

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С  
ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) Всемирная Организация  
Интеллектуальной Собственности  
Международное бюро



(43) Дата международной публикации  
31 декабря 2008 (31.12.2008)

РСТ

(10) Номер международной публикации  
**WO 2009/002215 A1**

(51) Международная патентная классификация:  
**B82B 1/00** (2006.01) **B82B 3/00** (2006.01)

(74) Агент: **КОНОПЛЯНИКОВА, Татьяна Николаевна (KONOPLYANNIKOVA, Tatyana Nikolaevna)**; Рязанский пр-кт, 30/15, офис 1001, Москва, 109428, Moscow (RU).

(21) Номер международной заявки: РСТ/RU2008/000331

(22) Дата международной подачи:  
28 мая 2008 (28.05.2008)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(30) Данные о приоритете:  
2007123444 22 июня 2007 (22.06.2007) RU

(81) Указанные государства (если не указано иначе, для каждого вида национальной охраны): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(71) Заявители и

(72) Изобретатели: **ХАРТОВ, Станислав Викторович (KHARTOV, Stanislav Viktorovich)** [RU/RU]; ул. лет ВЛКСМ, д. 34, кв. 69, Железнодорожск, Красноярский край, 662978, Zheleznogorsk (RU). **НЕВОЛИН, Владимир Кириллович (NEVOLIN, Vladimir Kirillovich)** [RU/RU]; Зеленоград, К-482, корпус 162, кв. 216, Москва, 124482, Moscow (RU).

(84) Указанные государства (если не указано иначе, для каждого вида региональной охраны): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), европейский патент (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(72) Изобретатель: **СИМУНИН, Михаил Максимович (SIMUNIN, Mihail Maksimovich)**; Зеленоград, кор. 1457, кв. 54, Москва, 125617, Moscow (RU).

Опубликована:

— с отчётом о международном поиске

[продолжение на следующей странице]

(54) Title: NANO-ELECTROMECHANICAL STRUCTURE AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Название изобретения: НАНОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И СПОСОБ ЕЕ ПОЛУЧЕНИЯ

(57) Abstract: The invention relates to micro- and nano-electromechanical devices and to a method for the production thereof. One of the variants of the inventive method for producing a nano-electromechanical structure is based on the use of self-organising and self-alignment mechanisms, thereby unlimiting the substantial geometrical parameters thereof with respect to possibilities of traditional lithography, which makes it possible to achieve an integration degree equal to  $10^{16} \text{ m}^{-2}$  and greater. Moreover, one of the inventive aspects uses the resonance frequency of the elements in the form of an independent addressing co-ordinate thereof, thereby making it possible to reduce the density of the required interconnections. The other aspect of the invention provides a gas sensor exhibiting a high sensitivity of the measurement of given gases or particles in the atmosphere, having multipurpose and flexible selectivity mechanisms and a controllable process of sensory ability regeneration. The inventive structure provides a simple method for measuring the resonance frequency of an oscillating element, which does not require high-frequency signal analysis.

(57) Реферат: Изобретение относится к микро- и нанозлектромеханическим устройствам и к способу их изготовления. В одном из вариантов реализации изобретения в основе получения нанозлектромеханической структуры лежат механизмы самоорганизации и самосовмещения, в результате чего ее существенные геометрические параметры не испытывают ограничения со стороны возможностей традиционной фотолитографии. Данное обстоятельство обеспечивает достижение степени интеграции до  $10^{16} \text{ м}^{-2}$  и выше. Кроме того, в одном из аспектов изобретения в качестве независимой координаты адресации элементов используется их резонансная частота, что позволяет уменьшить плотность необходимых межсоединений. В другом аспекте изобретения обеспечивается датчик газов, обладающий высокой чувствительностью измерения концентрации определенных газов или частиц в атмосфере, универсальными и гибкими механизмами селективности, контролируемым процессом регенерации сенсорной способности. Предложенная структура обеспечивает простой способ измерения резонансной частоты осциллирующего элемента, не предполагающий анализ высокочастотного сигнала.

WO 2009/002215 A1



---

— до истечения срока для изменения формулы изобретения и с повторной публикацией в случае получения изменений

## НАНОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И СПОСОБ ЕЕ ПОЛУЧЕНИЯ

5 Изобретение относится к микро- и наноэлектромеханическим устройствам, имеющим приложения в микроэлектронике, микросистемной и сенсорной технике, и к способу их изготовления.

Потенциал применения наноструктур в качестве функциональных элементов трудно переоценить. Например, значительный интерес представляет применение  
10 наноструктур в основе механических резонаторов в системах обработки сигналов. Такие резонаторы должны заменить внешние к интегральной схеме фильтры на основе относительно больших кварцевых резонаторов. Существует направление МЭМС резонаторов (резонаторы на основе микроэлектромеханических систем) основанное на использовании механического движения подвешенной кремниевой балки. Однако  
15 типичные размеры кремниевой балки соответствуют микрометровому диапазону, что обуславливает частоту собственных колебаний на уровне нескольких мегагерц. При более высоких частотах резонаторы данного типа начинают страдать от падения коэффициента добротности. Кроме того, оказываются весьма ограниченными динамический диапазон и возможность настройки резонансной частоты кремниевой  
20 балки, а также усугубляется проблема преобразования механического движения балки в выходной электрический сигнал (WO02080360). Применение наноструктур в качестве основы механических резонаторов позволит преодолеть перечисленные недостатки и создать высокочастотные малозумящие резонаторы с высоким коэффициентом добротности.

25 Механические осцилляторы так же могут рассматриваться в качестве элементной базы для систем цифровой обработки информации. В ходе эволюции полупроводниковой электроники непрерывно шел процесс миниатюризации электронных устройств. Каждое новое поколение приборов отличалось меньшими размерами и большей скоростью срабатывания. Площадь кремниевых кристаллов  
30 необходимых для выполнения конкретных функций уменьшалась вдвое каждые полтора года. Размер приборов уменьшался равномерно с 50-х до конца 80-х годов (от 10 см — в вакуумных приборах до 1 мкм в интегральных схемах). Намечающийся в 90-е годы излом или насыщение этой зависимости связан как с принципиальными физическими ограничениями, препятствующими дальнейшему уменьшению размеров  
35 так и с экспоненциальным ростом стоимости требуемых производственных мощностей.

Фактор роста стоимости связан с выходом за рамки возможностей традиционной фотолитографии. Для дальнейшего уменьшения планарных размеров элементов необходимы уменьшение длины волны экспонирующего излучения и применение различных дополнительных технических решений. Это приводит к усложнению и удорожанию фотолитографического оборудования и уменьшению выхода годных. Альтернативные варианты литографии – электронная и ионно-лучевая литография, в качестве главного недостатка имеют низкую производительность, что в результате также приводит к значительному росту стоимости. Помимо проблемы литографии существует проблема нарушения работоспособности традиционных кремниевых приборов при дальнейшей миниатюризации, что обусловлено следующими физическими ограничениями.

- Флуктуация концентрации примеси

В основе полупроводниковой электроники лежит процесс легирования, т.е. введения примесей. Однако распределение примесей является случайным, и подвержено флуктуациям. Среднеквадратичная флуктуация  $\Delta N$  числа примесей  $N = n \cdot V$  в образце объема  $V$  равна:

$$\Delta N \approx N^{1/2} = (n \cdot V)^{1/2}$$

Для создания приборов с контролируемыми свойствами относительная флуктуация концентрации примесей в данном объеме не должна быть больше чем 1 %, т.е.  $N^{1/2}/N \leq 0.01$ , следовательно,  $N = n \cdot V \geq 10^4$ . При средней концентрации примеси  $n \approx 10^{18} \text{ см}^{-3}$  это накладывает ограничение на объем устройства  $V > 10^{-14} \text{ см}^3$ , что в свою очередь означает, что линейный размер устройства не должны опускаться ниже 0.2 мкм.

- Диффузия примесей на поверхности

Поверхностный коэффициент диффузии примесей оказывается существенно выше, чем в объёме. Данное обстоятельство ограничивает горизонтальные размеры устройств значением  $> 0.1 \text{ мкм}$ .

- Изменение характера электронного транспорта

При размерах устройства меньше, чем некоторые характерные длины, определяющие кинетику явлений переноса, происходит изменение самого характера электронного транспорта. Так, если размер устройства меньше, чем длина свободного пробега носителей  $l$ , транспорт становится баллистическим. Это, с одной стороны, повышает быстродействие, поскольку время пребывания электрона в устройстве и т.о.

время любых физических процессов минимально (по сравнению с диффузионным переносом). Однако, с другой стороны, при этом обнаруживается чувствительность к реализации устройства, в частности, к характеру рассеяния на границах (и, таким образом, ужесточаются требования к технологии создания соответствующих устройств). Другой важный фактор связан с квантовыми интерференционными эффектами и проявляется в ситуации, когда транспорт в пределах устройства является фазово-когерентным. Это происходит, если размер устройства меньше, чем длина диффузии по отношению к процессам сбоя фазы. Фазовая когерентность вносит принципиально новую физику, в частности, увеличивается чувствительность параметров устройства к конкретной реализации пространственного распределения примесей, возникают нетривиальные зависимости сопротивления от электрического и магнитного полей (так называемые мезоскопические эффекты). Кроме того, обостряется проблема утечек электрического заряда в результате эффекта туннелирования, что в частности уменьшает временную стабильность создаваемых элементов памяти. Указанные обстоятельства, связанные, по сути дела, с размерными эффектами (в первом случае — классическими, во втором — квантовыми), приводят к принципиальным ограничениям создания устройств малых размеров.

#### -Нагрев интегральных схем

При прохождении тока нагрев одного элемента микросхемы с помощью фононов переносится на другие элементы, что приводит к нежелательным эффектам. Для нормальной работы нагрев не должен превышать  $10^2$  Вт/см<sup>2</sup>. По оценкам это приводит в частности к ограничению информативной памяти до (4-10) Мбит/см<sup>2</sup> (Агринская Н.В., Молекулярная электроника, Учебное пособие).

В связи с описанными проблемами масштабирования традиционных кремниевых приборов в настоящее время ведется широкий поиск новой элементной базы и соответствующей технологии интеграции, которые легли бы в основу дальнейшего роста вычислительной мощности цифровых систем. Нанoeлектромеханические системы составляют одно из наиболее перспективных направлений данного поиска.

Нанoeлектромеханические структуры имеют большой потенциал также в решении задач сенсорной техники. Во многих отраслях человеческой деятельности существует интенсивная потребность в высокочувствительных и селективных датчиках газов. Кроме чувствительности и селективности, от датчиков требуются

также такие качества как малые размеры, надежность, долговечность и способность к многократной регенерации, малое потребление энергии и малая стоимость.

На настоящий момент наиболее широко представлены газовые датчики либо на основе эффекта поверхностных акустических волн, либо на основе химически чувствительных полевых транзисторов. Обладая приемлемой стоимостью, подобные устройства, однако, не обеспечивают порога чувствительности выше 1 нг/мм<sup>2</sup>.

Различные методики спектроскопии, например романовская спектроскопия поверхностного рассеяния, обеспечивают чувствительность до 1 пкг/мм<sup>2</sup>, однако подразумевают использование сложных оптических систем и сопровождающего оборудования и соответственно весьма дороги. Хроматографические методы измерения концентрации паров и газов также требуют сложного и дорогого оборудования и имеют узкоспециализированное применение (US5719324).

Одно из перспективных направлений составляют датчики на основе микроэлектромеханического чувствительного элемента. В типичную конструкцию такого датчика входят пьезоэлектрический преобразователь, на котором консольно закреплен балочный элемент (как правило кремневая балка), а также средства для возбуждения пьезоэлектрического преобразователя на резонансной или околорезонансной частоте консольно-закрепленного балочного элемента, и средства детектирования колебаний для измерения изменения частоты колебаний балочного элемента вследствие изменения его константы жесткости в результате адсорбции газа (US5719324).

К недостаткам устройств данного типа можно отнести следующие:

- Сложность задачи измерения частоты колебаний балочного элемента. Известный метод измерения посредством детектирования перемещения лазерного луча, отраженного от балочного элемента, радикально увеличивает размеры, сложность и стоимость всего устройства. Альтернативным методом измерения частоты колебаний может служить метод, основанный на модуляции электрической емкости системы балочный элемент – неподвижный электрод. Однако чувствительность данного метода сильно зависит от взаимного положения балочного элемента и неподвижного электрода: увеличение расстояния между ними приводит к быстрому уменьшению чувствительности. С другой стороны, уменьшение расстояния между балочным элементом и неподвижным электродом ужесточает требования к методу изготовления устройства и накладывает ограничения на диапазон допустимых

изменений амплитуды колебаний балочного элемента. Пьезоэлектрические и тензорезистивные методы определения частоты колебаний, возможно, являются более перспективными, однако обеспечиваемая ими чувствительность сильно зависит от конкретной технической реализации и в случае малых колебаний балочного  
5 микроэлемента может оказаться недостаточной.

- Геометрические размеры балочного элемента ограничены возможностями современной MEMS технологии. Если речь идет об элементах плоской геометрии, например балках или мембранах, то их минимальная толщина ограничена величиной порядка 500 нм. Чувствительность частоты резонансных колебаний балочного  
10 элемента к воздействию газового адсорбата пропорциональна удельной площади этого элемента, которая в данном случае обратно пропорциональна его толщине. Кроме того, обусловленные геометрическими размерами балки ограничения по резонансной частоте и коэффициенту добротности также приводят к понижению чувствительности сенсорного элемента.

- Селективность процесса детектирования газов обеспечивается наличием у балочного элемента областей с поверхностью обработанной (функционализированной) определенными химическими реагентами, обеспечивающими избирательное взаимодействие с газами определенных типов. Общая задача поиска таких химических реагентов, селективно и к тому же обратимо  
20 реагирующих с различными, практически важными газами, и функционализации этими реагентами поверхности твердого тела, сама по себе является весьма сложной и не имеющей на текущий момент удовлетворительного решения.

- Не предусмотрены средства контроля процесса регенерации сенсорной способности чувствительного элемента.

