



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012130967/28, 20.07.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**20.07.2012**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **20.07.2012**

(45) Опубликовано: 10.03.2014 Бюл. № 7

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 7653985 B1, 02.02.2010. US 6619123 B2, 16.09.2003. US 6682871 B2, 27.01.2004. US 6875936 B1, 05.04.2005. WO 01/35433 A2, 17.05.2001. WO 03/032349 A1, 17.04.2003. RU 2006993 С1, 30.01.1994.

Адрес для переписки:  
**105005, Москва, 2-я Бауманская, 5, МГТУ им.  
Н.Э. Баумана, Центр защиты  
интеллектуальной собственности, Е.С.  
Халатовой**

(72) Автор(ы):

**Борзов Андрей Борисович (RU),  
Лихоеденко Константин Павлович (RU),  
Васильев Дмитрий Александрович (RU),  
Капустян Андрей Владимирович (RU),  
Цыганков Виктор Юрьевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ  
им. Н.Э. Баумана) (RU)**

**(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО КЛЮЧА ДЛЯ  
ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ СТАРТЕ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области космического приборостроения и микроэлектроники и может быть использовано для систем защиты информационно-телекоммуникационной аппаратуры ИТА беспилотных малых космических аппаратов от высоких стартовых перегрузок на заданных пороговых значениях. Изобретение обеспечивает повышение технологичности, снижение трудоемкости способа получения групп микроэлектромеханических ключей, повышение надежности срабатывания при достижении пороговых величин ускорений при электромагнитоэлектрическом старте беспилотных малых космических аппаратов. В способе получения микроэлектромеханического ключа, являющегося основой системы защиты информационно-телекоммуникационной

аппаратуры космических аппаратов при электромагнитном старте с перегрузками от нескольких тысяч до десятков тысяч единиц ускорений свободного падения тела, формируют чувствительный блок, состоящий из балки и опор, примыкающий при воздействии ускорения к подложке с помощью контактных элементов, формируя при этом сигнал, указывающий на порог величины ускорения, по которому судят о перегрузке аппаратуры, формируют травлением через маску на плоской полупроводниковой подложке проводящие дорожки и контактные площадки из системы металлов ванадий-алюминий, а чувствительный блок получают с помощью двухслойной системы металлов железо-никель, которые осаждают друг на друга в едином технологическом цикле термического испарения в вакууме, которые затем травят через маску в водном растворе

**R U 2 5 0 9 0 5 1 C 1**

R U 2 5 0 9 0 5 1 C 1

соляной кислоты до получения заданной формы чувствительного блока в одном

технологическом цикле. 4 з.п. ф-лы, 3 ил., 2 табл.

R U 2 5 0 9 0 5 1 C 1

R U 2 5 0 9 0 5 1 C 1

RUSSIAN FEDERATION



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) RU (11) 2 509 051 (13) C1

(51) Int. Cl.  
**B81C 1/00** (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012130967/28, 20.07.2012

(24) Effective date for property rights:  
20.07.2012

Priority:

(22) Date of filing: 20.07.2012

(45) Date of publication: 10.03.2014 Bull. 7

Mail address:

105005, Moskva, 2-ja Baumanskaja, 5, MGTU im.  
N.Eh. Baumana, Tsentr zashchity intellektual'noj  
sobstvennosti, E.S. Khalatovo

(72) Inventor(s):

Borzov Andrej Borisovich (RU),  
Likhoedenko Konstantin Pavlovich (RU),  
Vasil'ev Dmitrij Aleksandrovich (RU),  
Kapustjan Andrej Vladimirovich (RU),  
Tsygankov Viktor Jur'evich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe budzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij  
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni  
N.Eh. Baumana" (MGTU im. N.Eh. Baumana)  
(RU)

**(54) METHOD TO MANUFACTURE MICROELECTROMECHANICAL KEY FOR PROTECTION OF INFORMATION-TELECOMMUNICATION EQUIPMENT OF SPACECRAFTS DURING ELECTROMAGNET START**

(57) Abstract:

FIELD: instrument making.

SUBSTANCE: in the method to produce a microelectromechanical key, being the basis of the system of protection of information-telecommunication equipment of spacecrafts during electromagnetic start with overloads from several thousands to tens of thousands of units of accelerations of free body fall, a sensitive block is formed, made of a beam and supports, adjoining under action of acceleration to the substrate with the help of contact elements, forming a signal at the same time, which indicates the threshold of the acceleration value, by which they decide on overload of equipment, conducting paths and contact sites are formed by etching via a mask on a flat semiconductor

substrate, using a system of vanadium-aluminium metals, and the sensitive block is produced with the help of a double-layer system of iron-nickel metals, which deposit each other in a single process cycle of thermal evaporation in vacuum, which are then etched via the mask in the aqueous solution of hydrochloric acid to produce the specified shape of the sensitive block in one cycle.

