, действующее в направлении длины чувствительного элемента, при этом чувствительность датчика не менее 200 пКл/МПа; температурный дрейф чувствительности при температурах работы двигателей внутреннего сгорания не более  $\pm 5\%$ ; наработка на отказ не менее  $2,5 \times 10^8$  циклов, нелинейность чувствительности в диапазоне измеряемых давлений от 0,1 до 25 МПа не более  $\pm 3\%$ .

5. Способ по п. 1 или 3, характеризующийся тем, что шлифованные поверхности блоков промежуточных заготовок первого и второго типов полируют алмазным абразивом с размером зерна 5-3 мкм при давлении полировальника на поверхность блоков из диапазона от 0,6 до  $0,7 \cdot 10^3$  Па до достижения шероховатости поверхности менее 0,05 мкм.