Для перечисленных выше приложений (а именно, аналоговая и цифровая обработка сигналов, сенсорики) известны различные электромеханические структуры, чьи функциональные элементы выполнены в наномасштабе. В частности было предложено в качестве элементов с управляемым состоянием использовать углеродные нанотрубки, которые свободны совершать механическое движение тем  
30 или иным образом (WO02080360, WO0103208, US2002167375, EP1646145, CA2581248, US2007063740, WO2007030423). Однако в данных примерах разработчики, использовав потенциал процессов самоорганизации в той части, которая касается получения углеродных нанотрубок, на остальных этапах создания

структур либо обращаются к традиционной, весьма ограниченной по возможностям литографии, либо вообще не затрагивают вопроса средств формирования предлагаемых структур.

Задача, на решение которой направлено изобретение, заключается в создании  
5 наноэлектромеханической функциональной структуры и способа ее получения, позволяющих преодолеть указанные недостатки микроэлектронных и сенсорных систем, составляющих текущий уровень техники, а именно: повысить степень интеграции и частоту работы, уменьшить флуктуации параметров элементов, увеличить их временную и радиационную стабильность, повысить чувствительность и  
10 селективность к физическим и химическим воздействиям, а также уменьшить себестоимость получаемых систем.

Технический результат, достигаемый при реализации изобретения, заключается в следующем:

- предложение в одном из аспектов изобретения функциональной структуры  
15 обеспечивающей достижение высокой (до  $10^{16}$  м<sup>-2</sup> и выше) степени интеграции в силу выполнения двух условий:

а) в основе получения структуры лежат механизмы самоорганизации и самосовмещения, в результате чего существенные геометрические параметры структуры не испытывают ограничения со стороны возможностей традиционной  
20 фотолитографии.

б) воспроизводимость и работоспособность структуры сохраняются при предельно высоких степенях интеграции.

- обеспечение в одном из аспектов изобретения энергонезависимой памяти характеризующейся высокой степенью интеграции, значительным уменьшением  
25 поверхностной плотности необходимых межсоединений, а также сверхбольшой радиационной стойкостью.

- обеспечение в одном из аспектов изобретения датчика газов, обладающего высокой чувствительностью измерения концентрации определенных газов или частиц в атмосфере, универсальными и гибкими механизмами селективности,  
30 контролируемым процессом регенерации сенсорной способности, простым, с точки зрения технической реализации, способом получения измеряемых сигналов и, соответственно, малыми размерами и уровнем потребления всего устройства.



Указанный технический результат достигается в структуре для задач сенсорной техники и микроэлектроники, включающей: по меньшей мере один управляемый элемент, обладающий электрической проводимостью; по меньшей мере один входной электрод, находящийся в электрическом контакте с управляемым элементом; по 5 меньшей мере один выходной электрод, пространственно отделенный от управляемого элемента, находящийся с ним в электростатической связи, причем либо как минимум часть выходного электрода выполнена из материала испытывающего необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом 10 воздействии опосредованном управляемым элементом, либо как минимум часть управляемого элемента выполнена из материала испытывающего необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном выходным электродом.

Управляемый элемент выполнен в виде упругого элемента, способного изменять свою геометрию. Упругий элемент свободен совершать механические 15 колебания на собственных частотах.

Дополнительно включает средства детектирования электрического сигнала, находящиеся в сигнальной связи с как минимум одним входным или выходным электродом, а упругий элемент способен переходить в стабильный или кратковременный механический контакт с как минимум одним выходным электродом, 20 при этом средства детектирования электрического сигнала обеспечивают как минимум детектирование изменений электрического сигнала связанных с данным стабильным или кратковременным механическим контактом.

Как минимум часть поверхности по меньшей мере одного выходного электрода покрыта изолирующим или проводящим слоем, так что данный изолирующий или 25 проводящий слой предотвращает возможность непосредственного механического контакта между упругим элементом и данным выходным электродом.

Дополнительно включает средства подачи постоянного напряжения смещения между упругим элементом и выходным электродом, или комбинацией выходных электродов, обеспечивающие контроль частоты резонансных механических колебаний 30 упругого элемента или, в случае механического контакта упругого элемента с как минимум одним выходным электродом, контроль соотношения сил прижимающих управляемый элемент к выходному электроду и сил стремящихся разорвать механический контакт управляемого элемента с выходным электродом.

Пространственное отделение упругого элемента и как минимум одного выходного электрода, или свойства поверхности упругого элемента и данного выходного электрода, или напряжение смещения, приложенное между упругим элементом и выходным электродом, или комбинацией выходных электродов, заданы  
5 таким образом, что обеспечивается либо стабильный, либо кратковременный механический контакт упругого элемента с данным выходным электродом.

Как минимум часть поверхности управляемого элемента химически или биологически функционализована.

Упругие элементы сгруппированы в массивы упругих элементов; упругие  
10 элементы в каждом массиве имеют общие входные и выходные электроды; дополнительно включены средства адресации упругих элементов или подгрупп упругих элементов; каждому упругому элементу или подгруппе упругих элементов в массиве соответствует своя частота резонансных колебаний; средства адресации задают при помощи входных и выходных электродов массив упругих элементов, к  
15 которому относится адресуемый упругий элемент или адресуемая подгруппа упругих элементов, и задают частоту переменного напряжения смещения прикладываемого к комбинации входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента или подгруппы упругих элементов.

20 Каждый упругий элемент, находясь в состоянии механического контакта с по меньшей мере одним выходным электродом, свободен совершать механические колебания на собственной частоте, отличной от собственной частоты этого элемента находящегося в состоянии отсутствия механического контакта, а средства адресации задают частоту переменного напряжения смещения прикладываемого к комбинации  
25 входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента находящегося в состоянии механического контакта, или так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента находящегося в состоянии отсутствия механического контакта.

30 Средства адресации задают напряжение смещения прикладываемое к комбинации входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данное напряжение смещения представляет собой суперпозицию переменных

напряжений, частоты которых различны и частота каждого из которых соответствует частоте резонансных колебаний одного из упругих элементов.

Управляемый элемент представляет собой углеродную нанотрубку или углеродное нановолокно, или пучок углеродных нанотрубок или углеродных  
5 нановолокон.

В качестве материала, из которого выполнена как минимум часть выходного электрода и который испытывает необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном управляемым элементом, выбран материала на основе углерода.

10 Управляемый элемент представляет собой многослойную углеродную нанотрубку, как минимум один внешний слой которой удален при помощи воздействия, опосредованного выходным электродом.

Данный технический результат достигается в другом варианте структуры для задач сенсорной техники и микроэлектроники, включающей: по меньшей мере один  
15 управляемый элемент, выполненный в виде упругого элемента обладающего электрической проводимостью и свободного совершать механические колебания на собственных частотах; по меньшей мере один входной электрод, находящийся в электрическом контакте с упругим элементом; по меньшей мере один выходной электрод, пространственно отделенный от упругого элемента и находящийся с ним в  
20 электростатической связи; средства подачи напряжения смещения между комбинацией входных и выходных электродов; средства детектирования электрического сигнала, находящиеся в сигнальной связи с как минимум одним входным или выходным электродом, где средства подачи напряжения смещения обеспечивают возбуждение механических колебаний упругого элемента, причем  
25 амплитуда резонансных колебаний упругого элемента имеет величину, обеспечивающую переход упругого элемента в стабильный или кратковременный механический контакт с как минимум одним выходным электродом, а средства детектирования электрического сигнала обеспечивают по меньшей мере детектирование изменений электрического сигнала связанных с данным стабильным  
30 или кратковременным механическим контактом.

Упругие элементы сгруппированы в массивы упругих элементов; упругие элементы в каждом массиве имеют общие входные и выходные электроды; дополнительно включены средства адресации упругих элементов или подгрупп

упругих элементов; каждому упругому элементу или подгруппе упругих элементов в массиве соответствует своя частота резонансных колебаний; средства адресации задают при помощи входных и выходных электродов массив упругих элементов, к которому относится адресуемый упругий элемент или адресуемая подгруппа упругих элементов, и задают частоту переменного напряжения смещения прикладываемого к комбинации входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента или подгруппы упругих элементов.

Каждый упругий элемент, находясь в состоянии механического контакта с по меньшей мере одним выходным электродом, свободен совершать механические колебания на собственной частоте, отличной от собственной частоты этого элемента находящегося в состоянии отсутствия механического контакта, а средства адресации задают частоту переменного напряжения смещения прикладываемого к комбинации входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента находящегося в состоянии механического контакта, или так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента находящегося в состоянии отсутствия механического контакта.

Средства адресации задают напряжение смещения прикладываемое к комбинации входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данное напряжение смещение представляет собой суперпозицию переменных напряжений, частоты которых различны и частота каждого из которых соответствует частоте резонансных колебаний одного из упругих элементов.

Дополнительно включает как минимум одно из следующих средств: средства контроля скорости десорбции молекул газа с поверхности как минимум одного упругого элемента, которые содержат средства пропускания электрического тока через данный упругий элемент, или содержат внешний по отношению к данному упругому элементу нагреватель или источник электромагнитного излучения; средства определения соотношений между значениями сдвига частоты резонансных колебаний как минимум одного упругого элемента, где данный сдвиг связан с изменением величины проходящего через данный упругий элемент электрического тока или интенсивности нагрева или облучения данного упругого элемента внешним источником; средства измерения динамических или статических вольтамперных

характеристик электрической цепи включающей как минимум один входной электрод, один выходных электрод и один упругий элемент, или средства детектирования изменения данных вольтамперных характеристик или изменения гистерезиса данных вольтамперных характеристик; средства детектирования силы адгезии между как минимум одним упругим элементом и как минимум одним выходным электродом, детектирующие величину электрического потенциала, который необходимо приложить к данному упругому элементу и определенному выходному электроду или комбинации выходных электродов для разрыва контакта между данным упругим элементом и данным выходным электродом; средства детектирования порога эмиссии электронов как минимум одним упругим элементом или средства детектирования изменения данного порога эмиссии; средства детектирования сдвига частоты резонансных колебаний как минимум одного упругого элемента, где данный сдвиг обусловлен изменением сопротивления движению данного упругого элемента со стороны окружающей упругий элемент среды; средства, обеспечивающие преимущественный доступ газов заданных типов как минимум к одному упругому элементу, основанные на использовании материалов с селективной пропускной способностью.

Как минимум часть поверхности упругого элемента химически или биологически функционализована.

Включает два или более упругих элемента, которые различаются по длине или по эффективному диаметру или по структуре или по параметрам функционализации поверхности, и дополнительно средства определения соотношений между значениями сдвига частоты резонансных колебаний данных упругих элементов, где данный сдвиг обусловлен физической или химической сорбцией молекул или частиц данными упругими элементами.

Включает два или более упругих элемента, причем как минимум часть упругих элементов конструктивно защищена от экспонирования внешней средой, и дополнительно средства, определяющие сдвиг частоты резонансных колебания упругих элементов конструктивно защищенных от экспонирования, обусловленный изменением температуры данных упругих элементов вследствие изменения температуры окружающей среды либо вследствие прохождения по ним электрического тока.

Упругий элемент представляет собой углеродную нанотрубку или углеродное нановолокно, или пучок углеродных нанотрубок или углеродных нановолокон.

Указанный выше технический результат достигается в способе создания структуры для задач сенсорной техники и микроэлектроники, включающем:

5 формирование как минимум одного управляемого элемента и как минимум одного выходного электрода, так что либо как минимум часть выходного электрода выполнена из материала испытывающего необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном управляемым элементом, либо как минимум часть управляемого элемента выполнена

10 из материала испытывающего необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном выходным электродом; осуществление либо операции изменения свойств материала выходного электрода в области локализованной у границы раздела выходной электрод - управляемый элемент, где данное изменение свойств вызвано физическим или химическим

15 воздействием опосредованным управляемым элементом, либо операции изменения свойств материала управляемого элемента в области локализованной у границы раздела управляемый элемент - выходной электрод, где данное изменение свойств вызвано физическим или химическим воздействием опосредованным выходным электродом.

20 В качестве управляемого элемента выступает углеродная нанотрубка закрепленная на подложке в вертикальном положении; в качестве выходного электрода выступает слой материала на основе углерода; в качестве операции изменения свойств материала выходного электрода выступает операция локального анодного окисления, причем управляемый элемент выступает в качестве катода, а

25 выходной электрод выступает в качестве анода, в результате чего достигается окисление выходного электрода в области локализованной вокруг управляемого элемента.

В качестве управляемого элемента выступает многослойная углеродная нанотрубка закрепленная на подложке в вертикальном положении; в качестве

30 выходного электрода выступает слой химически инертного проводящего материала; в качестве операции изменения свойств материала управляемого элемента выступает операция локального анодного окисления, причем управляемый элемент выступает в качестве анода, а выходной электрод выступает в качестве катода, в результате чего

достигается окисление как минимум одного внешнего слоя многослойной углеродной нанотрубки.

Упомянутый выше технический результат достигается в другом варианте способа создания структуры для задач сенсорной техники и микроэлектроники, включающего: формирование как минимум одного управляемого элемента и как минимум одного выходного электрода, так что управляемый элемент представляет собой нанотрубку или нановолокно или пучок нанотрубок или нановолокон, и на как минимум часть поверхности управляемого элемента нанесен слой материала, отличающегося по свойствам как от материала управляемого элемента, так и от материала выходного электрода; осуществление операции частичного или полного удаления слоя материала нанесенного на поверхность управляемого элемента и отличающегося по своим свойствам, как от материала управляемого элемента, так и от материала выходного электрода.