EFFECT: higher manufacturability, reduced labour intensiveness of the method to produce groups of microelectromechanical keys, higher reliability of actuation when threshold values of accelerations are achieved, during electromagnetoelectric start of unmanned small spacecrafts.

5 cl, 3 dwg, 2 tbl

R U 2 5 0 9 0 5 1 C 1

Изобретение относится к области космического приборостроения и микроэлектроники и может быть использовано для изготовления систем защиты информационно-телеоммуникационной аппаратуры космических аппаратов (ИТА КА), в частности беспилотных малогабаритных космических аппаратов.

5 Впервые способ получения ключа (шок сенсора) был описан в патенте США №3101069, опубл. 20.08.1963 года, НКЛ 116-114. Массогабариты ключа намного превышали сегодняшний уровень. Совершенствование ключа проводилось в направлении миниатюризации. Недостатком данного метода является то, что

10 для изготовления ключа используются методы механической обработки, а само изделие является механическим изделием с очень низкой надежностью.

Наиболее близким к заявляемому изобретению является патент США №6619123 B2. МКЛ G01P 15/10, НКЛ 73-514.29, опубл. 16.09.2003 г., в котором изложен способ

изготовления ключа с помощью ряда элементов, чувствительных к ускорению.

15 Инерционная масса закреплена на неподвижной части с помощью изгибающегося мостика - кантилевера. При достаточно высоком ускорении инерционная масса замыкается с электродом и детектирующее устройство регистрирует отклонение. Имеется тестовый электрод, который создает электрическое поле, заставляющее 20 инерционную массу отклониться и замкнуться на электрод. Зная напряжение, поданное на тестовый электрод, и силу, созданную этим напряжением, возможно определить минимальное ускорение, которое зарегистрирует детектирующее устройство. Каждый элемент образован рельефным элементом, к которому

25 присоединен кантилевер, при воздействии на который ускорения чувствительная масса, сформированная на кантилевере, опускает кантилевер вниз к контактной площадке, при этом формируется детектируемый электрический сигнал.

Технологической базой изготовления этого ключа являются объемная или 30 поверхностная микромеханика. Сигнал формируется при касании к контактной площадке кантилевера с чувствительной к разному ускорению массой при воздействии перегрузки. Изготовление и надежность проводящих и контактных площадок связаны со сложностями образованного рельефа, нанесением металлизации на рельеф.

35 Необходимо сделать 7 фотолитографий и соответствующих технологически сложных операций, использующих дорогостоящее оборудование и реактивы для создания одного интегрированного сенсорного чувствительного элемента. Ключ испытывает большие перегрузки и возникающие напряжения снижают надежность работы ключа в системе защиты ИТА КА. Для контроля детектируемых величин ускорений специально выделены группы элементов, формирующие эталонный сигнал.

40 При этом топологические и геометрические размеры ключа уменьшаются при увеличении действующих ускорений. Возникает проблема изготовления балок и опор с меньшими размерами, более высокими требованиями по адгезии между материалами, с повышенными требованиями к совмещению.

45 Проблема изготовления с такими требованиями обычно решается с использованием еще более дорогостоящего оборудования, обеспечивающего высокую степень совмещения последовательно изготавливаемых технологических слоев микроэлектромеханического ключа на стадиях формирования скрытого изображения в слое фоторезиста, изготовления элементов ключа сухим реактивным травлением с 50 высоким аспектным отношением, нанесением металлических слоев для проводящих дорожек и контактных площадок по сложному развитому рельефу, где возникает проблема обрыва металлизации на краях элементов, изготовленных с высокими аспектными соотношениями.

Недостатком способа является низкая технологичность, неопределенность выбора пороговых величин ускорения, необходимость использования дорогостоящих оборудования и химических реагентов.

Задачей изобретения является повышение технологичности, снижение трудоемкости способа получения групп микроэлектромеханических ключей, повышение надежности срабатывания при достижении пороговых величин ускорений при электромагнитоэлектрическом старте беспилотных малых космических аппаратов.

