



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012132613/28, 31.07.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
31.07.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.07.2012

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2014 Бюл. № 4

(45) Опубликовано: 10.04.2014 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2399064 C1, 10.09.2010. RU 2457577 C1, 27.07.2012. US 7304358 B2, 04.12.2007. US 5818093 A, 06.10.1998. JP 2010080466 A, 08.04.2010. JP 0007020148 A, 24.01.1995

Адрес для переписки:

124498, Москва, Зеленоград, пр-д 4806, 5, МИЭТ,
патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Беспалов Владимир Александрович (RU),
Золотарев Виталий Иосифович (RU),
Рудаков Григорий Александрович (RU),
Рыгалин Дмитрий Борисович (RU),
Федирко Валерий Алексеевич (RU),
Фетисов Евгений Александрович (RU),
Хафизов Ренат Закирович (RU),
Шепелев Станислав Олегович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Национальный исследовательский
университет "МИЭТ" (МИЭТ) (RU)

(54) АДАПТИВНЫЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ПОЛЕВОГО ПРИБОРА

(57) Реферат:

Изобретение относится к сенсорам физико-химических или биохимических воздействий, в частности к области инфракрасной техники, а именно к преобразователям теплового излучения в электрический сигнал. В адаптивном датчике на основе чувствительного полевого прибора, содержащем структуру «металл-диэлектрик-полупроводник» с полупроводниковой подложкой и подвижным проводящим электродом на консоли, включающей слои с различными коэффициентами термического

расширения, размещены затвор и р-п переход для ввода электрического сигнала. Это позволяет изменять заряд в структуре «металл-диэлектрик-полупроводник» и тем самым управлять подвижным электродом, удерживая его в оптимальном, для работы датчика, положении. Техническим результатом изобретения является реализация адаптивного датчика на базе термочувствительного полевого прибора и повышение его чувствительности, точности измерения и быстродействия. 4 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 511 203** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
G01C 19/56 (2012.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2012132613/28, 31.07.2012**

(24) Effective date for property rights:
31.07.2012

Priority:

(22) Date of filing: **31.07.2012**

(43) Application published: **10.02.2014** Bull. № 4

(45) Date of publication: **10.04.2014** Bull. № 10

Mail address:

**124498, Moskva, Zelenograd, pr-d 4806, 5, MIEhT,
patentno-litsenzionnyj otдел**

(72) Inventor(s):

**Bespalov Vladimir Aleksandrovich (RU),
Zolotarev Vitalij Iosifovich (RU),
Rudakov Grigorij Aleksandrovich (RU),
Rygalin Dmitrij Borisovich (RU),
Fedirko Valerij Alekseevich (RU),
Fetisov Evgenij Aleksandrovich (RU),
Khafizov Renat Zakirovich (RU),
Shepelev Stanislav Olegovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Natsional'nyj
issledovatel'skij universitet "MIEhT" (MIEhT)
(RU)**

(54) **ADAPTIVE SENSOR BASED ON SENSITIVE FIELD DEVICE**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention belongs to sensors of physical and chemical or biochemical actions, in particular to area of infra-red equipment, namely to converters of thermal radiation in an electric signal. In the adaptive sensor on the basis of the sensitive field device, containing a structure "metal-dielectric-semiconductor" with a semi-conductor substrate and a mobile conducting electrode on the console, which includes layers with various factors of thermal expansion, a gate and a p-n

transition for input of an electric signal. It allows to change a charge in the "metal-dielectric-semiconductor" structure and by that to operate a mobile electrode, holding it in optimum, for operation of the sensor, position.

EFFECT: realisation of an adaptive sensor on the basis of a thermosensitive field device and increase of its sensitivity, accuracy of measurement and speed.

4 dwg

Настоящее изобретение относится к сенсорам физико-химических или биохимических воздействий, в частности к области инфракрасной техники, а именно к преобразователям теплового излучения в электрический сигнал. Адаптивный датчик включает в себя термочувствительный полевой прибор на полупроводниковой подложке с подвижным проводящим электродом на консоли из двух или более слоев с различными физико-химическими свойствами, обладающей селективностью к внешнему физико-химическому или биохимическому воздействию, интегрированный с цепями входа управляющего сигнала и считывания первичного аналогового сигнала прибором. Адаптивный датчик присоединен к блоку обработки сигнала, который формирует управляющий сигнал, являющийся также и сигналом считывания.

