



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01N 27/414 (2017.08); B82Y 15/00 (2017.08)

(21)(22) Заявка: 2015118418, 11.10.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.10.2013

Дата регистрации:
06.04.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
16.10.2012 US 61/714,400

(43) Дата публикации заявки: 10.12.2016 Бюл. № 34

(45) Опубликовано: 06.04.2018 Бюл. № 10

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 18.05.2015

(86) Заявка РСТ:
IB 2013/059296 (11.10.2013)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2014/060916 (24.04.2014)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр. 3, ООО
"Юридическая фирма Городисский и Партнеры"

(72) Автор(ы):

КЛОТВИЙК Йохан Хендрик (NL),
МЕСХЕР Марлен (NL),
ДЕ ГРАФ Паскаль (NL),
МАРСЕЛИС Боут (NL)

(73) Патентообладатель(и):

КОНИНКЛЕЙКЕ ФИЛИПС Н.В. (NL)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US2012036919A1, 16.02.2012.
US2011147802A1, 23.06.2011. US2011021894A1,
27.01.2011. US2010039126A1, 18.02.2010.
US2008210987A1, 04.09.2008. US2006246497A1,
02.11.2006. WO2004003535A1, 08.01.2004.
KR100799577B1, 30.01.2008. RU2257567C1,
27.07.2005.

(54) ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА С МАТРИЦЕЙ СЕНСОРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ, СЕНСОРНОЕ УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к аналитической химии. Раскрыта сенсорная матрица интегральной схемы (100), содержащей полупроводниковую подложку (110); изолирующий слой (120) поверх упомянутой подложки; первый транзистор (140a) на упомянутом изолирующем слое, содержащий открытую функционализированную область (146a) канала между областью (142a) истока и областью стока (144) для восприятия аналита в среде; второй транзистор (140b) на упомянутом изолирующем слое, содержащий открытую область (146b) канала между областью (142b)

истока и областью (144) стока для восприятия потенциала упомянутой среды; и генератор (150) напряжения смещения, проводящим образом связанный с полупроводниковой подложкой для подачи на упомянутые транзисторы напряжения смещения, при этом упомянутый генератор напряжения смещения является реагирующим на упомянутый второй транзистор. Также раскрыты сенсорное устройство, содержащее такую ИС, и способ измерения аналита с использованием такой ИС. Изобретение обеспечивает формирование сенсорного устройства простой

конструкции. 3 н. и 17 з.п. ф-лы, 6 ил.

R U 2 6 5 0 0 8 7 C 2

R U 2 6 5 0 0 8 7 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

G01N 27/414 (2017.08); *B82Y 15/00* (2017.08)

(21)(22) Application: **2015118418, 11.10.2013**

(24) Effective date for property rights:
11.10.2013

Registration date:
06.04.2018

Priority:

(30) Convention priority:
16.10.2012 US 61/714,400

(43) Application published: **10.12.2016** Bull. № 34

(45) Date of publication: **06.04.2018** Bull. № 10

(85) Commencement of national phase: **18.05.2015**

(86) PCT application:
IB 2013/059296 (11.10.2013)

(87) PCT publication:
WO 2014/060916 (24.04.2014)

Mail address:
**129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, str. 3, OOO
"Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**KLOTVIJK Jokhan Khendrik (NL),
MESKHER Marlen (NL),
DE GRAF Paskal (NL),
MARSELIS Bout (NL)**

(73) Proprietor(s):

KONINKLEJKE FILIPS N.V. (NL)

(54) INTEGRATED CIRCUIT WITH SENSING TRANSISTOR ARRAY, SENSING APPARATUS AND MEASURING METHOD

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to analytical chemistry. Integrated circuit (100) sensor array, comprising semiconductor substrate (110); insulating layer (120) over said substrate; first transistor (140a) on said insulating layer, the first transistor comprising exposed functionalised channel region (146a) in between source region (142a) and drain region (144) for sensing an analyte in a medium; second transistor (140b) on said insulating layer, the second transistor comprising exposed channel region (146b) in between

source region (142b) and drain region (144) for sensing a potential of said medium; and voltage bias generator (150) conductively coupled to the semiconductor substrate for providing said transistors with a bias voltage, said voltage bias generator being responsive to the second transistor. Sensing apparatus comprising such an IC and an analyte measurement method using such an IC are also disclosed.

EFFECT: invention provides for the formation of a sensing apparatus with a simple design.