Для реализации поставленной задачи в способе получения

10 микроэлектромеханического ключа, для защиты информационно-телекоммуникационной аппаратуры космических аппаратов при электромагнитном старте, включающий формирование чувствительного блока, состоящего из балки и опор, примыкающего при воздействии ускорения к подложке с помощью контактных элементов, формируя сигнал, указывающий на порог величины ускорения, по 15 которому судят о перегрузке аппаратуры, формируют травлением через маску на плоской полупроводниковой подложке проводящие дорожки и контактные площадки из системы металлов ванадий-алюминий, а чувствительный элемент получают с помощью двухслойной системы металлов железо-никель, которые осаждают друг на друга в едином технологическом цикле термического испарения в вакууме, которые 20 затем травят через маску в водном растворе соляной кислоты до получения заданной формы чувствительного блока - балки из никеля и опор из железа в одном технологическом цикле.

При этом подложка может быть выполнена из любой полупроводниковой или 25 диэлектрической подложки.

Для обеспечения адгезии железа к подложке используется напыление тонкого слоя соответствующего металлического материала, которые наносят, например, путем магнетронного распыления.

30 Для уменьшения наводороживания железа в водный раствор соляной кислоты добавляют ингибиторы.

В результате описываемых технологических действий топологические и геометрические размеры ключа уменьшаются при увеличении воздействующих 35 ускорений. Возникает проблема изготовления балок и опор с меньшими размерами, более высокими требованиями по адгезии между материалами, с повышенными требованиями к совмещению.

Изобретение поясняется чертежами, где на фиг 1 изображена структурная схема 40 микроэлектромеханического ключа, на фиг.2 - фотография изготовленного экспериментального образца кристалла с микроэлектромеханическими ключами для модуля защиты ИТА КА; а на фиг.3 - фотография модуля защиты ИТА КА в сборе.

На чертеже изображены: подложка 1 из кремния, чувствительный элемент, состоящий из опор 2 и балки 3, с инерционной массой.

Способ осуществляют следующим образом.

45 Для получения микроэлектромеханических ключей для их дальнейшего использования в качестве элементов системы защиты ИТА КА предлагается использовать широко распространенный и в связи с этим недорогой метод химического раздельного интенсивного травления металлов. На подложку 1 из кремния в едином цикле термического нанесения в вакууме из разных мишеней в 50 одной вакуумной камере наносят слои железа и никеля. При этом достигается высокая адгезия между слоями. Одной фотолитографией формируют самосовмещенные топологии балки 3 (с инерционной массой, находящейся на упругой части балки) и

опор 2 с соответствующими технологическими допусками. Последующее травление с разными скоростями железа и никеля формирует микроэлектромеханический ключ. Для травления материалов балки и опор выбран жидкостной метод травления в водном растворе 20% соляной кислоты при температуре 40°C в течение 35 минут.

Для формирования системы защиты ИТА КА к группе микроэлектромеханических ключей на плоской кремниевой подложке формируются металлизация (токопроводящие дорожки) и контактные площадки из системы ванадий-алюминий. Для этого используется одна фотолитография. Причем формирование металлизации и контактных площадок может быть выполнено до и после формирования микроэлектромеханических ключей.

В рамках экспериментальной работы была получена серия образцов микроэлектромеханических ключей, данные о которых представлены в таблицах 1, 2.

		Таблица 1
- Геометрические размеры ключа первого типа		
Геометрический размер		Значение, мкм
Длина ключа		600,0
Длина упругой части (балки) ключа		400,0
Длина и ширина опоры и инерционной массы		100,0
Ширина упругой части (балки) ключа		36,0
Высота инерционной массы		16,2
Высота опор		1,5
Высота упругой части (балки) ключа		2,0
		Таблица 2
- Геометрические размеры ключа второго типа		
Геометрический размер		Значение, мкм
Длина ключа		700,0
Длина упругой части (балки) ключа		500,0
Длина и ширина опоры и инерционной массы		100,0
Ширина упругой части (балки) ключа		100,0
Высота инерционной массы		18,5
Высота опор		1,5
Высота упругой части (балки) ключа		2,0

Преимуществом изобретения по сравнению с прототипом и другими известными методами являются повышение технологичности за счет исключения пяти фотолитографических и сопутствующих им технологических процессов, формирование самосовмещенных балок и опор в одном технологическом цикле, увеличение адгезионной силы между слоями микроэлектромеханического ключа при формировании слоев ключа в едином цикле вакуумного напыления, повышение надежности системы защиты ИТА КА за счет формирования слоев металлизации и контактных площадок на плоской, безрельефной подложке, без риска обрыва металлизации на рельефных элементах с высоким аспектным отношением.

