



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01P 15/0802 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017129860, 23.08.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
23.08.2017

Дата регистрации:  
06.07.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.08.2017

(45) Опубликовано: 06.07.2018 Бюл. № 19

Адрес для переписки:  
347922, Ростовская обл., г. Таганрог,  
Некрасовский пер., 44, Южный федеральный  
университет

(72) Автор(ы):

Денисенко Марк Анатольевич (RU),  
Рындин Евгений Адальбертович (RU),  
Исаева Алина Сергеевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Южный федеральный  
университет" (Южный федеральный  
университет) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2415443 C1, 27.03.2011. RU  
2597953 C1, 20.09.2016. RU 2390031 C1,  
20.05.2010. US 6170332 B2, 09.01.2001. US  
5877421 A1, 02.03.1999.

(54) Интегральный микромеханический туннельный акселерометр

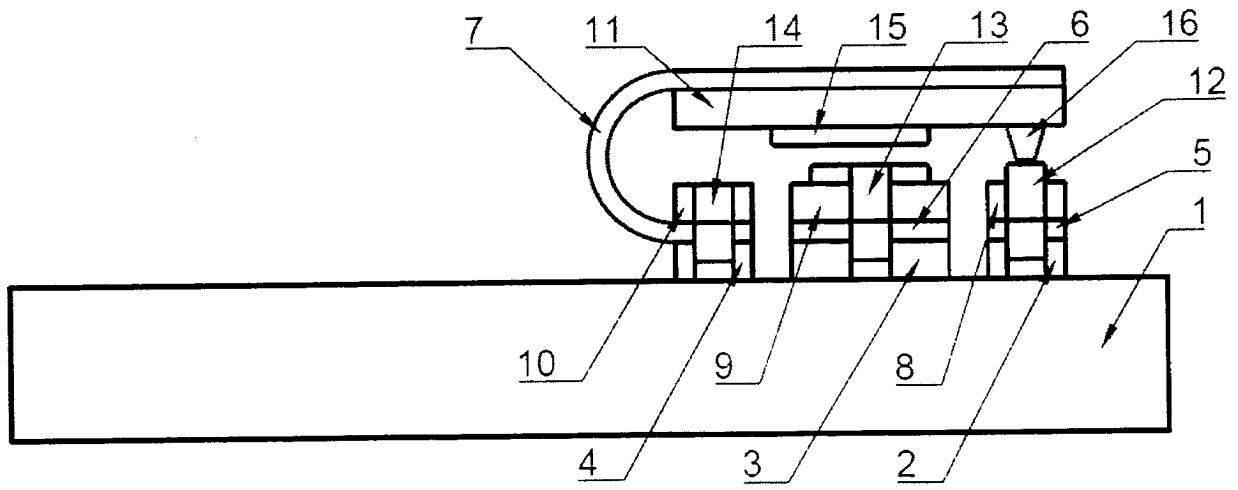
(57) Реферат:

Изобретение относится к области измерительной и микросистемной техники, а именно к интегральным измерительным элементам величин ускорения. Акселерометр содержит полуизолирующую подложку, основание неподвижного электрода, основание электростатического актюатора, якорную область подвижного электрода, технологический слой в области неподвижного электрода, технологический слой в области электростатического актюатора, упругий подвес, контактную область неподвижного электрода, контактную область электростатического актюатора, контактную область подвижного электрода, инерционную массу, неподвижный электрод, неподвижный электрод электростатического актюатора, контакт к

подвижному электроду, подвижный электрод электростатического актюатора, подвижный электрод. Преобразователь перемещения представляет собой туннельный контакт, образованный неподвижным электродом и подвижным электродом. Упругий подвес имеет J-образную форму и представляет собой сегмент цилиндрической оболочки, примыкающий одним концом к якорной области подвижного электрода и жестко закрепленный относительно полуизолирующей подложки, а вторым концом примыкающий к инерционной массе. Технический результат – повышение чувствительности измерения составляющей ускорения, направленной вдоль оси, перпендикулярной плоскости полуизолирующей подложки. 1 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2 660 412 C1