20 cl, 6 dwg

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к интегральной схеме (ИС), содержащей полупроводниковую подложку, изолирующий слой поверх упомянутой подложки и матрицу транзисторов на упомянутом изолирующем слое, включающую в себя первый транзистор с открытой функционализированной областью канала между областью истока и областью стока для восприятия аналита в среде.

Дополнительно, настоящее изобретение относится к сенсорному устройству, включающему в себя такую ИС.

Еще дополнительно, настоящее изобретение относится к способу измерения представляющего интерес аналита в среде с использованием такой ИС.

Предпосылки создания изобретения

Осуществляемая в настоящее время миниатюризация полупроводниковых технологий способствовала исключительной диверсификации функциональности, встраиваемой в полупроводниковые устройства, такие как интегральные схемы (ИС), что в некоторых случаях привело к поставке фактически комплексных решений на едином устройстве. Например, миниатюризация полупроводниковых устройств привела к интегрированию одного или более датчиков в единое полупроводниковое устройство, и внедрение таких устройств можно видеть в широком спектре различных технических областей, например в автомобильных применениях, в здравоохранении, при контроле выбросов промышленного газа и т.д.

Например, в последние несколько десятилетий в ИС были добавлены сенсорные транзисторы, например химические полевые транзисторы, такие как ионочувствительные полевые транзисторы (ISFETs), функционализированные ферментом полевые транзисторы, чувствительные к биомолекулам (ENFETs), и т.д. Эти полевые устройства работают на том принципе, что область канала устройств подвержена воздействию воспринимаемой среды, так что протекающий через данную область канала ток становится функцией представляющего интерес аналита. Для этой цели устройство может включать в себя функционализированный слой, отделенный от области канала подзатворным оксидом или функционализированным протяженным затвором, действующим как плавающий затвор, с потенциалом затвора, определяемым уровнем взаимодействия между представляющим интерес аналитом и функционализированным слоем.

Одной из главных проблем при обеспечении сенсорной функциональности на электронном устройстве, таком как ИС, является гарантия того, что полупроводниковое устройство может быть произведено экономически целесообразным образом. Это, например, особая проблема в случае, когда сенсорные элементы субмикронных размеров, например нанозлементы, такие как транзисторы с нанопроволоками, необходимо интегрировать в полупроводниковое устройство, поскольку вовсе не просто изготовить такие нанозлементы с использованием этапов обработки, совместимых с процессом изготовления всего полупроводникового устройства. Таким образом, интегрирование таких специальных элементов может привести к значительному увеличению сложности процесса изготовления полупроводникового устройства, заметно увеличивая, таким образом, стоимость таких устройств.

US 2006/0263255 (автор Хан (Han)) раскрывает сенсорную технологию обнаружения молекулярного водорода при помощи нанoeлектронных компонентов; углеродных нанотрубок. Хан раскрывает проводящий канал, который включает в себя множество нанотрубок, образующих сетку. Дополнительно, Хан раскрывает два соединенных с проводящими каналами проводящих элемента, которые представляют собой электрод

истока и электрод стока.

US 2008/0210987 (автор Бондавалли (Bondavalli)) раскрывает матрицу из полевых транзисторов для обнаружения аналитов, при этом каждый транзистор содержит затвор, полупроводниковую нанотрубку или проволоку, соединенную на одном конце с электродом истока, а на другом конце - с электродом стока. Транзисторы отличаются различным проводящим материалом электродов истока и стока.

US 2006/0246497 (автор Хуанг (Huang)) раскрывает нанотранзисторную систему для секвенирования ДНК, при этом нанотранзисторы содержат расположенные в матрице транзисторы с углеродными нанотрубками. Данные транзисторы с нанотрубками содержат электроды истока и стока и полупроводниковую нанопроволоку между упомянутыми электродами истока и стока.

US 2011/0147802 (автор Колли (Colli)) раскрывает датчик, содержащий первый транзистор и второй транзистор с общим входом затвора и узлом стока одного транзистора, соединенным с узлом истока второго транзистора для работы в качестве делителя напряжения.

US 2010/0325073 (автор Хаик (Haick)) раскрывает устройство для обнаружения летучих соединений, состоящее из полевых транзисторов, причем каждый из транзисторов содержит электроды истока, стока и затвора и канал между электродами истока и стока. Летучие соединения пропускают через канал, включающий в себя сенсорные элементы, которые поглощают пары этих летучих соединений. Поглощенные пары вызывают изменение в сопротивлении тонкопленочного транзистора.