К заявленному техническому решению близок микромеханический гироскоп и способ его настройки при помощи тестового внешнего воздействия (1). Это изобретение относится к области микромеханики, в частности к микромеханическим гироскопам (ММГ) вибрационного типа. Для подстройки параметров и контроля исправной работы формируют тестовое воздействие на подвижную массу путем изменения напряжения на электродах подключением к электродам внешнего источника сигнала и напряжения. Данный прибор не предназначен для использования в качестве преобразователя теплового излучения. Также предложенный способ управления и его реализация отличается от способа управления и считывания, заложенного в адаптивном датчике. Для настройки параметров гироскопа используется внешний источник сигналов, в то время как адаптивный датчик предназначен для того, чтобы осуществлять его постоянную подстройку и снятие параметров в процессе работы. Функционал, заложенный в адаптивный датчик, позволяет также выполнить проверку исправности, первоначальную калибровку и в дальнейшем использовать полученные данные в процессе работы.

Близким к заявленному техническому решению является и «интегральный микромеханический гироскоп-акселерометр на основе углеродных нанотрубок» (2). Прибор содержит полупроводниковую подложку с пятью неподвижными электродами, четыре подвижных электрода, выполненных в виде пластин с гребенчатыми структурами, образующих конденсаторы с неподвижными электродами и связанных с подложкой с помощью упругих балок, выполненных на основе углеродных нанотрубок, инерционную массу, расположенную с зазором относительно подложки и с расположенным на ней слоем дополнительной инерционной массы. К обкладкам конденсаторов прикладывается напряжение так, что возникают электростатические силы, направленные противоположно силам, вызывающим ускорение. Эти силы препятствуют движению маятника. Характеристики прибора могут лишь слабо изменяться под действием теплового излучения, также предложенный в изобретении прибор не обеспечивает термическую чувствительность и предназначен для измерения величин угловой скорости и ускорения.

«Термочувствительный полевой прибор», представленный в патенте №2399064 (3), - является прототипом для представленного адаптивного датчика. В основе функционирования прибора лежат физические процессы термического расширения материалов полиморфной части консоли, которая соединяет проводящий электрод с полупроводниковой подложкой, и накопления заряда в МДП-структуре при ее глубоком обеднении. Поскольку полиморфная часть выполнена из материалов с разными коэффициентами термического расширения, воздействие теплового излучения на поверхность проводящего электрода приводит к изгибу консоли и, следовательно, к изменению величины изолирующего промежутка, отделяющего затвор от подложки.

Это обеспечивает возможность тепловой модуляции величины подвижного заряда в приповерхностной области полупроводника или электрического тока через нее. Важная особенность прототипа датчика состоит в том, что он эффективно функционирует при комнатных и даже несколько более высоких температурах, что выгодно отличает его от квантовых приемников, требующих глубокого охлаждения. Конструкция прибора предусматривает использование в качестве проводящего электрода и консоли тонкопленочной структуры, для нагрева которой требуется незначительное количество тепла, что обеспечивает высокое быстродействие и минимальные значения разности температур, фиксируемых датчиком.

Недостатком известного термочувствительного полевого прибора является то, что выходной сигнал, который генерируется датчиком, зависит от неоднородного, сравнительно медленно меняющегося фона, что не позволяет обеспечить высокую чувствительность и быстродействие датчика. Ввод входа для внешнего сигнала позволит увеличить чувствительность и быстродействие датчика, а также позволит существенно упростить производственный контроль и калибровку датчиков и позволит осуществлять тонкую настройку датчика для конкретных условий прямо в процессе работы.

Задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, состоит в реализации адаптивного датчика на базе термочувствительного полевого прибора и повышения его чувствительности, точности измерения и быстродействия.