RU 2 660 412 C1



Фиг. 1

RU 2660412 C1

RU 2660412 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01P 15/0802* (2006.01)

(21)(22) Application: **2017129860, 23.08.2017**

(24) Effective date for property rights:  
**23.08.2017**

Registration date:  
**06.07.2018**

Priority:

(22) Date of filing: **23.08.2017**

(45) Date of publication: **06.07.2018** Bull. № 19

Mail address:

**347922, Rostovskaya obl., g. Taganrog, Nekrasovskij per., 44, Yuzhnyj federalnyj universitet**

(72) Inventor(s):

**Denisenko Mark Anatolevich (RU),  
Ryndin Evgenij Adalbertovich (RU),  
Isaeva Alina Sergeevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Yuzhnyj federalnyj universitet"  
(Yuzhnyj federalnyj universitet) (RU)**

(54) **INTEGRATED MICRO-MECHANICAL TUNNEL ACCELEROMETER**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to measuring and microsystem technology, namely to integral measuring elements of acceleration values. Accelerometer contains semi-insulating substrate, fixed electrode base, electrostatic actuator base, anchor region of movable electrode, technological layer in the area of fixed electrode, technological layer in the area of electrostatic actuator, elastic suspension, contact area of stationary electrode, contact area of electrostatic actuator, contact area of movable electrode, inertial mass, stationary electrode, static electrode of electrostatic actuator,

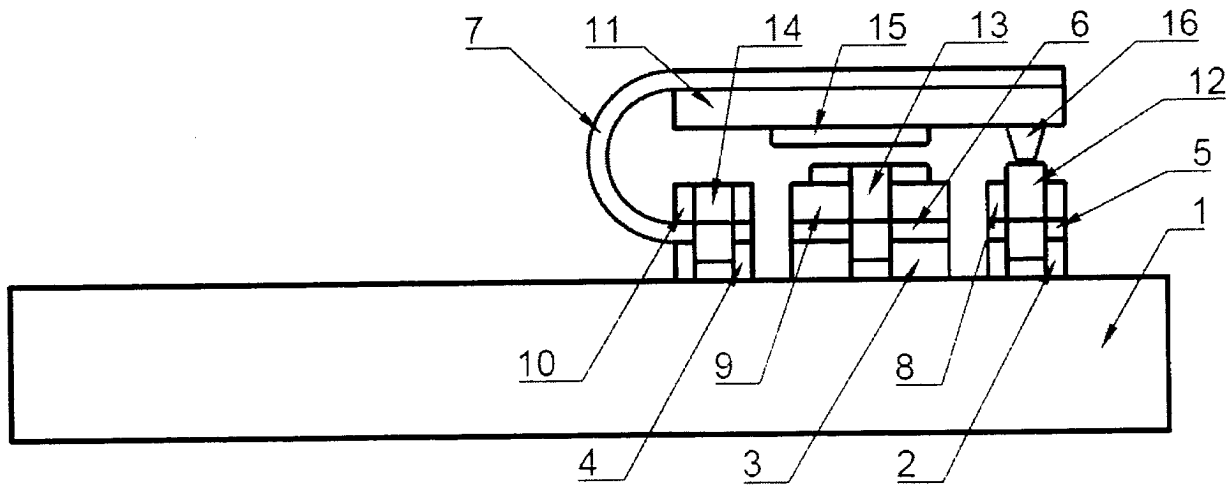
contact to movable electrode, movable electrode of electrostatic actuator, movable electrode. Displacement transducer is tunnel contact formed by fixed electrode and movable electrode. Elastic suspension has J-shaped shape consisting of segment of cylindrical shell adjacent at one end to anchor region of movable electrode and rigidly fixed relative to semi-insulating substrate, and second end adjoining inertial mass.

EFFECT: increase in measurement sensitivity of acceleration component directed along axis perpendicular to plane of semi-insulating substrate.