Нанотрубка представляет собой углеродную нанотрубку закрепленную на подложке в вертикальном положении; в качестве слоя материала нанесенного на как минимум часть поверхности управляемого элемента и отличающегося по свойствам как от материала управляемого элемента, так и от материала выходного электрода, выступает молекулярный монослой образованный в результате процесса самоорганизации; в качестве операции частичного или полного удаления данного молекулярного монослоя выступает операция селективного травления.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где на фиг. 1 показано схематическое изображение варианта реализации структуры на основе углеродных нанотрубок для задач сенсорной техники и микроэлектроники; на фиг. 2 - схематическое изображение варианта реализации структуры на основе углеродных нанотрубок для задач сенсорной техники и микроэлектроники, для случая соответствующего состоянию механического контакта упругого элемента с выходным электродом; на фиг. 3 - схематическое изображение варианта реализации структуры на основе углеродных нанотрубок для задач сенсорной техники и микроэлектроники, для случая соответствующего покрытому изолирующим или проводящим слоем выходному электроду; на фиг. 4 - схематическое изображение варианта реализации структуры на основе углеродных нанотрубок для задач сенсорной техники и микроэлектроники, для случая соответствующего наличию дополнительного электрода; на фиг. 5 - схематическое изображение варианта реализации структуры на

основе углеродных нанотрубок для задач сенсорной техники и микроэлектроники, для случая соответствующего множеству массивов упругих элементов; на фиг. 6 - схематическое изображение промежуточного шага процесса формирования структуры соответствующей варианту реализации структуры на основе углеродных нанотрубок для задач сенсорной техники и микроэлектроники; на фиг. 7 - схематическое изображение конечного шага процесса формирования структуры соответствующей варианту реализации структуры на основе углеродных нанотрубок для задач сенсорной техники и микроэлектроники.

Структура для задач сенсорной техники и микроэлектроники включает по меньшей мере один управляемый элемент 2, обладающий электрической проводимостью, по меньшей мере один входной электрод 3, находящийся в электрическом контакте с управляемым элементом; по меньшей мере один выходной электрод 5, пространственно отделенный от управляемого элемента, находящийся с ним в электростатической связи, причем либо как минимум часть выходного электрода 5 выполнена из материала испытывающего необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном управляемым элементом 2, либо как минимум часть управляемого элемента 2 выполнена из материала испытывающего необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном выходным электродом 5.

Управляемый элемент 2 может быть выполнен в виде упругого элемента, способного изменять свою геометрию и свободного совершать механические колебания на собственных частотах.

Структура дополнительно может включать средства детектирования электрического сигнала, находящиеся в сигнальной связи с как минимум одним входным 3 или выходным 5 электродом, а упругий элемент 2 способен переходить в стабильный или кратковременный механический контакт с как минимум одним выходным электродом 5 (фиг. 2), при этом средства детектирования электрического сигнала обеспечивают как минимум детектирование изменений электрического сигнала связанных с данным стабильным или кратковременным механическим контактом.

Как минимум часть поверхности по меньшей мере одного выходного электрода 5 может быть покрыта изолирующим или проводящим слоем 6 (фиг. 3), так что



данный изолирующий или проводящий слой предотвращает возможность непосредственного механического контакта между упругим элементом 2 и данным выходным электродом 5.

Структура дополнительно может включать средства подачи постоянного напряжения смещения между упругим элементом 2 и выходным электродом 5 (или например выходным электродом 5 или 7 на фиг. 4), или комбинацией выходных электродов, обеспечивающие контроль частоты резонансных механических колебаний упругого элемента 2 или, в случае механического контакта упругого элемента 2 с как минимум одним выходным электродом (5 на фиг. 1 или 7 на фиг. 2), контроль соотношения сил прижимающих управляемый элемент к выходному электроду и сил стремящихся разорвать механический контакт управляемого элемента с выходным электродом.

В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения пространственное отделение упругого элемента 2 и как минимум одного выходного электрода 5 (фиг. 1), или свойства поверхности упругого элемента и данного выходного электрода, или напряжение смещения, приложенное между упругим элементом и выходным электродом, или комбинацией выходных электродов, заданы таким образом, что обеспечивается либо стабильный, либо кратковременный механический контакт упругого элемента с данным выходным электродом.

Как минимум часть поверхности управляемого элемента 2 может быть химически или биологически функционализирована.

В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения упругие элементы 2 (фиг. 5) сгруппированы в массивы упругих элементов, упругие элементы в каждом массиве имеют общие входные 1 и выходные 4 электроды, дополнительно включены средства адресации упругих элементов или подгрупп упругих элементов, каждому упругому элементу или подгруппе упругих элементов в массиве соответствует своя частота резонансных колебаний, средства адресации задают при помощи входных и выходных электродов массив упругих элементов, к которому относится адресуемый упругий элемент или адресуемая подгруппа упругих элементов, и задают частоту переменного напряжения смещения прикладываемого к комбинации входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента или подгруппы упругих элементов.

В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения каждый упругий элемент 2 (фиг. 4), находясь в состоянии механического контакта с по меньшей мере одним выходным электродом 7, свободен совершать механические колебания на собственной частоте, отличной от собственной частоты этого элемента находящегося в состоянии отсутствия механического контакта, а средства адресации задают частоту переменного напряжения смещения прикладываемого к комбинации входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента находящегося в состоянии механического контакта, или так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента находящегося в состоянии отсутствия механического контакта.

В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения средства адресации задают напряжение смещения прикладываемое к комбинации входных 1 (фиг. 5) и выходных 4 электродов заданного массива упругих элементов, так что данное напряжение смещения представляет собой суперпозицию переменных напряжений, частоты которых различны и частота каждого из которых соответствует частоте резонансных колебаний одного из упругих элементов.

В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения управляемый элемент 2 (фиг. 1) представляет собой углеродную нанотрубку или углеродное нановолокно, или пучок углеродных нанотрубок или углеродных нановолокон. В качестве материала, из которого выполнена как минимум часть выходного электрода 5 и который испытывает необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном управляемым элементом 2, выбран материал на основе углерода.

В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения управляемый элемент 2 представляет собой многослойную углеродную нанотрубку, как минимум один внешний слой которой удален при помощи воздействия, опосредованного выходным электродом 5.

В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения структура дополнительно включает как минимум одно из следующих средств: средства контроля скорости десорбции молекул газа с поверхности как минимум одного упругого элемента 2, которые содержат средства пропускания электрического тока через данный упругий элемент, или содержат внешний по отношению к данному упругому

элементу нагреватель или источник электромагнитного излучения; средства определения соотношений между значениями сдвига частоты резонансных колебаний как минимум одного упругого элемента 2, где данный сдвиг связан с изменением величины проходящего через данный упругий элемент электрического тока или интенсивности нагрева или облучения данного упругого элемента внешним источником; средства измерения динамических или статических вольт-амперных характеристик электрической цепи включающей как минимум один входной электрод 3, один выходных электрод 5 и один упругий элемент 2, или средства детектирования изменения данных вольт-амперных характеристик или изменения гистерезиса данных вольт-амперных характеристик; средства детектирования силы адгезии между как минимум одним упругим элементом 2 и как минимум одним выходным электродом 5 (или электродом 7 на фиг. 4), детектирующие величину электрического потенциала, который необходимо приложить к данному упругому элементу и определенному выходному электроду 5 (или электроду 5 или 7 на фиг. 4) или комбинации выходных электродов для разрыва контакта между данным упругим элементом 2 и данным выходным электродом 5 (или электродом 7 на фиг. 4); средства детектирования порога эмиссии электронов как минимум одним упругим элементом 2 или средства детектирования изменения данного порога эмиссии; средства детектирования сдвига частоты резонансных колебаний как минимум одного упругого элемента 2, где данный сдвиг обусловлен изменением сопротивления движению данного упругого элемента со стороны окружающей упругий элемент среды; средства, обеспечивающие преимущественный доступ газов заданных типов как минимум к одному упругому элементу 2, основанные на использовании материалов с селективной пропускной способностью.

В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения структура включает два или более упругих элемента 2 (фиг. 1), которые различаются по длине или по эффективному диаметру или по структуре или по параметрам функционализации поверхности; и дополнительно средства определения соотношений между значениями сдвига частоты резонансных колебаний данных упругих элементов, где данный сдвиг обусловлен физической или химической сорбцией молекул или частиц данными упругими элементами.

В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения структура включает два или более упругих элемента 2, причем как минимум часть упругих

элементов конструктивно защищена от экспонирования внешней средой; и дополнительно средства, определяющие сдвиг часты резонансных колебания упругих элементов конструктивно защищенных от экспонирования, обусловленный изменением температуры данных упругих элементов вследствие изменения температуры окружающей среды либо вследствие прохождения по ним электрического тока.

Способ создания структуры для задач сенсорной техники и микроэлектроники включает: формирование как минимум одного управляемого элемента 2 (фиг. 6) и как минимум одного выходного электрода 5, так что либо как минимум часть выходного электрода 5 выполнена из материала испытывающего необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном управляемым элементом 2, либо как минимум часть управляемого элемента 2 выполнена из материала испытывающего необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном выходным электродом 5; осуществление либо операции изменения свойств материала выходного электрода 5 в области локализованной у границы раздела выходной электрод 5 - управляемый элемент 2 (фиг. 7), где данное изменение свойств вызвано физическим или химическим воздействием опосредованным управляемым элементом 2, либо операции изменения свойств материала управляемого элемента 2 в области локализованной у границы раздела управляемый элемент 2 - выходной электрод 5, где данное изменение свойств вызвано физическим или химическим воздействием опосредованным выходным электродом.

В одном из вариантов реализации предлагаемого в изобретении способа, в качестве управляемого элемента 2 выступает углеродная нанотрубка закрепленная на подложке 1 в вертикальном положении; в качестве выходного электрода 5 выступает слой материала на основе углерода; в качестве операции изменения свойств материала выходного электрода выступает операция локального анодного окисления, причем управляемый элемент выступает в качестве катода а выходной электрод выступает в качестве анода, в результате чего достигается окисление выходного электрода в области локализованной вокруг управляемого элемента.

В одном из вариантов реализации предлагаемого в изобретении способа в качестве управляемого элемента 2 выступает многослойная углеродная нанотрубка закрепленная на подложке 1 в вертикальном положении; в качестве выходного

электрода 5 выступает слой химически инертного проводящего материала; в качестве операции изменения свойств материала управляемого элемента выступает операция локального анодного окисления, причем управляемый элемент выступает в качестве анода, а выходной электрод выступает в качестве катода, в результате чего достигается окисление как минимум одного внешнего слоя многослойной углеродной нанотрубки.

Способ создания структуры для задач сенсорной техники и микроэлектроники, включает формирование как минимум одного управляемого элемента 2 и как минимум одного выходного электрода 5, так что управляемый элемент представляет собой нанотрубку или нановолокно или пучок нанотрубок или нановолокон, и на как минимум часть поверхности управляемого элемента нанесен слой материала, отличающегося по свойствам, как от материала управляемого элемента, так и от материала выходного электрода; осуществление операции частичного или полного удаления слоя материала нанесенного на поверхность управляемого элемента и отличающегося по своим свойствам, как от материала управляемого элемента, так и от материала выходного электрода.

В одном из вариантов реализации предлагаемого в изобретении способа нанотрубка 2 представляет собой углеродную нанотрубку закрепленную на подложке 1 в вертикальном положении; в качестве слоя материала нанесенного на как минимум часть поверхности управляемого элемента и отличающегося по свойствам, как от материала управляемого элемента, так и от материала выходного электрода, выступает молекулярный монослой образованный в результате процесса самоорганизации; в качестве операции частичного или полного удаления данного молекулярного монослоя выступает операция селективного травления.

25

#### Подробное описание

Диаметр углеродных нанотрубок достигает 0,7 нм, при этом система на основе углеродной нанотрубки может иметь различные механические состояния, стабильные при комнатных и более высоких температурах. Решение проблемы формирования соразмерных нанотрубке управляющих электродов и решение топографической проблемы обеспечения соответствующего количества межсоединений, должно позволить достичь степени интеграции около  $10^{16}$  м<sup>-2</sup>, и тем самым вплотную приблизиться к фундаментальному пределу степени интеграции (по крайней мере, для

30

случая комнатных температур). Достижение такой степени интеграции заявляется в качестве технического результата одного из аспектов предлагаемого изобретения. В указанном аспекте изобретения определяющим является сочетание следующих трех факторов. Первичным процессом, задающим основу геометрии структуры, является процесс роста углеродной нанотрубки, основные параметры которой строго 5 определяются фундаментальными физическими ограничениями, такими как длина и направление химической связи между атомами углерода. На следующем этапе задействуются физические механизмы, обеспечивающие частичную трансляцию геометрии выращенной углеродной нанотрубки на управляющий электрод. Это 10 позволяет достичь эффекта самосовмещения управляющего электрода и обеспечивает минимизацию зазора управляющий электрод – углеродная нанотрубка. Третьим фактором является использование для адресации отдельных нанотрубок не только соответствующих управляющих электродов, но и частоты сигнала подаваемого на эти электроды. Это позволяет уменьшить количество необходимых независимых 15 электродов и межсоединений. В общем случае вместо углеродных нанотрубок могут быть использованы другие объекты, как являющиеся продуктом процессов самоорганизации (кремниевые нанопровода (Ongi Englander, Dane Christensen, Liwei Lin. Applied physics letters. 2003. Vol. 82, No. 26, P. 4797- 4799), наноремни на основе полупроводниковых оксидов (Zhong Lin Wang, Zhengwei Pan. International Journal of 20 Nanoscience. 2002. Vol. 1, No. 1, P. 41-51) и др.) так и созданные традиционным методом литографии. Объекты являющиеся продуктом процессов самоорганизации будут далее обозначаться при помощи общего термина «нановолокна» (безотносительно к вопросу структуры и состава данных объектов).

В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения, в качестве 25 физического механизма обеспечивающего трансляцию геометрии углеродной нанотрубки на управляющий электрод выступает локальное анодное окисление (ЛАО). Одним из наиболее известных технологических приложений сканирующей атомно-силовой микроскопии является модификация свойств проводящей подложки посредством процесса окисления, причем данный процесс окисления индуцируется 30 при помощи зонда атомно-силового микроскопа и носит, таким образом, локальный характер (Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. Москва: Техносфера, 2006). При этом достигается высокое пространственное разрешение, которое определяется геометрией зонда атомно-силового микроскопа, а именно

эффективным радиусом его закругления. Поскольку к зонду атомно-силового микроскопа прикладывается отрицательный полюс напряжения смещения (катод), а к обрабатываемой подложке положительный (анод), то данный процесс является анодным окислением. Для протекания процесса ЛАО необходимо наличие источника ионов кислорода. В условиях атмосферы роль такого источника с успехом играет естественный адсорбат воздуха, который присутствует на поверхности. Отметим, что эффект аналогичный ЛАО может быть достигнут также средствами сканирующей туннельной микроскопии, причем в этом случае упрощается обеспечение высокого пространственного разрешения (Строганов А.А. Тезисы докладов конференции «Микроэлектроника и информатика – 2005»).