Конкретная проблема в этом отношении заключается в том, что когда воспринимаемая среда является текучей средой, например жидкостью или газом, компоновка датчика обычно требует присутствия внешнего датчика опорного сигнала или электрода сравнения для компенсации дрейфа датчика, т.е. изменяющегося во времени отклика датчика на представляющий интерес аналит. Пример такой компоновки раскрыт в US 2004/0136866 A1, в которой электрод сравнения расположен в контакте с анализируемой текучей средой для контроля потенциала раствора относительно сенсорного элемента с полупроводниковой нанопроволокой. Однако введение датчика опорного сигнала или электрода сравнения может дополнительно усложнить конструкцию компоновки датчика, что, следовательно, может дополнительно увеличить стоимость электронного устройства. Кроме того, поверхность электрода сравнения может быть подвержена загрязнению, и в таком случае показания датчика могут стать недостоверными.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение направлено на обеспечение ИС в соответствии с первым абзацем, в которой исключается необходимость в применении отдельного электрода сравнения.

Дополнительно, настоящее изобретение направлено на обеспечение сенсорного устройства, включающего в себя такую ИС.

Еще дополнительно, настоящее изобретение направлено на обеспечение способа измерения представляющего интерес аналита с использованием такой ИС.

Изобретение, которое охарактеризовано в независимых пунктах формулы изобретения, по меньшей мере частично решает поставленные задачи. Зависимые пункты формулы изобретения обеспечивают преимущественные варианты осуществления.

В соответствии с аспектом настоящего изобретения представлена интегральная схема, охарактеризованная в данном изобретении. Первый транзистор может быть

воспринимающим аналит транзистором, а второй транзистор может быть воспринимающим среду транзистором.

Настоящее изобретение основано на понимании того, что измерение представляющего интерес аналита при помощи устройства с полевым эффектом можно осуществить в таком временном масштабе, что общее количество заряда в среде является практически постоянным в данном временном масштабе. Иначе говоря, среду можно рассматривать как закрытую или изолированную систему во временном масштабе измерения. Это, конечно, применимо к истинно закрытым системам, например, закрытым ячейкам с текучей средой, но равно применимо и к небольшим локальным измерениям текучих сред, которые можно рассматривать изолированно от их окружения во временных масштабах измерения. Следовательно, из-за сохранения заряда в среде в данном временном масштабе можно показать, что потенциал сравнения становится функцией потенциала нижнего затвора. Таким образом, при измерении фактического потенциала среды, т.е. потенциала сравнения, при помощи нефункционализированного устройства с полевым эффектом потенциал нижнего затвора можно отрегулировать в ответ на измеренный потенциал сравнения, так что в среде, например, в представляющей интерес текучей среде поддерживается желательный потенциал сравнения без необходимости обеспечивать отдельный электрод сравнения для задания потенциала среды.

Первый транзистор можно функционализировать для восприятия представляющего интерес аналита любым подходящим способом. Например, функционализированная область канала может быть функционализирована связывающим слоем или, вместо этого, может быть функционализирована путем химической модификации упомянутой области канала. Как вариант, область канала можно подвергнуть воздействию среды через протяженный затвор, т.е. затвор, который пространственно отделен от области канала и проводящим образом связан с областью канала металлизированной структурой. Как правило, между областью канала и функционализированным слоем для электрической изоляции области канала от плавающего затвора присутствует оксидный слой, такой как оксидная пленка. Оксидный слой может обладать функционализированной внешней поверхностью для обеспечения функционализированного слоя.

В варианте осуществления ИС содержит матрицу транзисторов, которая определена в изобретении. Это обладает преимуществом в том, что ряд различных представляющих интерес аналитов, например различных газов или различных биомолекул, таких как различные фрагменты ДНК, можно измерять одновременно. С этой целью каждый из упомянутых первых транзисторов можно функционализировать по отдельности, т.е. каждый первый транзистор можно функционализировать для обнаружения различного представляющего интерес аналита. Далее, данное изобретение можно использовать для снятия отпечатков пальцев. Как вариант, множество первых транзисторов можно выполнить с возможностью восприятия того же аналита, но с другой чувствительностью и/или уровнем обнаружения.

Настоящее изобретение особенно подходит для сенсорных ИС, в которых предусмотрены транзисторы, имеющие области каналов субмикронного размера, такие как области каналов, содержащие нанопроволоку, такую как кремниевая нанопроволока, или нанотрубку, такую как углеродная нанотрубка. Для таких ИС обеспечение отдельного электрода сравнения затруднительно и дорого из-за того факта, что электрод сравнения, как правило, должен предусматриваться отдельно и в другом форм-факторе. В результате устранение необходимости в отдельном электроде сравнения с помощью настоящего изобретения гарантирует, что можно рентабельно

изготовить, в первую очередь, содержащие такие субмикронные устройства ИС. В частности, ИС, содержащие кремниевые нанопроволоки, могут быть изготовлены с применением стандартно доступных этапов обработки КМОП и, следовательно, могут быть изготовлены особенно рентабельно.