1 cl, 2 dwg

RU 2 660 412 C1

RU 2 660 412 C1



Фиг. 1

RU 2660412 C1

RU 2660412 C1

Предлагаемое изобретение относится к области измерительной и микросистемной техники, а более конкретно - к интегральным измерительным элементам величин ускорения.

Известен миниатюрный туннельный акселерометр на основе технологии  
5 поверхностной микросборки (см. "A New Miniaturized Surface Micromachined Tunneling Accelerometer" R.L. Kubena, G.M. Atkinson, W.P. Robinson, F.P. Stratton, IEEE Electron Device Letters, Vol. 17, No. 6, June 1996), содержащий преобразователь перемещений, электростатический актюатор, основание неподвижного электрода, неподвижный электрод электростатического актюатора, а также подложку, изолирующий слой,  
10 якорную область упругой балки, упругую балку, неподвижный электрод преобразователя перемещений, причем упругая балка представляет собой L-образную пластину из металла (золото), функционально объединяющую инерционную массу, подвижный электрод и подвижный электрод электростатического актюатора, расположенную с зазором относительно подложки, примыкающую одним своим концом  
15 к якорной области упругой балки, которая расположена на изолирующем слое, нанесенном на подложку; преобразователь перемещений образован упругой балкой с одной стороны, а с другой - острием неподвижного электрода, расположенного на основании неподвижного электрода, примыкающем к изолирующему слою, нанесенному на подложку; электростатический актюатор образован упругой балкой с одной стороны,  
20 а с другой - неподвижным электродом электростатического актюатора, расположенным на изолирующем слое, нанесенном на подложку.

Признаками аналога, совпадающими с существенными признаками, являются преобразователь перемещений, электростатический актюатор, основание неподвижного электрода, неподвижный электрод электростатического актюатора.

25 Причинами, препятствующими достижению технического результата, являются снижение чувствительности измерительного устройства при переходе к наноразмерным проектным нормам; неудовлетворительная масштабируемость конструкции в целом вследствие того, что применение однородной подвижной балки, выполненной из пластичного металла, без выраженной инерционной массы накладывает ограничения  
30 на вариативность ее механических характеристик.

Известен высокопроизводительный туннельный акселерометр (см. "A High-Performance Tunneling Accelerometer", E. Boyden, O. El Rifai, B. Hubert, M. Karpman, D. Roberts, Term Project 6.777, Introduction to Microelectromechanical Systems, Spring 1999, Prof. Stephen D. Senturia, 58 p. Online access. <<http://edboyden.org/6777paper.pdf>>), содержащий  
35 преобразователь перемещений, подвижный электрод преобразователя перемещений, неподвижный электрод преобразователя перемещений, электростатический актюатор, неподвижный электрод электростатического актюатора, а также подложку, изолирующий слой, якорную область упругой балки, упругую балку, неподвижный электрод системы самотестирования, контактную область подвижного электрода,  
40 причем упругая балка представляет собой пластину из полупроводникового материала (кремний), функционально объединяющую инерционную массу, подвижный электрод системы самотестирования и подвижный электрод электростатического актюатора, расположенную с зазором относительно подложки, на одном конце которой размещен заостренный металлический подвижный электрод, а другим концом примыкающую к  
45 якорной области упругой балки, которая расположена на изолирующем слое, нанесенном на подложку; преобразователь перемещений образован заостренным металлическим подвижным электродом, расположенным на упругой балке, с одной стороны, а с другой - неподвижным электродом, примыкающим к изолирующему слою,

нанесенному на подложку; электростатический актюатор образован упругой балкой с одной стороны, а с другой - неподвижным электродом электростатического актюатора, расположенным на изолирующем слое, нанесенном на подложку; контактные области системы самотестирования образованы упругой балкой с одной стороны, а с другой - неподвижным электродом системы самотестирования, расположенным на изолирующем слое, нанесенном на подложку.

Признаками аналога, совпадающими с существенными признаками, являются преобразователь перемещений, подвижный электрод преобразователя перемещений, неподвижный электрод преобразователя перемещений, электростатический актюатор, неподвижный электрод электростатического актюатора.