Поскольку ширина формируемой окисленной области по порядку величины совпадает с радиусом закругления зонда, то увеличение пространственного разрешения метода ЛАО предполагает использование более острых зондов. Зонды с закрепленной на вершине углеродной нанотрубкой являются одним из наиболее перспективных решений для зондовой микроскопии как по критерию минимизации радиуса закругления, так и по критерию увеличения аспектного соотношения зонда. Таким образом, естественно рассматривать углеродную нанотрубку, закрепленную в вертикальном положении на подложке, в качестве стационарного аналога зонда атомно-силового микроскопа. Если с такой нанотрубкой контактирует проводящий слой определенного материала, то, подав между ним и нанотрубкой напряжение смещения соответствующей полярности, можно инициировать окисление данного слоя в локализованной относительно нанотрубки области. Причем в случае если продукты окисления материала проводящего слоя относятся к летучим соединениям, то для получения зазора между нанотрубкой и проводящим слоем не требуется проведения дополнительных операций. В качестве такого материала проводящего слоя может рассматриваться, например, аморфный или графитизированный углерод. По сравнению с указанными материалами углеродная нанотрубка является значительно более термодинамически устойчивой формой углерода, в связи с чем существует диапазон условий, при которых будет происходить локальное анодное окисление данных материалов, в то время как индуцирующая этот процесс углеродная нанотрубка будет оставаться стабильной. Стабильности нанотрубки в процессе окисления будет способствовать также то обстоятельство, что нанотрубка выступает в роли катода. Были проведены эксперименты по локальному анодному окислению

углеродных нанотрубок (Чаплыгин Ю.А., Неволин В.К., Хартов С.В. Доклады Академии Наук, 2007, Т.412, № 6, С. 1-4) и пленок графитизированного углерода средствами атомно-силовой микроскопии (Строганов А.А. Тезисы докладов конференции «Микроэлектроника и информатика – 2005». М.: МИЭТ. 2005. С.16). В  
5 них наблюдалось пороговое значение напряжения окисления, которое для пленки графитизированного углерода составило около 3-4 В, а для углеродных нанотрубок около 6 В. Предельным случаем графитизированного углерода является  
выскоориентированный пиролитический графит. Использование его в качестве  
материала управляющего электрода будет способствовать уменьшению диссипации  
10 энергии структурой в процессе работы.

В общем случае в качестве материала управляющего электрода может использоваться любой материал, испытывающий необратимые физические или химические изменения (под необратимостью изменений в данном случае не  
15 подразумевается абсолютная необратимость, а имеется в виду лишь разовость данных конкретных изменений в рамках жизненного цикла структуры) при каком-либо воздействии со стороны управляемого элемента (углеродной нанотрубки в частности). В состав материала управляющего электрода может входить в частности компонента, которая будет играть роль окислителя и обеспечивать протекание процесса окисления,  
индуцированного воздействием со стороны управляемого элемента, вдоль всей  
20 поверхности управляемого элемента одновременно (в отличие от рассмотренного выше случая, где роль окисляемого материала играет аморфный или графитизированный углерод и окисление происходит последовательно, начиная с верхних слоев, контактирующих с адсорбатом воздуха, который в данном случае играет роль источника ионов кислорода). Управляемый элемент может индуцировать  
25 изменения материала управляющего электрода посредством электрического тока, электрического поля, теплового или химического воздействия (в частности управляемый элемент может выступать в роли катализатора химической реакции). Область управляющего электрода, в которой свойства материала были изменены, может быть использована в качестве слоя разделяющего управляющий электрод и  
30 управляемый элемент, либо материал данной области может быть удален (например, методом селективного травления). В случае удаления материала, ширина полученного зазора может быть увеличена, если управляемый элемент способен в результате упругой деформации перейти в механический контакт с управляющим электродом и



тем самым обеспечить возможность повторения операции локального изменения свойств управляющего электрода. Данная операция может быть повторена до тех пор, пока ширина зазора не превысит способность управляемого элемента к упругой деформации.

- 5           Интересная возможность открывается, если в качестве материала управляющего электрода использовать химически инертный материал (например, золото), а в качестве управляемого элемента – многослойную углеродную нанотрубку. В этом случае приложение соответствующего напряжения смещения между
- 10           управляющим электродом и углеродной нанотрубкой инициирует анодное окисление как минимум одного внешнего слоя нанотрубки. Минимальная величина полученного таким образом зазора, отделяющего нанотрубку от золотого электрода, будет соответствовать межслойному расстоянию в углеродной нанотрубке, которое составляет около 0,33 нм. Данную величину можно рассматривать как предельное значение разрешающей способности предлагаемого в изобретении метода
- 15           самосовмещения управляющего электрода. В общем случае вместо многослойной углеродной нанотрубки может использоваться другой объект, как минимум часть которого выполнена из материала испытывающего необратимые физические или химические превращения при определенном физическом или химическом воздействии, оказываемом при посредстве выходного электрода.
- 20           Трансляция геометрии углеродной нанотрубки на управляющий электрод, с обеспечением их пространственного отделения минимальным зазором, может быть достигнута как описанным методом локального изменения свойств материала управляющего электрода под воздействием нанотрубки, так и посредством предварительного покрытия нанотрубки конформным слоем специального материала,
- 25           на который затем производится нанесение материала управляющего электрода. Формирование зазора между нанотрубкой и управляющим электродом обеспечивается последующим селективным удалением данного слоя, который играет, таким образом, функцию так называемого жертвенного слоя. Требования к материалу жертвенного слоя в данном случае определяются как возможностью его селективного удаления, так
- 30           и его способностью конформно покрывать углеродную нанотрубку. С этой точки зрения весьма перспективным представляется покрытие нанотрубки молекулярным монослоем, образованным в результате процесса самоорганизации. Основным фактором, определяющим самоупорядочивание молекул на поверхности какого-либо

объекта является так называемая дифильность молекул. Дифильность предполагает, что свойства одного конца молекулы отличны от свойств другого ее конца, причем это различие таково, что молекуле энергетически выгодно сорбироваться на поверхность объекта одним концом и не выгодно другим (Zhou C., Deshpande M. R., Reedb M. A. Applied physics letters. 1997. Vol. 71, No. 5, P. 611-613). В результате на поверхности образуется упорядоченный слой толщиной в одну молекулу, характеризующийся высоким структурным совершенством. В общем случае при помощи описанного механизма можно обеспечить формирование на поверхности контролируемого числа молекулярных слоев.

10 В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения, углеродная нанотрубка отделена от управляющего электрода зазором, полученным каким-либо из вышеописанных способов, и свободна совершать механическое движение. С нанотрубкой электрически соединен входной электрод. Управляющий электрод выполняет роль выходного электрода. Приложение напряжения смещения между  
15 входным и выходным электродом позволяет оказывать на нанотрубку воздействие посредством силы Кулона. При определенном значении прикладываемого напряжения смещения, упругая деформация нанотрубки обеспечивает переход нанотрубки в состояние механического и, следовательно, электрического контакта с поверхностью выходного электрода. В данном состоянии нанотрубка обеспечивает электронный  
20 транспорт между входным и выходным электродами, что может быть зафиксировано средствами измерения электрического тока или напряжения, находящимися в сигнальной связи с входным или выходным электродом.

Поскольку механический контакт нанотрубки с выходным электродом предполагает упругую деформацию нанотрубки (за счет деформации нанотрубка  
25 преодолевает зазор, отделяющий ее от выходного электрода), то возникают силы упругости стремящиеся разорвать данный контакт и вернуть нанотрубку в исходное недеформированное состояние. Им противодействуют силы Ван-дер-Ваальса, возникающие непосредственно в области механического контакта. В зависимости от соотношения данных сил, механический контакт между нанотрубкой и управляющим  
30 электродом будет либо сохраняться (стабильный контакт), либо будет разорван (кратковременный контакт). Задание характера механического контакта может осуществляться следующими способами. Во-первых, величина зазора отделяющего нанотрубку от выходного электрода определяет деформацию, которую необходимо

испытать нанотрубке для контакта с выходным электродом, а, следовательно, определяет величину силы упругости, стремящейся вернуть нанотрубку в исходное состояние. Во-вторых, свойства поверхности нанотрубки и выходного электрода определяют величину действующих в области контакта Ван-дер-Ваальсовых сил и могут быть заданы, например, посредством функционализации поверхности или нанесением на нее определенных покрытий. В-третьих, может быть использовано Кулоновское взаимодействие нанотрубки и выходного электрода, которое может носить как отталкивающий, так и притягивающий характер. В первом случае нанотрубка и выходной электрод заряжаются одноименным электрическим зарядом.

5 Во втором случае между нанотрубкой и выходным электродом имеется разность потенциалов и между ними протекает электрический ток. Для более эффективного контроля силы Кулона действующей на нанотрубку находящуюся в состоянии механического контакта с выходным электродом, может быть применен дополнительный электрод, не вступающий с нанотрубкой в непосредственный

10 электрический контакт.

В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения углеродная нанотрубка свободна совершать механические колебания на собственных частотах. Посредством приложения напряжения смещения соответствующей частоты между нанотрубкой и выходным электродом обеспечивается возбуждение резонансных колебаний углеродной нанотрубки. Геометрия нанотрубки и ширина зазора между нанотрубкой и выходным электродом заданы таким образом, что при определенном значении амплитуды прикладываемого напряжения смещения, амплитуда резонансных колебаний нанотрубки становится достаточной для ее перехода в состояние стабильного или кратковременного механического контакта с выходным

20 электродом. В данном состоянии нанотрубка обеспечивает электронный транспорт между входным и выходным электродами, что может быть зафиксировано средствами измерения электрического тока или напряжения, находящимися в сигнальной связи с входным или выходным электродом. Описанным образом обеспечивается простой способ измерения частоты резонансных колебаний нанотрубки. В отличие от

25 известных способов, которые основаны, например, на измерении модуляции электрической емкости системы нанотрубка – пространственно отделенный электрод, или модуляции сопротивления или плотности носителей зарядов нанотрубки, данный

30 способ не требует анализа высокочастотного электрического сигнала, что упрощает

его реализацию и снижает требования к величинам паразитных емкостей системы. Следует отметить, что точность определения резонансной частоты данным способом может быть увеличена в случае осуществления нескольких итераций измерения. Это связано с ролью величины напряжения смещения возбуждающего колебания нанотрубки. Если возбуждающее напряжение имеет величину, превышающую то минимальное значение, которое необходимо для перехода нанотрубки в контакт с выходным электродом, то данный переход может произойти при любой частоте возбуждающего напряжения, лежащей в некоторой окрестности резонансной частоты (величина этой окрестности тем больше, чем больше напряжение смещения превышает минимальное значение). Поскольку на практике минимальное значение возбуждающего напряжения смещения может быть неизвестно, то после первой итерации измерения резонансной частоты целесообразно уменьшение величины возбуждающего напряжения и повторение процедуры измерения. Для уменьшения количества требуемых итерационных шагов можно применять различные численные методы, в частности метод дихотомии или деления отрезка по полам. В силу предельно высокой добротности нанотрубки в роли осциллятора (US2002167375) (что означает соответствующую узость резонансного пика), можно ожидать достаточно высокой точности измерения резонансной частоты предложенным методом.

В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения обеспечивается энергонезависимая память, характеризующаяся возможностью достижения высокой степени интеграции и наличием дополнительной независимой координаты адресации, в качестве которой выступает резонансная частота адресуемого элемента. Для этого множество углеродных нанотрубок группируется в массивы, причем углеродные нанотрубки в каждом массиве имеют общие входные и выходные электроды. Данные электроды формируются методами традиционной литографии, а пространственное отделение углеродных нанотрубок каждого массива от соответствующего им выходного электрода достигается одним из вышеописанных способов самосовмещения. Геометрия нанотрубок и ширина зазоров отделяющих их от выходных электродов заданы таким образом, чтобы в случае перехода нанотрубки в механический контакт с выходным электродом, данный механический контакт оказывался стабильным. Таким образом, каждая нанотрубка имеет два стабильных состояния: свободное состояние и состояние механического контакта с соответствующим выходным электродом. В состоянии механического контакта

нанотрубка способна осуществлять транспорт электронов между соответствующим входным и выходным электродом, что может быть зафиксировано средствами измерения электрического тока или напряжения, находящимися в сигнальной связи с входным или выходным электродом. Для перевода определенной нанотрубки из

5 свободного состояния в состояние механического контакта, необходимо между входным и выходным электродами того массива нанотрубок к которому относится данная нанотрубка, приложить напряжение смещения, так чтобы его частота соответствовала резонансной частоте данной нанотрубки. Если остальные нанотрубки

10 в данном массиве имеют резонансные частоты отличные от резонансной частоты адресуемой нанотрубки, то их механическое движение не будет носить резонансного характера и, следовательно, будет характеризоваться малой амплитудой колебаний, в то время как адресуемая нанотрубка за счет эффекта резонанса накопит большую энергию механических колебаний, что позволит ей деформироваться в такой степени, что на соответствующей фазе колебания она достигнет выходного электрода и

15 перейдет в стабильное состояние механического контакта. Для перевода нанотрубки в исходное свободное состояние необходимо приложить одноименный электрический потенциал к нанотрубке и выходному электроду, с которым она контактирует, либо дополнительному электроду, который находится в изолированном от нанотрубки состоянии. Однако поскольку входной и выходной электроды являются общими для

20 всех нанотрубок массива, то результатом данного действия будет перевод всех нанотрубок массива в стабильное свободное состояние. Т.е. в данном режиме получаем энергонезависимую память, обеспечивающую произвольный доступ к записи, однако перезапись может быть сделана только посредством «обнуления» состояния всех нанотрубок массива. Данное ограничение может быть преодолено если

25 нанотрубка находясь в состоянии механического контакта с выходным электродом также свободна совершать механические колебания на собственных частотах. Резонансная частота нанотрубки находящейся в состоянии контакта будет превышать резонансную частоту соответствующего порядка резонанса этой же нанотрубки находящейся в свободном состоянии, поскольку область контакта служит

30 дополнительной точкой закрепления нанотрубки и общая жесткость нанотрубной структуры, таким образом, будет увеличена. В качестве примера можно привести нанотрубку вертикально закрепленную на подложке, вокруг которой коаксиально расположен выходной электрод. В свободном состоянии нанотрубка имеет одну точку

закрепления и способна колебаться подобно консольно закрепленной балке. В состоянии контакта с выходным электродом нанотрубка оказывается закрепленной с двух концов и свободна колебаться подобно струне, при этом частота ее собственных колебаний возрастает более чем в два раза.