Данная задача решается за счет того, что в адаптивном датчике на основе чувствительного полевого прибора, содержащем структуру «металл-диэлектрик-полупроводник» с полупроводниковой подложкой и подвижным проводящим электродом на консоли, включающей слой с различными коэффициентами термического расширения, отличающимся тем, что на подложке на расстоянии не более ширины области пространственного заряда от края электрода расположен затвор и р-п переход для ввода электрического сигнала.

Это позволяет изменять заряд в структуре «металл-диэлектрик-полупроводник» и тем самым управлять подвижным электродом, удерживая его в оптимальном, для работы датчика, положении. Также наличие затвора и р-п перехода для ввода электрического сигнала позволяет настраивать датчик для получения более точных данных. Для реализации необходимо подключить блок обработки и формирования управляющего положением электрода сигнала к полемому прибору, который имеет цепь ввода этого сигнала, а выходную цепь блока обработки подключить посредством обратной связи к указанной цепи ввода.

Конструкция и принцип действия адаптивного датчика используют метод уравнивающих сил (4). Суть заключается в использовании электрического поля для противодействия силе, вызывающей изменение положения проводящего электрода. При этом электрод практически не перемещается. В зависимости от оказываемого воздействия проводящий электрод изменяет свое положение относительно подложки. При приближении электрода к положениям максимального удаления или максимального приближения к подложке происходит существенное изменение выходного сигнала и характеристик консоли электрода, что затрудняет анализ выходного сигнала и управление датчиком. Изменение управляющего сигнала в процессе работы дает возможность удерживать проводящий электрод в оптимальном положении относительно подложки, что позволяет достичь линейных характеристик датчика и выходных значений в определенном диапазоне. Управляющий сигнал выделяется в цепи обратной связи из первичного аналогового сигнала, который генерируется датчиком в присутствии электрического поля. Это позволяет устранить один из недостатков прототипа, где в

конструкции прибора предусматривается использование в качестве проводящего электрода и консоли тонкопленочной структуры, которая деформируется под действием теплового излучения, и не предусматривается ввода управляющего сигнала.

На Фиг.1 схематически представлено поперечное сечение предлагаемого термочувствительного полевого прибора, где:

1 - полупроводниковая подложка;

2 - проводящий электрод;

3 - изолирующий промежуток;

4 - консоль;

5 - часть консоли, состоящая из двух слоев с разными коэффициентами термического расширения;

6 - первый (нижний) слой консоли;

7 - второй (верхний) слой консоли;

9 - входной затвор к области подложки МДП-структуры;

10 - р-n переход;

11 - ширина области пространственного заряда; U - потенциал электрода;

α - угол изгиба консоли.

На Фиг.2 представлен датчик, вместе с соответствующей схемой считывания и управления.

Датчик интегрирован здесь с цепями входа управляющего сигнала и считывания первичного аналогового сигнала, и подключен к блоку обработки сигнала.

Обозначения на Фиг.2:

12 - чувствительный полевой прибор;

13 - цепь подвижного электрода;

14 - транзисторы первичной цепи считывания аналогового сигнала (стробирующий интегратор);

15 - затвор транзистора сброса;

16 - затвор нагрузочного транзистора;

17 - электрод(ы) переноса заряда прибора с зарядовой связью (ПЗС);

18 - затвор входа управляющего сигнала;

19 - выходные затворы ПЗС;

20 - входной затвор к области подложки МДП-структуры;

21 - VDD - цепь питания стробирующего интегратора;

22 - выход первичный - выходная цепь стробирующего интегратора;

23 - вход управляющего сигнала к области подложки МДП-структуры;

24 - вход управляющего сигнала (сигнала считывания) от блока обработки.

Блок обработки сигнала датчика включает в себя:

АЦП - преобразователь первичного аналогового сигнала датчика в цифровую форму.

ОЗУ - оперативное запоминающее устройство для данных об изменении положения электрода за время накопления (кадра).

ППЗУ - перезаписываемое постоянное запоминающее устройство для хранения данных об исходном положении подвижного электрода.

Арифметическое устройство - вычислитель величины управляющего сигнала в цифровой форме.