Причинами, препятствующими достижению технического результата, являются снижение чувствительности измерительного устройства при переходе к наноразмерным проектным нормам; неудовлетворительная масштабируемость конструкции в целом вследствие того, что применение однородной подвижной балки, выполненной из полупроводникового материала, без выраженной инерционной массы накладывает ограничения на вариативность ее механических характеристик.

Из известных наиболее близким по технической сущности к заявляемому объекту является многоосевой интегральный микромеханический туннельный акселерометр (см. «Многоосевой интегральный микромеханический туннельный акселерометр», Б.Г. Коноплев, Н.К. Приступчик, Е.А. Рындин, RU 2 415 443 C1, 2011), содержащий полуизолирующую подложку, преобразователь перемещений, инерционную массу, основание неподвижного электрода, якорную область подвижного электрода, преобразователь перемещений, неподвижный электрод, подвижный электрод, а также активные области подвеса, пассивную область подвеса, два дополнительных подвеса с активными областями и с пассивными областями, две дополнительные инерционные массы, два дополнительных неподвижных электрода, два дополнительных подвижных электрода и два дополнительных туннельных преобразователя перемещения, причем преобразователь перемещения представляет собой туннельный контакт, образованный неподвижным электродом, который представляет собой цилиндрическую оболочку, жестко закрепленную относительно полуизолирующей подложки.

Признаками прототипа, совпадающими с существенными признаками, являются полуизолирующая подложка, преобразователь перемещений, инерционная масса, основание неподвижного электрода, якорная область подвижного электрода, неподвижный электрод, подвижный электрод.

Причинами, препятствующими достижению технического результата, являются относительно большая площадь контактов туннельного преобразователя; отсутствие электростатического преобразователя.

Задачей предлагаемого изобретения является обеспечение высокой чувствительности измерения составляющей ускорения, направленной вдоль оси, перпендикулярной плоскости полуизолирующей подложки, повышение технологичности, а также интегральная реализация в наномасштабе.

Для достижения необходимого технического результата в интегральный микромеханический туннельный акселерометр, содержащий полуизолирующую подложку, преобразователь перемещений, инерционную массу, основание неподвижного электрода, якорную область подвижного электрода, неподвижный электрод, подвижный электрод, введены основание электростатического актюатора, технологический слой в области неподвижного электрода, технологический слой в области электростатического актюатора, упругий подвес, контактная область неподвижного

электрода, контактная область электростатического актюатора, контактная область подвижного электрода, неподвижный электрод электростатического актюатора, контакт к подвижному электроду, подвижный электрод электростатического актюатора, причем преобразователь перемещения представляет собой туннельный контакт, образованный неподвижным электродом, примыкающим к контактной области неподвижного электрода, расположенной на технологическом слое в области неподвижного электрода, который примыкает к основанию неподвижного электрода, жестко закрепленному на полуизолирующей подложке, и подвижным электродом, примыкающим к инерционной массе, на которой расположен подвижный контакт электростатического актюатора, и которая примыкает к упругому подвесу; упругий подвес имеет J-образную форму и представляет собой сегмент цилиндрической оболочки, примыкающий одним концом к контактной области подвижного электрода, контакту подвижного электрода и к якорной области подвижного электрода, жестко закрепленный относительно полуизолирующей подложки, а вторым концом примыкающий к инерционной массе; электростатический актюатор образован неподвижным отклоняющим электродом, примыкающим к контактной области электростатического актюатора, расположенной на технологическом слое в области электростатического актюатора, который примыкает к якорной области электростатического актюатора, жестко закрепленной на полуизолирующей подложке, и подвижным электродом электростатического актюатора, примыкающим к инерционной массе.