5 Возбуждая резонансные колебания нанотрубки, находящейся в состоянии механического контакта, можно сообщить ей большую энергию механического движения. При этом на определенных фазах колебания, вследствие деформации нанотрубки, будет возникать сила упругости, стремящаяся разорвать механический контакт, причем данная сила окажется синхронизированной с отталкивающей фазой  
10 силы Кулона, действующей со стороны выходного электрода. В результате разрыв механического контакта резонирующей углеродной нанотрубки будет происходить при меньших значениях напряжения смещения, чем для остальных нанотрубок. Таким образом, обеспечивается возможность инициации перехода определенной нанотрубки из состояния механического контакта с выходным электродом в свободное состояние.

15 Для считывания состояния отдельной нанотрубки также может быть применен эффект резонанса. Для этого подсистема, содержащая одну нанотрубку (т.е. одна ячейка памяти), состояние которой необходимо считать, переходит в режим работы фильтра электрического сигнала (данный способ использования структур на основе углеродных нанотрубок описан в патентах (WO02080360, US2002167375, EP1646145,  
20 WO2007030423)). Суть работы такого фильтра заключается в том, что резонансные механические колебания нанотрубки обеспечивают модуляцию выходного электрического сигнала, причем частота такой модуляции соответствует резонансной частоте нанотрубки. В результате из входного сигнала, который играет роль сигнала возбуждения колебаний нанотрубки, выделяется только та гармоника, частота которой  
25 соответствует резонансной частоте нанотрубки, а остальные гармоники задерживаются. Физический механизм обеспечивающий преобразование механического движения нанотрубки в модуляцию выходного электрического сигнала может быть различным. Поскольку описываемая структура имеет два стабильных состояния, возможны два режима ее работы в качестве фильтра электрических  
30 сигналов. В свободном состоянии нанотрубки соответствующая гармоника подаваемого на входной электрод сигнала транслируется на выходной электрод посредством емкостной связи. Величина входного сигнала должна быть достаточно мала, для того чтобы колеблющаяся нанотрубка не переходила в контакт с выходным

электродом, поскольку речь идет об операции считывания и состояние нанотрубки не должно измениться. Ближайшим аналогом нанотрубной структуры в данном режиме работы выступает устройство описанное в патентах (US2002167375, EP1646145). В состоянии механического контакта нанотрубки входной сигнал подается на  
5 дополнительный электрод, электрически изолированный от нанотрубки. Соответствующая гармоника входного сигнала транслируется в электрическую цепь входной электрод – нанотрубка – выходной электрод посредством модуляции сопротивления или плотности носителей заряда нанотрубки, где данная модуляция является следствием механической деформации нанотрубки. Ближайшими аналогами  
10 нанотрубной структуры в данном режиме работы выступают устройства описанные в патентах (WO02080360, WO2007030423). Таким образом, подавая различные гармоники на соответствующие электроды массива нанотрубок и анализируя гармоники прошедшие в выходной сигнал, можно определить в каком состоянии находятся отдельные нанотрубки данного массива. Следует отметить, что как  
15 процедура считывания, так и описанные выше процедуры записи и перезаписи, могут проводиться одновременно для различных нанотрубок массива. Это достигается тем, что сигналы подаваемые на считывание или запись представляют собой суперпозицию различных гармоник, каждая из которых вызывает резонансное движение соответствующей нанотрубки.

20 Описанный вариант реализации изобретения в качестве энергонезависимой памяти обеспечивает следующие преимущества.

-Степень интеграции, благодаря использованию эффектов самоорганизации и самосовмещения, не лимитируется возможностями традиционной литографии. Верхний предел степени интеграции, соответствующий использованию в качестве  
25 управляемых элементов вертикальных однослойных углеродных нанотрубок, достигает  $10^{16} \text{ м}^{-2}$  и более.

-В основе механизма записи информации лежит задание одного из двух стабильных механических состояний системы на основе углеродной нанотрубки, что обеспечивает энергонезависимый режим хранения информации. Механические  
30 состояния могут иметь большую стабильность во времени, чем зарядовые состояния, поскольку последние подвержены эффектам утечки, что особенно актуально на наноуровне. Кроме того, сочетание механического принципа записи и высокой

прочности межатомных связей в углеродной нанотрубке обеспечивает предпосылки к сверхвысокой радиационной стойкости такой памяти.

-Достигается снижение плотности необходимых межсоединений, что позволяет преодолеть одно из главных узких мест процесса дальнейшей миниатюризации электронных схем. Все нанотрубки составляющие массив имеют общие электроды, а адресация нанотрубок в массиве осуществляется посредством использования их резонансных частот. Таким образом, общее количество межсоединений может быть снижено в  $N$  раз, где  $N$  – количество нанотрубок составляющих один массив. Наибольшее значение, которое может иметь  $N$ , определяется минимальным различием резонансных частот двух нанотрубок, которое еще позволяет адресовать эти нанотрубки по отдельности, и шириной диапазона резонансных частот нанотрубок массива. В силу того, что осциллятор в виде углеродной нанотрубки обладает рекордно большой добротностью (до  $10^5$  в вакууме (US2002167375)) и характеризуется узким резонансным пиком, разрешающая способность по резонансной частоте будет составлять не менее нескольких десятков или сотен герц. Поскольку частоты колебаний нанотрубок, в зависимости от их геометрии могут достигать единиц ТГц (Tsu-Wei Chou, Zhifeng Ren, Rod Ruoff, Hai Wang. NSF Nanoscale Science and Engineering Grantees Conference. 2003), то верхний предел количества состояний различимых по резонансной частоте составляет порядка  $10^9$ ..<sup>11</sup> состояний. Столь большое количество различимых состояний демонстрирует, что резонансная частота представляет собой чрезвычайно ёмкий параметр адресации. Таким образом, требования к разрешающей способности фотолитографии используемой для создания электродов могут быть снижены как минимум на несколько порядков, притом что степень интеграции будет сохранена максимальной. Для обеспечения контролируемого разнесения нанотрубок массива по резонансным частотам можно в процессе роста нанотрубок обеспечить градиент условий роста по массиву (например, градиент концентрации парогазовой смеси, температуры, размера каталитических частиц и т.д.) или обеспечить градиент условий обработки выращенных нанотрубок (градиент интенсивности травления нанотрубок, интенсивности нанесения на них дополнительного материала и т.д.).

Рассмотрим вопрос быстродействия описанной памяти. Вследствие резонансного принципа работы памяти, на каждую операцию записи или считывания необходимо потратить время равное некоторому количеству периодов резонансных



колебаний (накопление нанотрубкой энергии механического движения происходит постепенно в процессе колебаний). С учетом того, что частота колебаний углеродных нанотрубок может достигать единиц ТГц, верхний предел частоты работы предлагаемой памяти находится в районе десятков и сотен ГГц.

- 5 В одном из вариантов реализации предлагаемого изобретения обеспечивается селективный датчик газов высокой чувствительности. При адсорбции нанотрубкой молекул какого-либо газа (в общем случае, может происходить также процесс абсорбции газа, поскольку на поверхности нанотрубки может присутствовать слой квазижидкого адсорбата, выполняющего в данном случае роль абсорбента),
- 10 собственные частоты колебаний нанотрубки смещаются, что обусловлено действием следующих механизмов. Первый механизм основан на так называемом гравиметрическом эффекте и заключается в изменении частоты собственных колебаний при изменении линейной плотности нанотрубки вследствие изменения массы газового адсорбата на его поверхности. Резонансная частота первого порядка
- 15 консольно закрепленной нанотрубки дается формулой (US2002167375):

$$f \approx \frac{(1,875)^2}{8\pi} \frac{1}{L^2} \sqrt{D^2 + D_i^2} \sqrt{\frac{E_b}{\rho}} \quad (1)$$

- Где  $L$  – длина,  $D$  и  $D_i$  – внешний и внутренний диаметры,  $E_b$  – модуль Юнга, и  $\rho$
- 20 – плотность (1.33 г/см<sup>3</sup>). Для нанотрубки длиной 100 нм и диаметрами 10 и 8 нм, формула предсказывает резонансную частоту около 4 ГГц. С ростом массы адсорбируемого газа эффективное значение плотности нанотрубки будет расти, и частота будет убывать обратно пропорционально корню квадратному из этой плотности.

- 25 Второй механизм основан на эффекте изменения механических напряжений в нанотрубке вследствие взаимодействия активных центров поверхности нанотрубки с молекулами адсорбируемого газа. Данный процесс приводит к изменению жесткости нанотрубки и соответствующему изменению эффективного значения модуля Юнга в формуле 1. Характер изменения жесткости нанотрубки определяется свойствами ее
- 30 поверхности и типом адсорбируемого газа. Так, для углеродных нанотрубок известно, что при экспонировании их газообразным CO<sub>2</sub>, в результате сорбции молекул углекислого газа происходит увеличение средней длины связей между атомами

углерода в нанотрубке (Zribi A., Knobloch A., Rao R. Applied Physics Letters. 2005. Vol. 86. Issue 20), что в рассматриваемом случае консольно закрепленной нанотрубки соответствует уменьшению ее жесткости и соответствующему уменьшению частоты собственных колебаний.

5 В общем случае адсорбция нанотрубкой молекул может происходить не только из газовой, но также из жидкой фазы. В результате сопротивления движению нанотрубки со стороны жидкой среды, добротность нанотрубного осциллятора в жидкости будет понижена, однако вследствие большого исходного значения добротности, нанотрубный осциллятор может сохранить свою работоспособность (с  
10 неизбежной потерей разрешающей способности по резонансной частоте). Таким образом, предлагаемая в изобретении функциональная структура может иметь приложение также в задачах анализа состава жидких сред.

Если известно, сорбция какого из присутствующих в атмосфере газов вызывает изменение частоты резонансных колебаний нанотрубки, то по величине этого  
15 изменения можно определить концентрацию данного газа. Высокая чувствительность данного метода обусловлена, во-первых, высокой удельной поверхностью углеродной нанотрубки, что приводит к увеличению чувствительности резонансной частоты нанотрубного осциллятора к концентрации детектируемого газа, а во-вторых, большой добротностью нанотрубного осциллятора, что приводит к увеличению  
20 точности определения резонансной частоты и соответствующему увеличению разрешающей способности измерения. В качестве примера демонстрирующего потенциал нанотрубного осциллятора в роли газового сенсора можно привести следующий. Были проведены эксперименты, где вместо нанотрубки в качестве резонатора использовалась кремниевая балка с нанесенной на ее поверхность сеткой  
25 углеродных нанотрубок. Была обнаружена зависимость частоты резонансных колебаний такого резонатора от концентрации в атмосфере молекул H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub>. В частности для H<sub>2</sub>O была достигнута разрешающая способность около 3 ppm (или  $3 \cdot 10^{-6}$  at %). Если учесть, что удельная поверхность использованной кремниевой балки и ее добротность на 3-4 и 1-3 порядков, соответственно, меньше удельной  
30 поверхности и добротности нанотрубного резонатора, а разрешающая способность измерения пропорционально возрастает как с ростом удельной поверхности, так и с ростом добротности, то для нанотрубного осциллятора в качестве газового сенсора

можно экстраполировать разрешающую способность на уровне  $10^{-8}$ - $10^{-11}$  ат % (т.е. 1 молекула детектируемого газа на  $10^{10}$ - $10^{13}$  молекул атмосферы).

В одном из вариантов предлагаемого в изобретении селективного датчика газов реализуется механизм принудительной десорбции газа, что необходимо для  
5 контроля времени регенерации сенсорного элемента датчика перед следующим независимым измерением. Принудительная десорбция реализуется так называемым режимом «термовспышки», при котором нанотрубка нагревается до температуры, превышающей пороговую температуру адсорбции газовых молекул данного типа, посредством прохождения через нее электрического тока высокой плотности или  
10 посредством теплообмена с внешним источником тепла (например, с расположенным по близости резистивным нагревателем). В случае пропускания электрического тока через саму нанотрубку, возможна десорбция не только по механизму термической активации адсорбированных молекул, но также по механизму токовой активации. Для пропускания электрического тока через нанотрубку используются либо электроды  
15 находящиеся в постоянном контакте с нанотрубкой, либо один электрод находящийся в постоянном контакте с нанотрубкой (например, входной электрод), а роль второго электрода выполняет выходной электрод, который составляет с нанотрубкой разъемный контакт. В случае использования эффекта полевой или термической эмиссии электронов нанотрубкой (Bonard J.M., Kind H., Stockli T., et al. Solid-state  
20 electronics. 2001. Journal SSE. Article No. 2586. P. 1-22), прохождение электрического тока через нанотрубку может быть обеспечено при помощи всего одного контактирующего с ней электрода.

Инициация десорбции может быть также достигнута посредством облучения нанотрубки электромагнитным излучением соответствующей длины волны  
25 (например, излучением ультрафиолетового диапазона).

В одном из вариантов предлагаемого в изобретении селективного датчика газов реализованы все или некоторые из следующих механизмов селективности, позволяющих различать газы по типам.