ЦАП - преобразователь цифрового управляющего сигнала в аналоговую форму (при необходимости, с усилителем).

На Фиг.3. представлена зависимость сигнала ОС от силового параметра: 1 - $v=0.5$, 2 - $v=0.9$.

На Фиг.4. представлена зависимость КОС от напряжения v .

Описание работы адаптивного датчика на основе термочувствительного полевого прибора. Покрытие консоли поглощает ИК излучение и за счет физических процессов термического расширения материалов биморфной части консоли, которая соединяет проводящий электрод с полупроводниковой подложкой, электростатического взаимодействия электрода с подложкой и накопления заряда в МДП-структуре при ее глубоком обеднении. Поскольку биморфная часть выполнена из материалов с разными коэффициентами термического расширения, воздействие теплового излучения на поверхность проводящего электрода приводит к изгибу консоли и, следовательно, к изменению величины изолирующего промежутка, отделяющего затвор от подложки. Это обеспечивает возможность тепловой модуляции величины подвижного заряда в приповерхностной области полупроводника или электрического тока через нее, а при изменении заряда в приповерхностной области полупроводника появляется возможность изменения изгиба консоли за счет электрического поля, противодействующего деформации, возникшей под действием теплового воздействия на биморфную часть. В адаптивном датчике высокое быстродействие можно обеспечить за счет того, что после считывания, тонкопленочная структура может быть прижата к подложке электростатической силой и в момент соприкосновения теряет заряд и часть тепловой энергии. Также дополнительным преимуществом является то, что адаптивный датчик можно тестировать, не подвергая его механическому воздействию.

Обработка первичного выходного сигнала позволяет привести электрод в исходное состояние (когда консоль не деформирована). При этом в выходной электрический сигнал преобразуется механическое напряжение, возникающее в нагретой биморфной консоли в состоянии, когда ее деформации препятствует «возвращающая сила», которая зависит от величины подвижного заряда в МДП структуре. При увеличении заряда МДП структуры биморфная консоль может быть прижата к подложке электростатической силой и в момент соприкосновения теряет заряд и часть тепловой энергии, после чего вернется в состояние, близкое к исходному. При помощи изменения заряда в МДП структуре можно управлять положением биморфной консоли и удерживать ее в оптимальном положении, что позволяет улучшить чувствительность датчика.

Было проведено моделирование, в процессе которого рассчитывалось напряжение обратной связи (ОС), Δv , как изменение напряжения на конденсаторе, которое необходимо, чтобы перевести систему в исходное состояние. Схема ОС поддерживает подвижный электрод в неизменном положении с высокой точностью, а измерение напряжения ОС позволяет регистрировать и измерять внешнее воздействие (по предварительной калибровке).

На Фиг.3 показаны примеры рассчитанных зависимостей сигнала ОС от нормированного силового фактора φ . Для измерения малых отклонений в некотором диапазоне внешних воздействий можно использовать линейную калибровку $\Delta v \approx k_{OC} \cdot \varphi$, где $k_{OC} = d(\Delta v)/d\varphi$ в точке $\varphi=0$. Зависимость определенного таким образом коэффициента обратной связи (КОС) k_{OC} от v в точке $\varphi=0$ представлена на Фиг.4; зависимость существенно нелинейна, и КОС заметно возрастает вблизи критического напряжения. Диапазон линейности расширяется с увеличением напряжения на конденсаторе v . После проведенного моделирования были разработаны чертежи, по которым были изготовлены образцы адаптивного датчика.

Технология изготовления НОЭМС термочувствительного ИК датчика условно

состоит из двух частей: формирование схем считывания и обработки сигнала, основанной на хорошо известной и отработанной n-МОП кремниевой технологии с применением стандартных высокотемпературных операций, и формирование подвижного термочувствительного элемента, который представляет собой диэлектрическую мембрану с электропроводящим слоем, закрепленную на биматериальных консолях. Наличие электропроводящего слоя обеспечивает возможность емкостного считывания сигнала при перемещении мембраны. Термочувствительность консолей обеспечивается различием коэффициентов термического расширения применяемых при формировании консолей материалов, а именно нитрида кремния и алюминия.