Сравнивая предлагаемое устройство с прототипом, видим, что оно содержит новые признаки, то есть соответствует критерию новизны. Проводя сравнение с аналогами, приходим к выводу, что предлагаемое устройство соответствует критерию "существенные отличия", так как в аналогах не обнаружены предъявляемые новые признаки. Получен положительный эффект, заключающийся в обеспечении высокой чувствительности измерения составляющей ускорения, направленной вдоль оси, перпендикулярной плоскости полуизолирующей подложки, повышении технологичности, а также в возможности интегральной реализации в наномасштабе.

На фиг. 1 приведена структура предлагаемого интегрального микромеханического туннельного акселерометра. Регистрация линейного ускорения осуществляется в направлении вертикальной оси.

На фиг. 2 приведена изометрическая проекция интегрального микромеханического туннельного акселерометра.

Интегральный микромеханический туннельный акселерометр содержит полуизолирующую подложку 1, основание неподвижного электрода 2, основание электростатического актюатора 3, якорную область подвижного электрода 4, технологический слой в области неподвижного электрода 5, технологический слой в области электростатического актюатора 6, несущий упругий подвес 7, контактная область неподвижного электрода 8, контактная область электростатического актюатора 9, контактная область подвижного электрода 10, инерционная масса 11, неподвижный электрод 12, неподвижный электрод электростатического актюатора 13, контакт к подвижному электроду 14, подвижный электрод электростатического актюатора 15, подвижный электрод 16, причем преобразователь перемещения представляет собой туннельный контакт, образованный неподвижным электродом 12, примыкающим к контактной области неподвижного электрода 8, расположенной на технологическом слое в области неподвижного электрода 5, который примыкает к основанию неподвижного электрода 2, жестко закрепленному на полуизолирующей подложке 1, и подвижным электродом 16, примыкающим к инерционной массе 11, на которой

расположен подвижный электрод электростатического актюатора 15, и которая примыкает к несущему упругому подвесу 7; упругий подвес имеет J-образную форму и представляет собой сегмент цилиндрической оболочки, примыкающий одним концом к контактной области подвижного электрода 10, контакту подвижного электрода 14 и якорной области подвижного электрода 4 и жестко закрепленный относительно полуизолирующей подложки 1, а незакрепленным вторым концом примыкающий к инерционной массе 11; электростатический актюатор образован неподвижным отклоняющим электродом 13, примыкающим к контактной области электростатического актюатора 9, расположенной на технологическом слое в области электростатического актюатора 6, который примыкает к якорной области электростатического актюатора 3, жестко закрепленной на полуизолирующей подложке 1, и подвижным электродом электростатического актюатора 15, примыкающим к инерционной массе 11.

Несущий упругий подвес 7, технологический слой в области электростатического актюатора 6 и технологический слой в области неподвижного контакта 5 выполнены из двухслойного материала таким образом, что поверхности, примыкающие к якорной области подвижного электрода 4 (то есть внешняя поверхность упругого подвеса), якорной области электростатического актюатора 3 и якорной области неподвижного электрода 2, соответственно сформированы из сжатой пленки арсенида индия второго типа проводимости, а поверхности, примыкающие к контактной области подвижного электрода 10 (то есть внутренняя поверхность упругого подвеса), контактной области электростатического актюатора 9 и контактной области неподвижного электрода 8 сформированы из растянутой пленки арсенида галлия второго типа проводимости.

Работает устройство следующим образом. При подаче положительного напряжения питания на неподвижный электрод 12 относительно подвижного электрода 16 (а соответственно и относительно контакта к подвижному электроду 14) вследствие малости разделяющего их пространственного зазора электроны туннелируют из области подвижного электрода 16 в область неподвижного электрода 12 сквозь потенциальный барьер, образованный пространственным зазором, и создают туннельный ток, величина которого определяется составляющей линейного ускорения в направлении оси, перпендикулярной плоскости полуизолирующей подложки.