- Поверхность углеродной нанотрубки может быть функционализирована, т.е.  
30 определенным образом химически обработана, в результате чего элемент приобретает способность избирательно взаимодействовать с газом определенного типа. Придание поверхности нанотрубки определенных свойств может быть обеспечено как в самом процессе ее роста, так и при последующей обработке. Очевидно, что применимость и

эффективность данного механизма селективности определяется наличием и эффективностью соответствующих химических (или биологических) реагентов, молекулы которых способны, с одной стороны, химически или физически закрепляться на поверхности твердого тела (функционализировать ее), а с другой стороны, избирательно и обратимо взаимодействовать с газами или частицами нужных типов.

-Второй механизм селективности основан на зависимости величины смещения резонансной частоты от таких параметров нанотрубки как длина, диаметр и структура, а именно на том, что эта зависимость уникальна для каждого типа газа. Происходящие в результате адсорбции гравиметрический эффект и эффект изменения механических напряжений будут находиться в разном соотношении для газов различных типов, поскольку их молекулы обладают различной массой, различными механизмами и энергией связей с активными центрами поверхности нанотрубки. Гравиметрическая компонента смещения резонансной частоты имеет свою зависимость от длины/диаметра/структуры нанотрубки, не совпадающую с зависимостью от этих параметров компоненты смещения резонансной частоты обусловленной механическими напряжениями. Причем зависимость «механической» компоненты в общем случае также различна для различных типов газа. В результате по соотношениям между величинами сдвига резонансной частоты, соответствующими нанотрубкам с существенно различной длиной/диаметром/структурой, можно судить о типе газа, после чего становится возможной корректная интерпретация абсолютных значений сдвига резонансной частоты с целью определения концентрации газа данного типа. Практически задачу интерпретации относительных и абсолютных значений сдвига резонансной частоты для датчика с произвольным количеством произвольных по характеристикам нанотрубок легко решить процедурой калибровки данного экземпляра датчика, проведенной для всех интересующих типов газов. Эффективность данного механизма селективности возрастает с увеличением различий в свойствах участвующих в измерении нанотрубок. Поэтому, если какое-либо из свойств нановолокна является случайным (например, структура и количество дефектов), то целесообразно увеличивать количество нанотрубок в составе датчика и тем самым увеличивать вероятность возникновения нанотрубки с особенностями, более полно отвечающими какому-либо конкретному типу газа. Так как размеры (по крайней мере поперечные) самой нанотрубки чрезвычайно малы, а технологии

выращивания нанотрубок отвечают критерию массивного параллелизма, то конструктивное совмещение в одном устройстве большого количества нанотрубок представляется целесообразным. Кроме отличий по длине, диаметру и структуре нанотрубки могут различаться также по наличию и параметрам функционализации

5 поверхности.

-Третий механизм селективности основан на различии температурных зависимостей адсорбции для различных типов газа. В частности, на различии значений пороговой температуры адсорбции, при которой энергия связи молекул газа с активными центрами поверхности твердого тела перестает превышать энергию

10 теплового движения этих молекул. Реализация данного механизма селективности возможна посредством чередования «холодных» и «горячих» режимов работы, при которых соответствующим образом варьируются температуры всех или отдельных осциллирующих нанотрубок. Контроль температуры отдельных нанотрубок осуществляется величиной проходящего через них электрического тока или

15 интенсивностью нагрева или облучения каким-либо внешним источником. Информацию о типе адсорбируемого газа в данном случае несут соотношения между величинами сдвига резонансной частоты, соответствующими различным температурным режимам работы. Для верной интерпретации этих соотношений желательна предварительная операция калибровки, проведенная для всех

20 интересующих типов газов (данная операция калибровки желательна также для всех остальных перечисленных ниже механизмов селективности).

-Четвертый механизм селективности основан на уникальности электронных свойств молекул различных типов. В случае, когда нанотрубка переходит в состояние механического контакта с выходным электродом, особенности электронного

25 транспорта в образованной таким образом цепи будут нести информацию об электронных свойствах молекул присутствующих на поверхности нанотрубки в области контакта. Это проявится в параметрах статических и динамических вольт-амперных характеристик структуры и в параметрах гистерезиса данных характеристик.

30 -Пятый механизм селективности основан на различии адгезии нанотрубки к выходному электроду в зависимости от свойств покрывающего нанотрубку адсорбата. Различие в адгезии обуславливает различие значений одноименного электрического

потенциала, который необходимо приложить к нанотрубке и контактирующему с ней выходному электроду, или дополнительному изолированному от нанотрубки электроду, для того чтобы перевести нанотрубку из состояния механического контакта в свободное состояние.

5 -Шестой механизм селективности основан на чувствительности параметров полевой или термоэмиссии электронов нанотрубкой от состояния ее поверхности, в частности от присутствующего на поверхности адсорбата. В случае, когда нанотрубка находится в свободном состоянии, коллектором эмитированных электронов может служить выходной электрод.

10 -Седьмой механизм селективности основан на различии сопротивления оказываемого движению нанотрубки со стороны среды, в зависимости от типов составляющих среду газов. Поскольку обеспечиваемый в предлагаемом изобретении зазор между нанотрубкой и выходным электродом может быть очень мал, то механические свойства заполняющей зазор среды могут существенно влиять на частоту резонансных колебаний нанотрубки.

15 -Восьмой механизм селективности основан на применении покрытий из материалов, обладающих селективной пропускной способностью. Данный подход, вообще говоря, применим к газовым датчикам любого типа и сводится к тому, что в зону сенсора датчика преимущественно пропускается газ только определенного типа, а остальные компоненты атмосферы задерживаются селективным покрытием. Применимость и эффективность данного механизма определяется уровнем развития технологии селективных покрытий.

25 Часть нанотрубок может быть конструктивно защищена от экспонирования газом, и сдвиги значений резонансной частоты данных нанотрубок, обусловленные изменением их температуры вследствие изменения температуры окружающей среды либо вследствие прохождения по ним электрического тока, могут быть использованы для компенсации температурной составляющей изменений значений резонансной частоты тех нанотрубок, которые экспонируются газом. Таким образом, не экспонируемая газом часть нанотрубок, по сути, будет выполнять функцию термического сенсора.

30

Пример выполнения

На поверхности диэлектрической подложки 1 (фиг. 6) при помощи золь-гель метода формируются каталитические наночастицы никеля. Проводится процесс роста углеродных нанотрубок в электрическом поле методом каталитического пиролиза паров углеродосодержащего газа (например, бутан-пропановой смеси). Результатом данного процесса является получение множества вертикально ориентированных углеродных нанотрубок 2. Методом лазерной абляции либо катодного распыления производится нанесение металлического слоя 3, например, слоя тантала. Данный слой выполняет функцию входного электрода, а также обеспечивает дополнительную фиксацию нанотрубок в вертикальном положении. Методом магнетронного напыления наносится диэлектрический слой 4, например слой оксида алюминия. Методом катодного распыления наносится слой аморфного углерода 5, который играет функцию выходного электрода. Посредством термического отжига производится повышение проводимости слоя аморфного углерода 5. Между входным 3 и выходным 5 электродами прикладывается разность потенциалов не менее 3 В, так чтобы выходной электрод 5 являлся анодом. При этом в области вокруг нанотрубки 2 происходит окисление углеродного слоя 5 с образованием газообразного CO<sub>2</sub>, что приводит к формированию зазора между нанотрубкой 2 и электродом 5 (фиг. 7). Процесс окисления происходит до тех пор, пока нанотрубка 2 не окажется полностью изолированной от выходного электрода 5. Атмосфера, в которой проводится процесс окисления должна содержать кислород или пары воды. Имеется возможность уширения зазора между нанотрубкой 2 и выходным электродом 5. Для этого нанотрубка 2 посредством силы Кулона переводится в состояние механического контакта с выходным электродом 5 (фиг. 2), после чего проводится повторный процесс локального анодного окисления выходного электрода 5. Данная процедура может быть проведена требуемое количество раз. Для того чтобы в процессе эксплуатации полученной структуры при переходе нанотрубки 2 в состоянии механического контакта, не происходило нежелательного окисления выходного электрода 5, необходимо либо обеспечить соответствующие полярность и диапазон рабочего напряжения смещения, либо нанести на поверхность выходного электрода 5 дополнительный слой химически инертного проводящего материала 6 (фиг. 3). Отметим наличие проблемы взаимодействия углеродной нанотрубки с частицами вещества напыляемого при формировании проводящего слоя 3 и диэлектрического слоя 4. В идеале данные частицы должны формировать слои 3 и 4 и при этом

оставлять поверхность нанотрубки 2 свободной от каких-либо покрытий. Для этого наносимые материалы и условия их нанесения должны быть выбраны таким образом, чтобы веществу было энергетически невыгодно оставаться на поверхности нанотрубки в виде сплошного, или даже диспергированного покрытия. Углеродные нанотрубки малого диаметра (однослойные, или с малым числом слоев) имеют малый радиус кривизны поверхности и соответственно большую поверхностную энергию, и тем самым способствуют выполнению данного условия. Для углеродных нанотрубок и нановолокон относительно большого диаметра (такие структуры могут быть вполне пригодными, например, для сенсорных приложений), являющихся массивными по отношению к напыляемым тонким пленками (5-10 нм), вклад присутствующих на поверхности дисперсных островков напыляемых материалов может оказаться незначительным. Более того, за счет роста массы колеблющейся части может произойти рост добротности такого осциллятора. В случае высокой анизотропии напыления, направление которой совпадает с продольной осью нанотрубки, боковая поверхность нанотрубки будет испытывать минимум взаимодействий с частицами напыляемого вещества, и преимущественным процессом будет формирование «шапочки» на вершине нанотрубки. Это в еще большей степени будет способствовать увеличению добротности нанотрубного осциллятора (сопровождаяемому понижением частоты осциллятора). Альтернативным решением является использование для формирования функциональных слоев структуры газофазной или жидкофазной эпитаксии, реализованной таким образом, чтобы эпитаксиальный рост пленки происходил на поверхности подложки, в то время как на поверхности углеродной нанотрубки условия для роста отсутствовали бы.

Аналогичным способом может быть получена структура с дополнительным выходным электродом 5 (фиг. 4). Для этого после операции формирования зазора между нанотрубкой 2 и выходным электродом 5 осуществляются следующие дополнительные операции: нанесение второго диэлектрического слоя 6, нанесение второго слоя аморфного углерода 7, локальное окисление второго слоя аморфного углерода 7. Полученный дополнительный электрод (его роль играет первый слой аморфного углерода 5) может быть использован в частности для возбуждения колебаний нанотрубки 2, находящейся в состоянии механического контакта. Такой режим работы актуален для случая использования структуры в качестве ячейки описанной выше энергонезависимой памяти, адресация которой осуществляется



посредством задания частоты прикладываемого напряжения смещения. Дополнительный электрод 5 может быть использован также в сенсорных приложениях структуры, например, для контроля частоты резонансных колебаний или для контроля соотношения сил прижимающих нанотрубку 2 к выходному электроду 7, и сил стремящихся разорвать механический контакт нанотрубки 2 с выходным электродом 7.

Для формирования входных и выходных электродов может быть применена традиционная фотолитография. Тем самым может быть сформирована матрица электродов 1 и 4 разделенная диэлектрическим слоем 3 (фиг. 5). Количество нанотрубок 2 имеющих общие электроды 1 и 4 будет определяться поверхностной плотностью нанотрубок 2 и шириной формируемых фотолитографией электродов 1 и 4. Для увеличения однородности распределения нанотрубок 2 по поверхности, в качестве диэлектрической подложки 1 (фиг. 6) может быть использован пористый оксид алюминия (Li J., Papadopoulos C., Xu J.M., et al. Applied physics letters. 1999. Vol. 75, Issue 3. P. 367-369). В этом случае каталитические частицы, обеспечивающие рост нанотрубок 2, внедряются в поры оксида. Кроме увеличения однородности распределения нанотрубок 2 будет также иметь место эффект ориентации направления роста нанотрубок 2 стенками пор. В качестве пористого материала также может быть использован цеолит, поры которого образованы 12-ти членными кольцами атомов кислорода (Y-цеолит) и их характерные размеры соответствуют диаметру однослойных углеродных нанотрубок.

25

30

## Формула изобретения

1. Структура для задач сенсорной техники и микроэлектроники, включающая: по меньшей мере один управляемый элемент, обладающий электрической проводимостью; по меньшей мере один входной электрод, находящийся в  
5 электрическом контакте с управляемым элементом; по меньшей мере один выходной электрод, пространственно отделенный от управляемого элемента, находящийся с ним в электростатической связи, причем либо как минимум часть выходного электрода выполнена из материала испытывающего необратимые физические или химические  
10 изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном управляемым элементом, либо как минимум часть управляемого элемента выполнена из материала испытывающего необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном выходным электродом.

2. Структура по п. 1, характеризующаяся тем, что управляемый элемент выполнен в виде упругого элемента, способного изменять свою геометрию.

15 3. Структура по п. 2, характеризующаяся тем, что упругий элемент свободен совершать механические колебания на собственных частотах.

4. Структура по п. 2, характеризующаяся тем, что дополнительно включает средства детектирования электрического сигнала, находящиеся в сигнальной связи с как минимум одним входным или выходным электродом, а упругий элемент способен  
20 переходить в стабильный или кратковременный механический контакт с как минимум одним выходным электродом, при этом средства детектирования электрического сигнала обеспечивают как минимум детектирование изменений электрического сигнала связанных с данным стабильным или кратковременным механическим контактом.

25 5. Структура по п. 4, характеризующаяся тем, что как минимум часть поверхности по меньшей мере одного выходного электрода покрыта изолирующим или проводящим слоем, так что данный изолирующий или проводящий слой предотвращает возможность непосредственного механического контакта между упругим элементом и данным выходным электродом.

30 6. Структура по п. 3, характеризующаяся тем, что дополнительно включает средства подачи постоянного напряжения смещения между упругим элементом и выходным электродом, или комбинацией выходных электродов, обеспечивающие контроль частоты резонансных механических колебаний упругого элемента или, в

случае механического контакта упругого элемента с как минимум одним выходным электродом, контроль соотношения сил прижимающих управляемый элемент к выходному электроду и сил стремящихся разорвать механический контакт управляемого элемента с выходным электродом.