Схемотехнически чувствительный элемент представляет из себя емкостной делитель с опорным электродом из поликремния, расположенным над p-n переходом в подложке, и электродом подвижной мембраны.

Часть технологического маршрута формирования подвижного электрода начинается после завершения процессов изготовления p-n переходов и поликремниевой коммутации с нанесением защитного слоя нитрида кремния, а затем наносится жертвенный слой SiO_2 .

Защитный слой Si_3N_4 предохраняет травление нижних слоев оксида кремния во время удаления «жертвенного» слоя, тем самым предотвращает повреждение n-МОП элементов схем. Поскольку в качестве «жертвенного» слоя используется осажденный слой оксида кремния (ТЭОС), его удаление происходит во фторсодержащей среде (жидкость или газ), которая также травит слой защитного нитрида кремния. Поэтому толщина нитрида кремния выбирается таким образом, чтобы она была достаточна для защиты нижележащих слоев от травления, и в тоже время не происходило растрескивания на рельефе поверхности в силу больших механических напряжений. Для этих целей выбран нитрид кремния SiN_x , обогащенный кремнием, который имеет внутренние механические напряжения существенно ниже стехиометрического Si_3N_4 .

Ключевым моментом в любой МЭМС технологии является операция удаления «жертвенного» слоя, так как именно на этом этапе происходит высвобождение подвижного элемента конструкции. В результате после высвобождения не должно происходить прилипания или отламывания подвижных элементов. Наиболее распространенным способом удаления «жертвенных слоев» оксида кремния является жидкостное травление в растворах плавиковой кислоты. В случае наличия металлических элементов, как в нашем случае, удаление производят в растворе буферного травителя с глицерином. Данный процесс обладает превосходной селективностью к нитриду кремния, но малой к слоям алюминия. К тому же необходимость жидкостной отмычки от реагентов и следующая за этим обязательная сушка приводит к прилипанию подвижных элементов и их разрушению. Другой перспективный и передовой метод травления «жертвенных» слоев оксида кремния основан на газофазном травлении (ГФТ) при пониженном давлении в парах плавиковой кислоты, обладает практически 100% селективностью к слоям металлов, включая нитриды и силициды металлов. В силу того что данный вид травления относится к «сухим» процессам, полностью отпадает необходимость последующей отмычки и сушки пластин, что полностью исключает эффект прилипания и деформации подвижных элементов. Однако процесс ГФТ обладает низкой селективностью к слоям нитрида кремния, с соотношением скоростей травления только в 10 раз. Поэтому для нашего изделия с учетом его конструктивных и технологических особенностей разработана комбинированная технология удаления «жертвенного» слоя ТЭОС, которая вбирает в себя все преимущества ЖХТ и ГФТ.

По данной технологии реализованы сенсоры, чувствительные к физико-химическим или биохимическим воздействиям, в зависимости от вида воздействия, к которому чувствителен датчик, будет меняться конструкция мембраны. Например, для определенных физико-химических воздействий можно использовать специальное покрытие консоли, и ее деформация будет зависеть от количества определенного вещества, взаимодействующего с покрытием мембраны. Обработка информации от такого типа датчиков полностью идентична обработке информации от термочувствительного полевого прибора