При возникновении ускорения полуизолирующей подложки 1 в направлении, совпадающем с отрицательным направлением оси, перпендикулярной плоскости полуизолирующей подложки, инерционная масса 11 с закрепленным на ней подвижным электродом 16 под действием сил инерции перемещается в противоположном направлении, инициируя упругую деформацию соединенного с ней несущего упругого подвеса 7 в области сегмента цилиндрической оболочки. Значение силы туннельного тока, протекающего между подвижным электродом 16 и неподвижным электродом 12, уменьшается вследствие увеличения пространственного зазора между электродами 16 и 12.

При возникновении ускорения полуизолирующей подложки 1 в направлении, совпадающем с положительным направлением оси, перпендикулярной плоскости полуизолирующей подложки, инерционная масса 11 с закрепленным на ней подвижным электродом 16 под действием сил инерции перемещается в противоположном направлении, инициируя упругую деформацию соединенного с ней несущего упругого подвеса 7 в области сегмента цилиндрической оболочки. Значение силы туннельного тока, протекающего между подвижным электродом 16 и неподвижным электродом 12, увеличивается вследствие уменьшения пространственного зазора между электродами 16 и 12.



При подаче напряжения на неподвижный электрод электростатического актюатора 12 относительно подвижного электрода электростатического актюатора 15 можно добиться взаимного притяжения или отталкивания подвижных и неподвижных электродов за счет возникновения электростатических сил, что позволяет варьировать величину пространственного зазора между электродами 16 и 12. Таким образом, изменяя режимы подачи напряжения на электроды 16 и 12, можно как осуществлять калибровку прибора в процессе эксплуатации, так и проводить его самотестирование. Режимы при этом будут определяться применяемыми схемами управления электростатическим актюатором и обработки сигналов акселерометра.

Таким образом, предлагаемое устройство представляет собой интегральный микромеханический туннельный акселерометр, обеспечивающий за счет эффекта туннелирования носителей заряда между подвижным и неподвижным электродами высокую чувствительность измерения составляющей линейного ускорения в направлении оси, перпендикулярной плоскости полуизолирующей подложки, а также возможность интегральной реализации в наномасштабе.

#### (57) Формула изобретения

1. Интегральный микромеханический туннельный акселерометр, содержащий полуизолирующую подложку, преобразователь перемещений, инерционную массу, основание неподвижного электрода, якорную область подвижного электрода, неподвижный электрод, подвижный электрод, отличающийся тем, что в него введены основание электростатического актюатора, технологический слой в области неподвижного электрода, технологический слой в области электростатического актюатора, несущий упругий подвес, контактная область неподвижного электрода, контактная область электростатического актюатора, контактная область подвижного электрода, неподвижный электрод электростатического актюатора, контакт к подвижному электроду, подвижный электрод электростатического актюатора, причем преобразователь перемещения представляет собой туннельный контакт, образованный неподвижным электродом, примыкающим к контактной области неподвижного электрода, расположенной на технологическом слое в области неподвижного электрода, который примыкает к основанию неподвижного электрода, жестко закрепленному на полуизолирующей подложке, и подвижным электродом, примыкающим к инерционной массе, на которой расположен подвижный электрод электростатического актюатора, и которая примыкает к несущему упругому подвесу; упругий подвес имеет J-образную форму и представляет собой сегмент цилиндрической оболочки, примыкающий одним концом к контактной области подвижного электрода, контакту подвижного электрода и к якорной области подвижного электрода, жестко закрепленный относительно полуизолирующей подложки, а вторым концом примыкающий к инерционной массе; электростатический актюатор образован неподвижным электродом электростатического актюатора, примыкающим к контактной области электростатического актюатора, расположенной на технологическом слое в области электростатического актюатора, который примыкает к якорной области электростатического актюатора, жестко закрепленной на полуизолирующей подложке, и подвижным электродом электростатического актюатора, примыкающим к инерционной массе.

2. Интегральный микромеханический туннельный акселерометр по п. 1, отличающийся тем, что несущий упругий подвес, технологический слой в области электростатического актюатора и технологический слой в области неподвижного контакта выполнены из двухслойного материала таким образом, что поверхности,

примыкающие к якорной области подвижного электрода, якорной области электростатического актюатора и якорной области неподвижного электрода, соответственно сформированы из сжатой пленки арсенида индия второго типа проводимости, а поверхности, примыкающие к контактной области подвижного электрода, контактной области электростатического актюатора и контактной области неподвижного электрода, сформированы из растянутой пленки арсенида галлия второго типа проводимости.