#### Формула изобретения

1. Способ изготовления микроэлектромеханического ключа для защиты информационно-телекоммуникационной аппаратуры космических аппаратов при электромагнитном старте, включающий формирование чувствительного блока, состоящего из балки и опор, примыкающего при воздействии ускорения к подложке с помощью контактных элементов, формируя сигнал, указывающий на порог величины ускорения, по которому судят о перегрузке аппаратуры, отличающийся тем, что формируют травлением через маску на плоской полупроводниковой подложке

проводящие дорожки и контактные площадки из системы металлов ванадий-алюминий, а чувствительный блок получают с помощью двухслойной системы металлов железо-никель, которые осаждают друг на друга в едином технологическом цикле термического испарения в вакууме, которые затем травят через маску в водном растворе соляной кислоты до получения заданной формы чувствительного блока - балки из никеля и опор из железа в одном технологическом цикле.

5 2. Способ изготовления микроэлектромеханического ключа для защиты информационно-телеkomмуникационной аппаратуры космических аппаратов при 10 электромагнитном старте по п.1, отличающийся тем, что в качестве подложки используется любая полупроводниковая или диэлектрическая подложка.

15 3. Способ изготовления микроэлектромеханического ключа для защиты информационно-телеkomмуникационной аппаратуры космических аппаратов при электромагнитном старте по п.1, отличающийся тем, что для обеспечения адгезии 19 железа к подложке используется напыление тонкого слоя соответствующего металлического материала.

20 4. Способ изготовления микроэлектромеханического ключа для защиты информационно-телеkomмуникационной аппаратуры космических аппаратов при электромагнитном старте по п.1, отличающийся тем, что в водный раствор соляной 25 кислоты добавляют ингибиторы для уменьшения наводороживания железа.

25 5. Способ изготовления микроэлектромеханического ключа для защиты информационно-телеkomмуникационной аппаратуры космических аппаратов при электромагнитном старте по п.1, отличающийся тем, что металлические слои наносят путем магнетронного распыления.