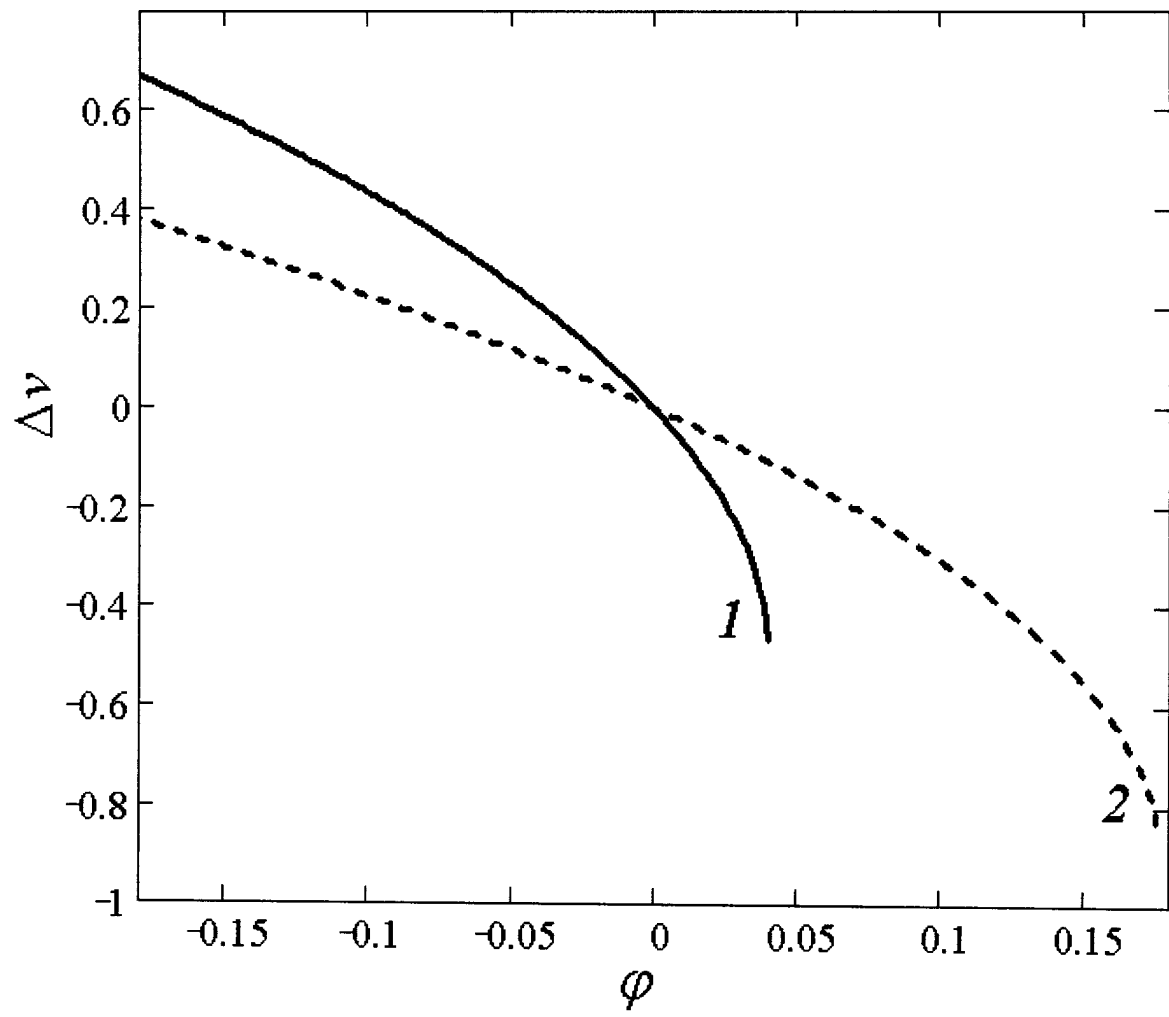
Адаптивные датчики данной конструкции могут быть применены в матричных приемниках с высокой термической чувствительностью и позволят уменьшить собственный «геометрический шум» матрицы за счет выравнивания разброса индивидуальных свойств различных ее ячеек, обеспечение однородности чувствительности ячеек. Также позволят вычитать неоднородный, но сравнительно медленно меняющийся фон в слабоконтрастных изображениях (повысить контраст, выделить контуры) и реализовать распознавания образов в слабоконтрастных изображениях «по содержанию сцены» (требует довольно сложных алгоритмов обработки). Создание приборов на базе адаптивных датчиков позволит разработать более дешевые приборы с характеристиками, сопоставимыми с охлаждаемыми термочувствительными приборами.