10

15

20

25

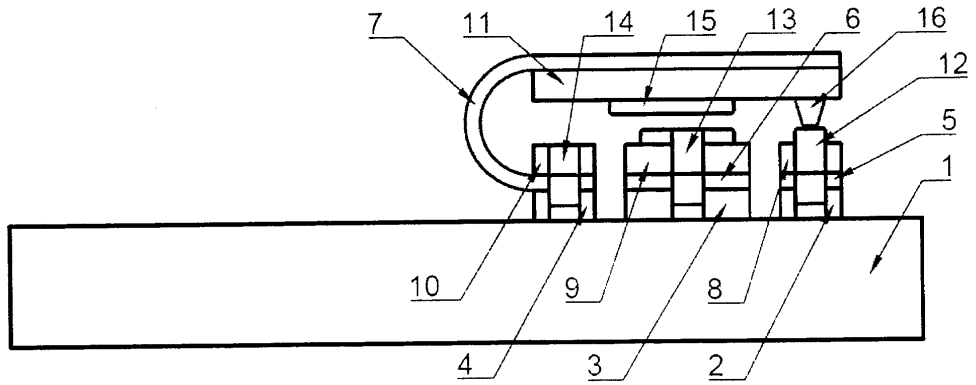
30

35

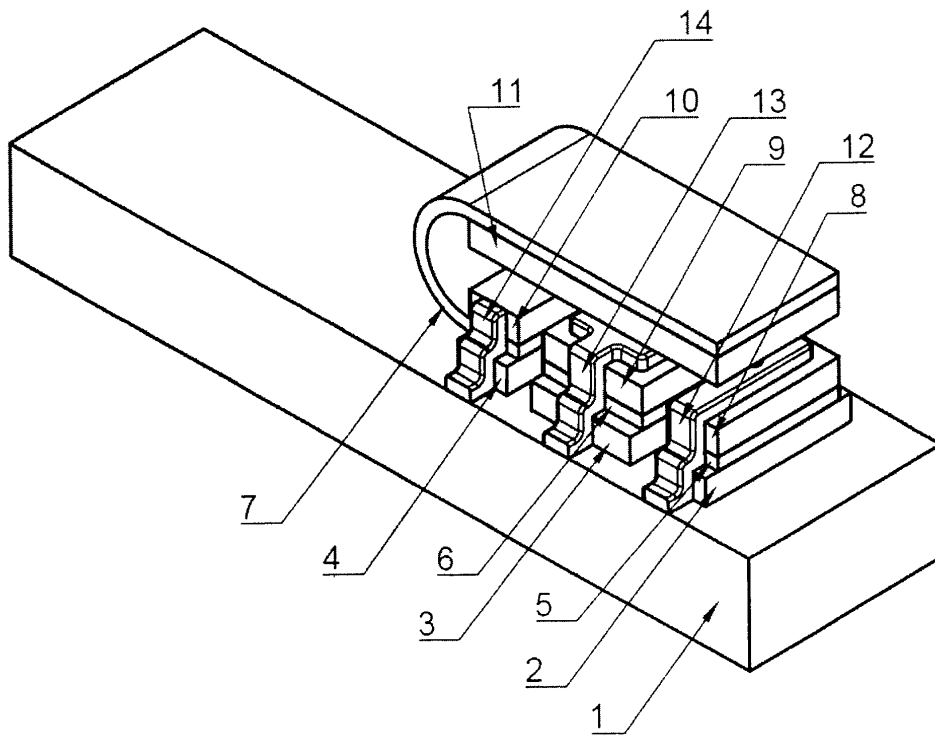
40

45

Интегральный микромеханический  
туннельный акселерометр



Фиг. 1



Фиг. 2