5           7. Структура по п. 4, характеризующаяся тем, что пространственное отделение упругого элемента и как минимум одного выходного электрода, или свойства поверхности упругого элемента и данного выходного электрода, или напряжение смещения, приложенное между упругим элементом и выходным электродом, или комбинацией выходных электродов, заданы таким образом, что обеспечивается либо  
10   стабильный, либо кратковременный механический контакт упругого элемента с данным выходным электродом.

8. Структура по п. 2, характеризующаяся тем, что как минимум часть поверхности управляемого элемента химически или биологически функционализована.

15           9. Структура по п. 3, характеризующаяся тем, что упругие элементы сгруппированы в массивы упругих элементов; упругие элементы в каждом массиве имеют общие входные и выходные электроды; дополнительно включены средства адресации упругих элементов или подгрупп упругих элементов; каждому упругому элементу или подгруппе упругих элементов в массиве соответствует своя частота  
20   резонансных колебаний; средства адресации задают при помощи входных и выходных электродов массив упругих элементов, к которому относится адресуемый упругий элемент или адресуемая подгруппа упругих элементов, и задают частоту переменного напряжения смещения прикладываемого к комбинации входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данная частота  
25   соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента или подгруппы упругих элементов.

10. Структура по п. 9, характеризующаяся тем, что каждый упругий элемент, находясь в состоянии механического контакта с по меньшей мере одним выходным электродом, свободен совершать механические колебания на собственной частоте,  
30   отличной от собственной частоты этого элемента находящегося в состоянии отсутствия механического контакта, а средства адресации задают частоту переменного напряжения смещения прикладываемого к комбинации входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данная частота

соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента находящегося в состоянии механического контакта, или так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента находящегося в состоянии отсутствия механического контакта.

5 11. Структура по пунктам 9 или 10, отличающаяся тем, что средства адресации задают напряжение смещения прикладываемое к комбинации входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данное напряжение смещения представляет собой суперпозицию переменных напряжений, частоты которых различны и частота каждого из которых соответствует частоте резонансных  
10 колебаний одного из упругих элементов.

12. Структура по пунктам 1 или 2, характеризующаяся тем, что управляемый элемент представляет собой углеродную нанотрубку или углеродное нановолокно, или пучок углеродных нанотрубок или углеродных нановолокон.

13. Структура по пунктам 1 или 2, характеризующаяся тем, что в качестве  
15 материала, из которого выполнена как минимум часть выходного электрода и который испытывает необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном управляемым элементом, выбран материала на основе углерода.

14. Структура по пунктам 1 или 2, характеризующаяся тем, что управляемый  
20 элемент представляет собой многослойную углеродную нанотрубку, как минимум один внешний слой которой удален при помощи воздействия, опосредованного выходным электродом.

15. Структура для задач сенсорной техники и микроэлектроники, включающая:  
по меньшей мере один управляемый элемент, выполненный в виде упругого элемента  
25 обладающего электрической проводимостью и свободного совершать механические колебания на собственных частотах; по меньшей мере один входной электрод, находящийся в электрическом контакте с упругим элементом; по меньшей мере один выходной электрод, пространственно отделенный от упругого элемента и находящийся с ним в электростатической связи; средства подачи напряжения  
30 смещения между комбинацией входных и выходных электродов; средства детектирования электрического сигнала, находящиеся в сигнальной связи с как минимум одним входным или выходным электродом, где средства подачи напряжения смещения обеспечивают возбуждение механических колебаний упругого элемента,

причем амплитуда резонансных колебаний упругого элемента имеет величину, обеспечивающую переход упругого элемента в стабильный или кратковременный механический контакт с как минимум одним выходным электродом, а средства детектирования электрического сигнала обеспечивают по меньшей мере  
5 детектирование изменений электрического сигнала связанных с данным стабильным или кратковременным механическим контактом.

16. Структура по п. 15, характеризующаяся тем, что упругие элементы сгруппированы в массивы упругих элементов; упругие элементы в каждом массиве имеют общие входные и выходные электроды; дополнительно включены средства  
10 адресации упругих элементов или подгрупп упругих элементов; каждому упругому элементу или подгруппе упругих элементов в массиве соответствует своя частота резонансных колебаний; средства адресации задают при помощи входных и выходных электродов массив упругих элементов, к которому относится адресуемый упругий элемент или адресуемая подгруппа упругих элементов, и задают частоту переменного  
15 напряжения смещения прикладываемого к комбинации входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента или подгруппы упругих элементов.

17. Структура по п. 16, характеризующаяся тем, что каждый упругий элемент,  
20 находясь в состоянии механического контакта с по меньшей мере одним выходным электродом, свободен совершать механические колебания на собственной частоте, отличной от собственной частоты этого элемента находящегося в состоянии отсутствия механического контакта, а средства адресации задают частоту переменного напряжения смещения прикладываемого к комбинации входных и выходных  
25 электродов заданного массива упругих элементов, так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента находящегося в состоянии механического контакта, или так что данная частота соответствует частоте резонансных колебаний адресуемого упругого элемента находящегося в состоянии отсутствия механического контакта.

30 18. Структура по пунктам 16 или 17, характеризующаяся тем, что средства адресации задают напряжение смещения прикладываемое к комбинации входных и выходных электродов заданного массива упругих элементов, так что данное напряжение смещение представляет собой суперпозицию переменных напряжений,

частоты которых различны и частота каждого из которых соответствует частоте резонансных колебаний одного из упругих элементов.

19. Структура по п. 15, характеризующаяся тем, что дополнительно включает как минимум одно из следующих средств: средства контроля скорости десорбции  
5 молекул газа с поверхности как минимум одного упругого элемента, которые содержат средства пропускания электрического тока через данный упругий элемент, или содержат внешний по отношению к данному упругому элементу нагреватель или источник электромагнитного излучения; средства определения соотношений между значениями сдвига частоты резонансных колебаний как минимум одного упругого  
10 элемента, где данный сдвиг связан с изменением величины проходящего через данный упругий элемент электрического тока или интенсивности нагрева или облучения данного упругого элемента внешним источником; средства измерения динамических или статических вольтамперных характеристик электрической цепи включающей как минимум один входной электрод, один выходных электрод и один упругий элемент,  
15 или средства детектирования изменения данных вольтамперных характеристик или изменения гистерезиса данных вольтамперных характеристик; средства детектирования силы адгезии между как минимум одним упругим элементом и как минимум одним выходным электродом, детектирующие величину электрического потенциала, который необходимо приложить к данному упругому элементу и  
20 определенному выходному электроду или комбинации выходных электродов для разрыва контакта между данным упругим элементом и данным выходным электродом; средства детектирования порога эмиссии электронов как минимум одним упругим элементом или средства детектирования изменения данного порога эмиссии; средства детектирования сдвига частоты резонансных колебаний как минимум одного упругого  
25 элемента, где данный сдвиг обусловлен изменением сопротивления движению данного упругого элемента со стороны окружающей упругий элемент среды; средства, обеспечивающие преимущественный доступ газов заданных типов как минимум к одному упругому элементу, основанные на использовании материалов с селективной пропускной способностью.

30 20. Структура по п. 15, характеризующаяся тем, что как минимум часть поверхности упругого элемента химически или биологически функционализирована.

21. Структура по пунктам 15 или 19, характеризующаяся тем, что включает два или более упругих элемента, которые различаются по длине или по эффективному

диаметру или по структуре или по параметрам функционализации поверхности, и дополнительно средства определения соотношений между значениями сдвига частоты резонансных колебаний данных упругих элементов, где данный сдвиг обусловлен физической или химической сорбцией молекул или частиц данными упругими  
5 элементами.

22. Структура по пунктам 15 или 19, характеризующаяся тем, что включает два или более упругих элемента, причем как минимум часть упругих элементов конструктивно защищена от экспонирования внешней средой, и дополнительно средства, определяющие сдвиг частоты резонансных колебания упругих элементов  
10 конструктивно защищенных от экспонирования, обусловленный изменением температуры данных упругих элементов вследствие изменения температуры окружающей среды либо вследствие прохождения по ним электрического тока.

23. Структура по п. 15, характеризующаяся тем, что упругий элемент представляет собой углеродную нанотрубку или углеродное нановолокно, или пучок  
15 углеродных нанотрубок или углеродных нановолокон.

24. Способ получения структуры для задач сенсорной техники и микроэлектроники, включающий: формирование как минимум одного управляемого элемента и как минимум одного выходного электрода, так что либо как минимум часть выходного электрода выполнена из материала испытывающего необратимые  
20 физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном управляемым элементом, либо как минимум часть управляемого элемента выполнена из материала испытывающего необратимые физические или химические изменения при физическом или химическом воздействии опосредованном выходным электродом; осуществление либо операции изменения свойств материала  
25 выходного электрода в области локализованной у границы раздела выходной электрод - управляемый элемент, где данное изменение свойств вызвано физическим или химическим воздействием опосредованным управляемым элементом, либо операции изменения свойств материала управляемого элемента в области локализованной у границы раздела управляемый элемент - выходной электрод, где данное изменение  
30 свойств вызвано физическим или химическим воздействием опосредованным выходным электродом.

25. Способ по п. 24, характеризующийся тем, что в качестве управляемого элемента выступает углеродная нанотрубка закрепленная на подложке в вертикальном

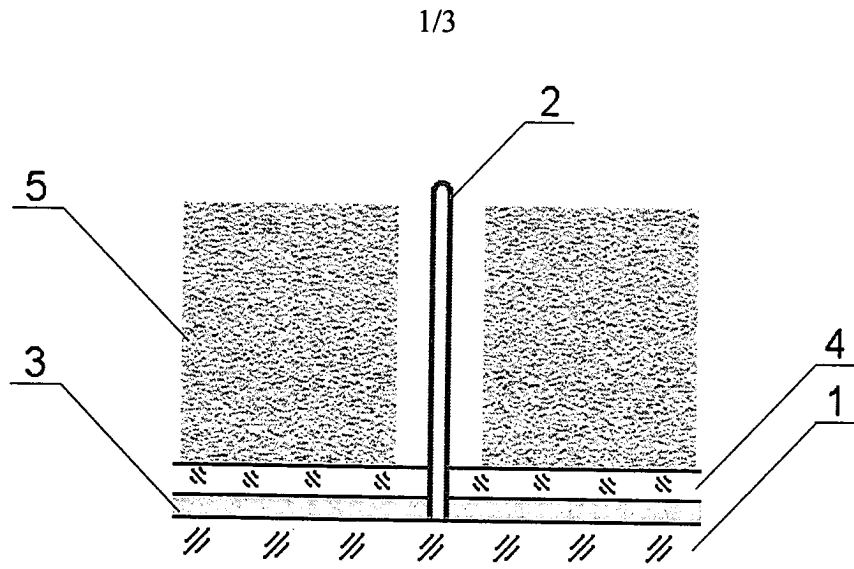
положении; в качестве выходного электрода выступает слой материала на основе углерода; в качестве операции изменения свойств материала выходного электрода выступает операция локального анодного окисления, причем управляемый элемент выступает в качестве катода, а выходной электрод выступает в качестве анода, в результате чего достигается окисление выходного электрода в области локализованной вокруг управляемого элемента.

26.Способ по п. 24, характеризующийся тем, что в качестве управляемого элемента выступает многослойная углеродная нанотрубка закрепленная на подложке в вертикальном положении; в качестве выходного электрода выступает слой химически инертного проводящего материала; в качестве операции изменения свойств материала управляемого элемента выступает операция локального анодного окисления, причем управляемый элемент выступает в качестве анода, а выходной электрод выступает в качестве катода, в результате чего достигается окисление как минимум одного внешнего слоя многослойной углеродной нанотрубки.

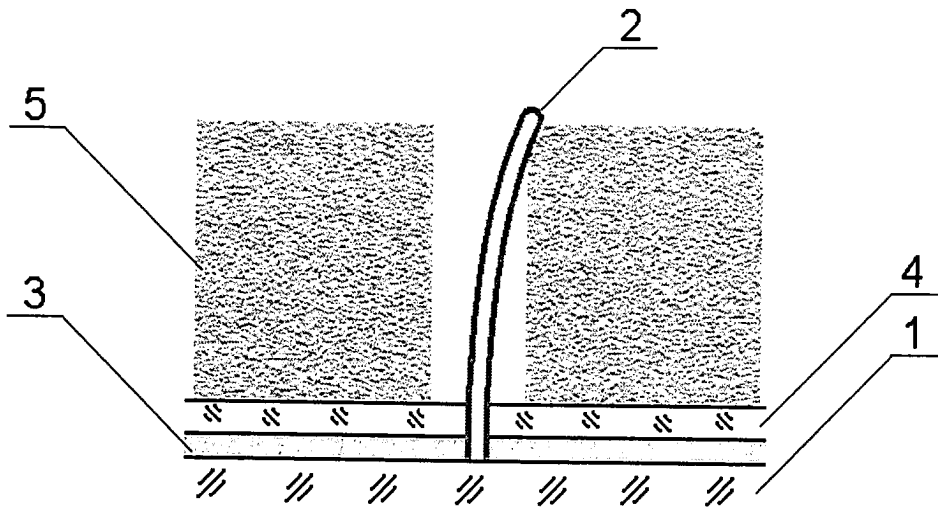
27.Способ получения структуры для задач сенсорной техники и микроэлектроники, включающий: формирование как минимум одного управляемого элемента и как минимум одного выходного электрода, так что управляемый элемент представляет собой нанотрубку или нановолокно или пучок нанотрубок или нановолокон, и на как минимум часть поверхности управляемого элемента нанесен слой материала, отличающегося по свойствам как от материала управляемого элемента, так и от материала выходного электрода; осуществление операции частичного или полного удаления слоя материала нанесенного на поверхность управляемого элемента и отличающегося по своим свойствам, как от материала управляемого элемента, так и от материала выходного электрода.