Источники информации

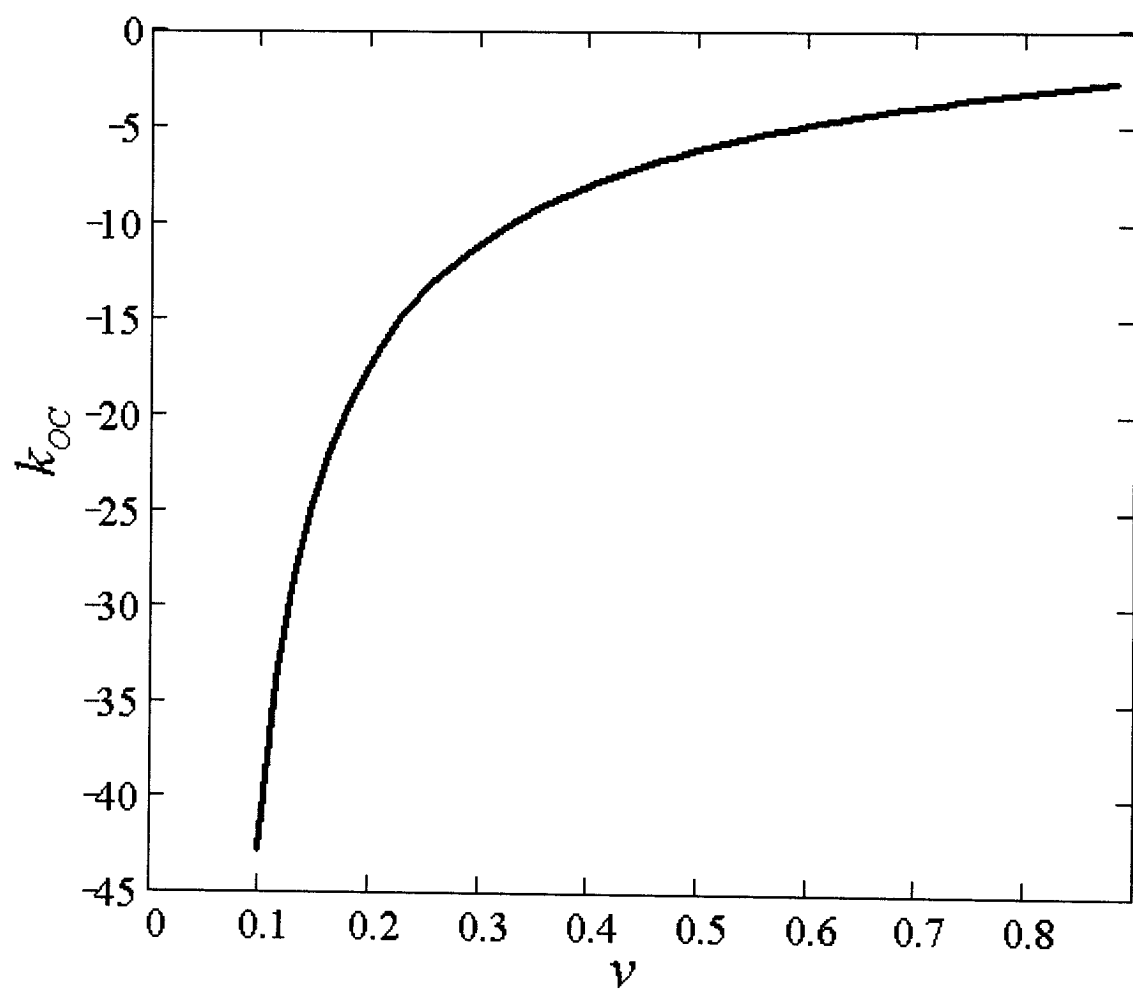
1. Патент РФ №2334237.
2. Патент РФ №2388999.
3. Патент РФ №2399064 - прототип.
4. «Мир электроники», т.30, Новейшие датчики, стр.86 (2007).

Формула изобретения

Адаптивный датчик на основе чувствительного полевого прибора, содержащий структуру «металл-диэлектрик-полупроводник» с полупроводниковой подложкой и подвижным проводящим электродом на консоли, включающей слои с различными коэффициентами термического расширения, отличающийся тем, что на подложке на расстоянии не более ширины области пространственного заряда от края электрода расположен затвор и р-п переход для ввода электрического сигнала.



ФИГ. 3



Фиг. 4