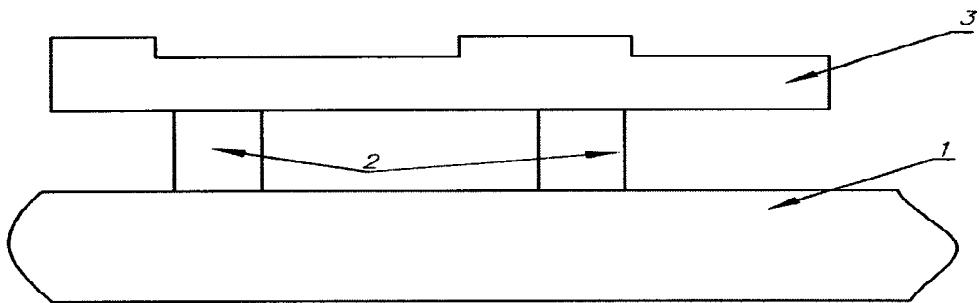
30

35

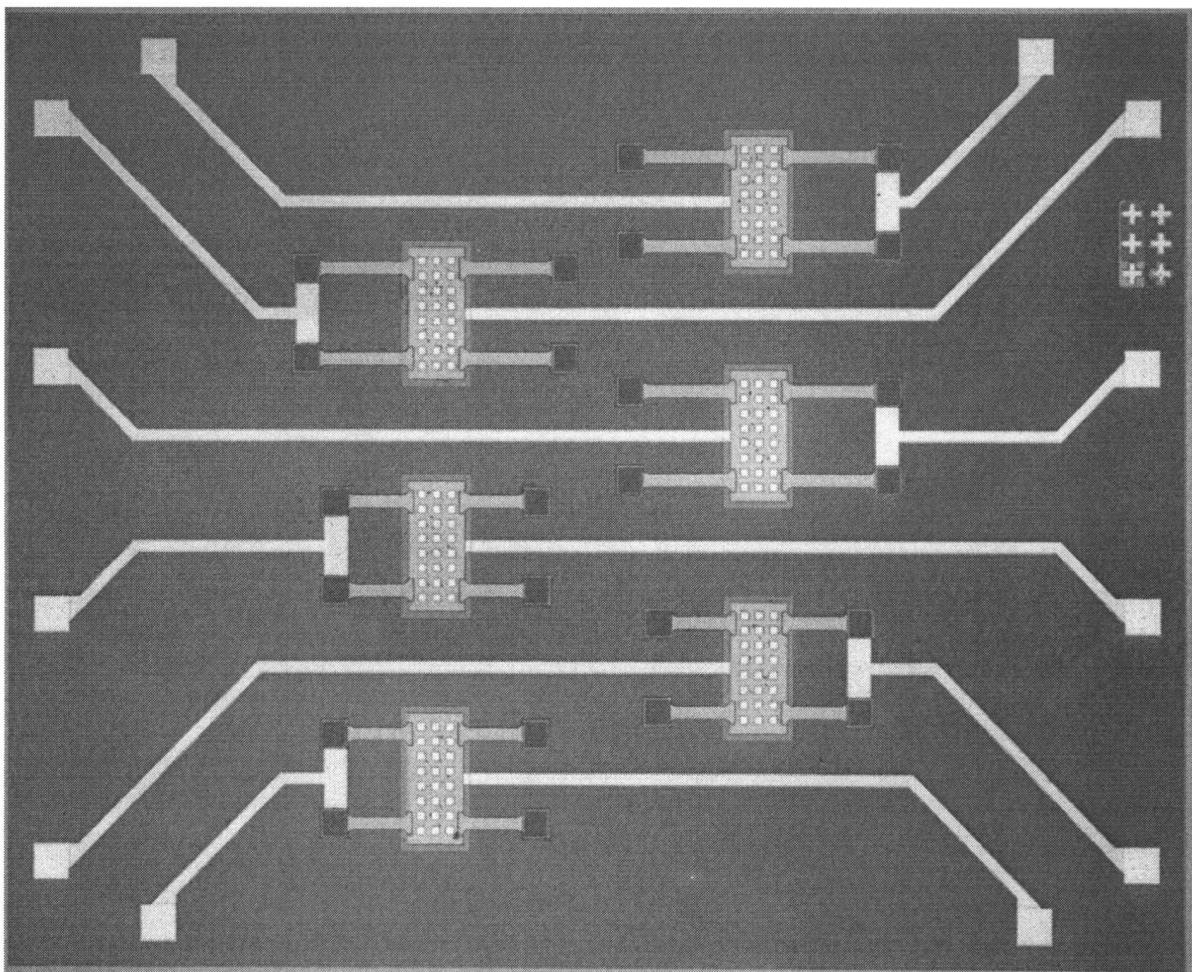
40

45

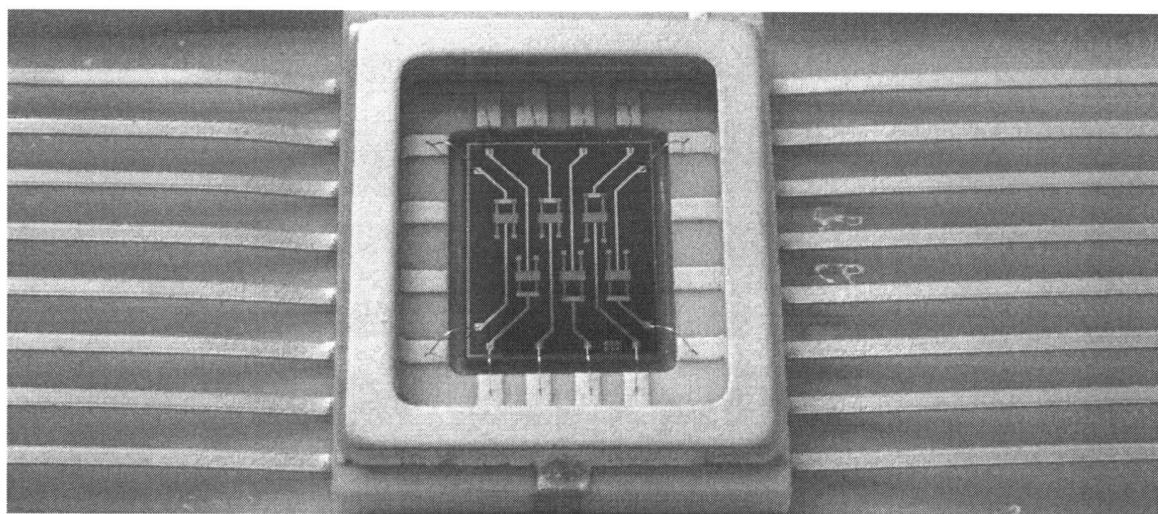
50



Структурная схема микроэлектромеханического ключа  
Фиг.1



фотография экспериментально изготовленного образца  
криスタла с микроэлектромеханическими ключами для модуля защиты  
информационно-коммуникационной аппаратуры космических аппаратов  
Фиг.2



Фотография модуля защиты информационно-коммуникационной аппаратуры  
космических аппаратов в сборе

Фиг.3