28.Способ по п. 27, характеризующийся тем, что нанотрубка представляет собой углеродную нанотрубку закрепленную на подложке в вертикальном положении; в качестве слоя материала нанесенного на как минимум часть поверхности управляемого элемента и отличающегося по свойствам как от материала управляемого элемента, так и от материала выходного электрода, выступает молекулярный монослой образованный в результате процесса самоорганизации; в качестве операции частичного или полного удаления данного молекулярного монослоя выступает операция селективного травления.

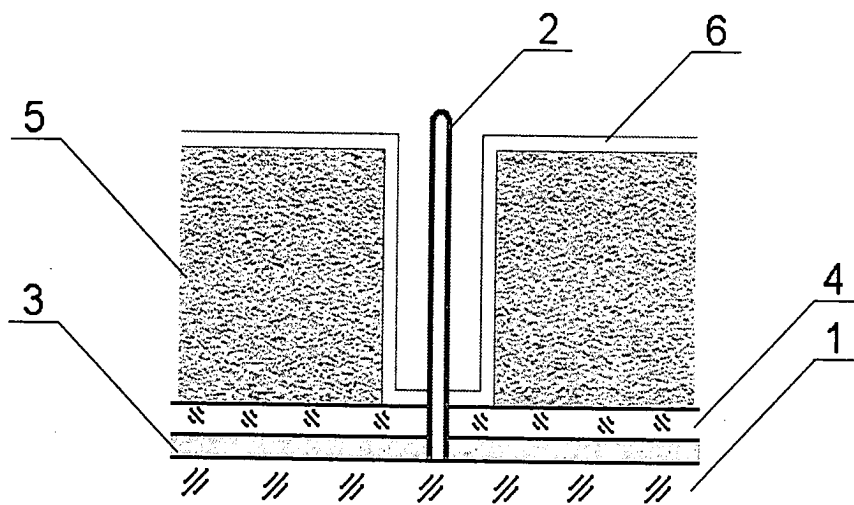




Фиг. 1

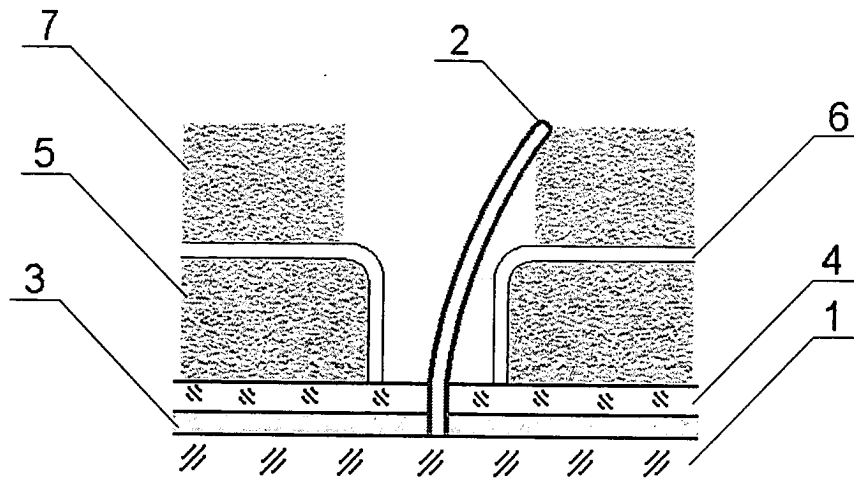


Фиг. 2

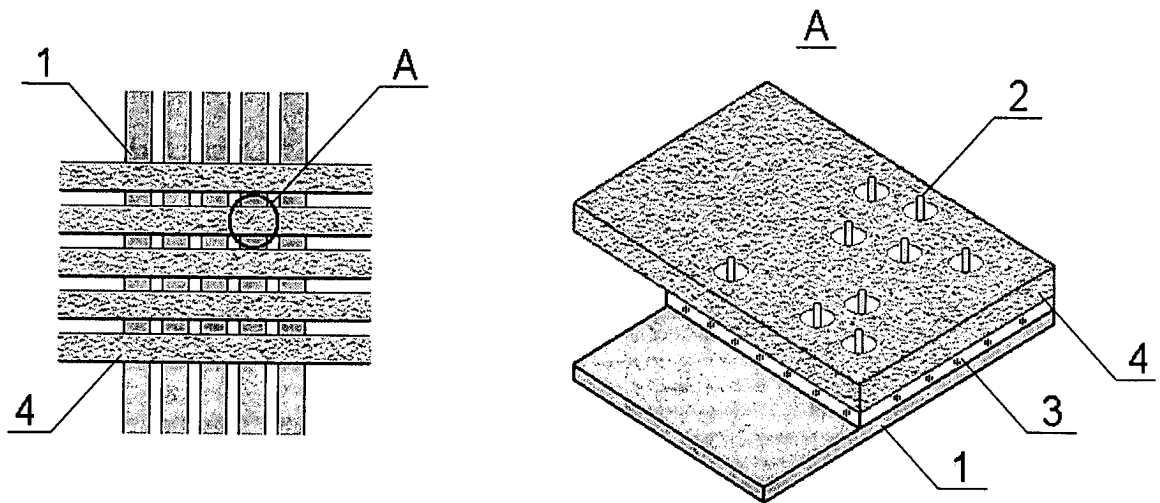


Фиг. 3

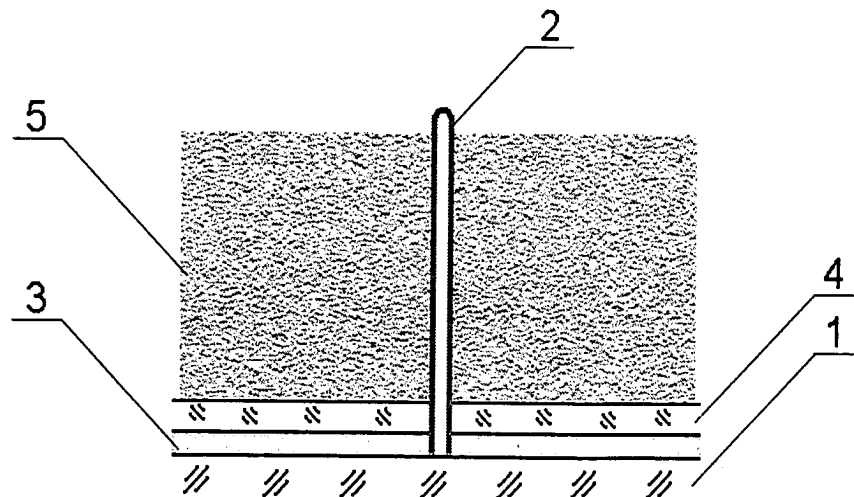
2/3



Фиг. 4

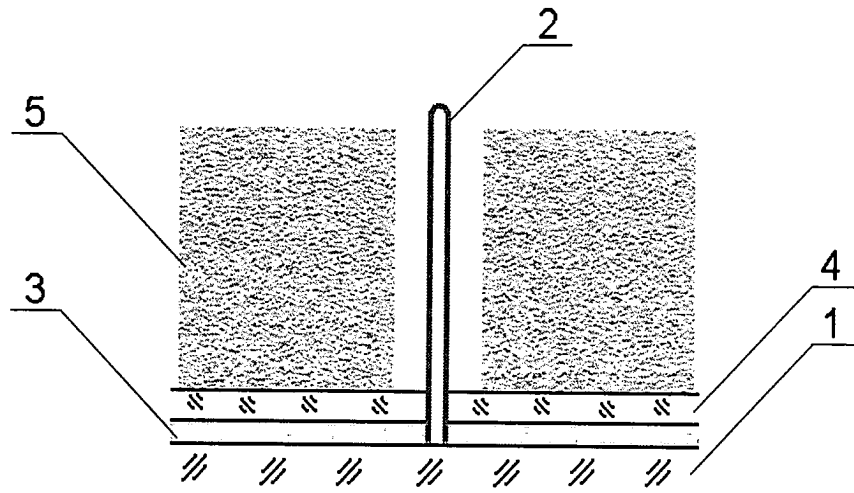


Фиг. 5



Фиг. 6

3/3



Фиг. 7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/RU 2008/000331

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**B82B 1/00 (2006.01)****B82B 3/00 (2006.01)**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

**B82B 1/00, 3/00, G01N 27/00**

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2007/030423 A2 (NANTERO, INC) 15.03.2007, the abstract	1-28
A	US 6803S40 B2 (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 12.10.2004, the abstract	1-28
A	RU 2238239 C1 (INSTITUT FIZIKI POLUPROVODNIKOV OBEDINENNOGO INSTITUTA FIZIKI POLUPROVODNIKOV SO RAN) 20.10.2004	1-28

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 October 2008 (30.10.2008)

Date of mailing of the international search report

20 November 2008 (20.11.2008)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

**SEE SUPPLEMENTAL SHEET**

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

**Claimed are three groups of inventions which are not so linked as to form a single inventive concept, since they do not contain the same or corresponding special technical features.**

**Group 1 (claims 1 and 24): a nanoelectromechanical structure and a process for the production thereof. The special technical features are the features relating to the choice of material of the output electrode or the controlled element.**

**Group 2 (claim 15): a nanoelectromechanical structure. The special technical features are the features relating to the excitation of mechanical oscillations of the controlled element for mechanical contact with the output electrode.**

**Group 3 (claim 27): a process for the production of a nanoelectromechanical structure. The special technical features are the features relating to the application of a layer of material to the surface of the controlled element and the subsequent partial removal of said layer.**

# ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №  
PCT/RU 2008/000331

## А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:

**B82B 1/00 (2006.01)**

Согласно Международной патентной классификации МПК

**B82B 3/00 (2006.01)**

## В. ОБЛАСТИ ПОИСКА:

B82B 1/00, 3/00, G01N 27/00

Проверенный минимум документации (система классификации с индексацией классификации):

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины):

## С. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:

Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	WO 2007/030423 A2 (NANTERO, INC) 15.03.2007, реферат	1-28
A	US 6803840 B2 (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 12.10.2004, реферат	1-28
A	KU 2238239 C1 (ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ СО РАН) 20.10.2004	1-28

следующие документы указаны в продолжении графы С.  данные о патентах-аналогах указаны в приложении

\* Особые категории ссылаемых документов:

A документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным

E более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее

L документ, подлежащий сомнению призывам (я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылаемого документа, а также в других целях (как указано)

O документ, относящийся к устройству раскрытию, использованию, эксплоатации и т.д.

P документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты неприоритетного приоритета

T более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение

X документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает повышенной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности

Y документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, таким комбинация документов очевидна для специалиста

Z документ, являющийся патентом-аналогом

Дата действительного завершения международного поиска:

30 октября 2008 (30.10.2008)

Дата отправки настоящего отчета о международном поиске:

20 ноября 2008 (20.11.2008)

Наименование и адрес ISA/RU

ФГУ ФИПС, РФ, 123995, Москва, 1-59, ГСП-5,  
Бережковская наб., 30, 1  
Факс: (499) 243-3337

Уполномоченное лицо:

И.Багинская

Телефон № (499) 240-25-91

Форма PCT/ISA/210 (второй лист)(июль 2008)

# ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №  
PCT/RU 2008/000331

## Графа II. Замечания для случая, когда некоторые пункты формулы не подлежат поиску (Продолжение пункта 2 первого листа)

Настоящий отчет о международном поиске не был подготовлен в отношении некоторых пунктов формулы в соответствии со статьей 17 (2) (а) по следующим причинам:

1.  пункты №:  
т.к. они относятся к объектам, по которым данный Международный поисковый орган не обязан проводить поиск, а именно:
2.  пункты №:  
т.к. они относятся к частям международной заявки, настолько не соответствующим установленным требованиям, что по ним нельзя провести полноценный международный поиск, а именно:
3.  пункты №:  
т.к. они являются зависимыми пунктами и не составлены в соответствии со вторым и третьим предложениями Правила 6.4 (а).

## Графа III. Замечания для случая несоблюдения единства изобретения (продолжение пункта 3 первого листа)

Настоящий международный поисковый орган обнаружил несколько групп изобретений в данной международной заявке, а именно:

См. дополнительный лист

1.  Т.к. все необходимые дополнительные пошлины были уплачены своевременно, настоящий отчет о международном поиске охватывает все пункты формулы изобретения, по которым можно провести поиск.
2.  Т.к. все пункты формулы, по которым можно провести поиск, могут быть рассмотрены без затрат, оправдывающих дополнительную пошлину, Международный поисковый орган не требовал оплаты дополнительной пошлины.
3.  Т.к. только некоторые из требуемых дополнительных пошлин были уплачены заявителем своевременно, настоящий отчет о международном поиске охватывает лишь те пункты формулы, за которые была произведена оплата, а именно пункты №:
4.  Необходимые дополнительные пошлины своевременно не были уплачены заявителем. Следовательно, настоящий отчет о международном поиске ограничивается группой изобретений, упомянутой первой в формуле изобретения; а именно пункты №:

- Замечания по возражению
- Уплата дополнительных пошлин за поиск сопровождалась возражением заявителя и, если применимо, уплатой пошлины за возражение.
  - Уплата дополнительных пошлин за поиск сопровождалась возражением заявителя, но соответствующие пошлины за возражение не были уплачены в течение срока, указанного в предложении.
  - Уплата дополнительных пошлин за поиск не сопровождалась возражением заявителя.



Заявлено три группы изобретений, которые не связаны общим изобретательским замыслом, поскольку не содержат одинаковых или соответствующих особых технических признаков.

1 группа (пункты 1 и 24) – наноэлектромеханическая структура и способ ее получения. Особыми техническими признаками являются признаки, касающиеся выбора материала выходного электрода или управляемого элемента.

2 группа (пункт 15) - наноэлектромеханическая структура. Особыми техническими признаками являются признаки, касающиеся возбуждения механических колебаний управляемого элемента для механического контакта с выходным электродом.

3 группа (пункт 27) – способ получения наноэлектромеханической структуры. Особыми техническими признаками являются признаки, касающиеся нанесения на поверхность управляемого электрода слоя материала и дальнейшего его частичного удаления.