В соответствии с другим аспектом настоящего изобретения представлено сенсорное устройство, охарактеризованное в данном изобретении. Такое сенсорное устройство приносит пользу от достоверного и точного определения присутствия и/или концентрации представляющего интерес аналита в образце в отделении для образца, например, текучей среды, протекающей через проточную ячейку, содержащую открытый первый транзистор, без необходимости в отдельном электроде сравнения.

Сенсорное устройство может дополнительно содержать процессор обработки сигналов, отдельно связанный с соответствующими сенсорными транзисторами, например, через столбиковый вывод на ИС, который проводящим образом связан с областями истока и стока по меньшей мере одного или более первых транзисторов.

В соответствии с другим аспектом настоящего изобретения представлен способ измерения представляющего интерес аналита в среде, охарактеризованный в изобретении.

Способ по настоящему изобретению облегчает точное измерение представляющего интерес аналита в текучей среде, такой как газ или жидкость, без необходимости в электроде сравнения для контроля потенциала текучей среды, как уже более подробно объяснено выше.

В варианте осуществления способ дополнительно содержит измерение тока сток-исток, протекающего через первый транзистор после упомянутого этапа регулирования напряжения смещения; и выведение присутствия упомянутого аналита из измеренного упомянутого тока сток-исток. В частности, этап измерения можно проводить во временном масштабе так, чтобы потенциал упомянутой среды был постоянным во время упомянутого измерения, поскольку при этих условиях потенциал среды представляет собой непосредственную функцию потенциала нижнего затвора, так что этим потенциалом можно управлять при помощи потенциала нижнего затвора без необходимости в отдельном электроде сравнения.

Краткое описание вариантов осуществления

Варианты осуществления изобретения описаны более подробно в качестве неограничивающих примеров со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых:

Фиг. 1 схематически изображает один аспект ИС в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 2 схематически изображает другой аспект ИС в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 3а изображает контурную диаграмму потенциала, генерируемого в растворе электродом сравнения (верхнее окно) и по принципу управления напряжением смещения нижнего затвора по настоящему изобретению (нижнее окно);

Фиг. 3b изображает контурную диаграмму потенциала, генерируемого в растворе электродом сравнения (верхнее окно) и по принципу управления напряжением смещения нижнего затвора по настоящему изобретению (нижнее окно);

Фиг. 4 изображает экспериментально полученный ответ (отклик) от полевого транзистора с Si-ой нанопроволокой, подвергнутого воздействию различных растворов NaCl при смещении с использованием волновой формы напряжения смещения нижнего затвора в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 5а-е схематически изображен вариант осуществления способа изготовления

ИС по настоящему изобретению; и

Фиг. 6 схематически изображает дополнительный аспект ИС в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения.

Подробное описание чертежей

5 Следует понимать, что фигуры являются лишь схематичными и представлены не в масштабе. Следует также понимать, что одинаковые ссылочные позиции использованы на всех фигурах для обозначения одинаковых или подобных деталей.

Фиг. 1 схематически изображает ИС 100, содержащую кремниевую подложку 110, структурированный углубленный оксидный слой 120 и множество полевых транзисторов 10 140, обладающих наноструктурой, такой как кремниевая нанопроволока или углеродная нанотрубка, в качестве области канала. Множество полевых транзисторов 140 могут быть расположены в виде матрицы. Множество полевых транзисторов 140, как правило, содержит по меньшей мере один первый транзистор 140а с областью 146а канала в виде кремниевой нанопроволоки, простирающейся между областью 142а истока и общей 15 областью 144 стока, хотя следует понимать, что полевые транзисторы ИС 100 могут обладать любой подходящей структурой области канала. В частности, одинаково целесообразны другие структуры с областью канала субмикронного размера, такие как нанопроволоки из различных материалов или различные наноструктуры, такие как одностенные или многостенные нанотрубки, например углеродные нанотрубки.

20 В контексте настоящего изобретения нанопроволока представляет собой проводящую или полупроводниковую структуру, имеющую поперечное сечение субмикронных размеров и длину, которая может составлять в диапазоне от нескольких сотен нанометров до нескольких микронов. Нанопроволока может быть сплошной или полый структурой и может иметь кругообразное или некругообразное, например, квадратное 25 или прямоугольное сечение. Термин «нанотрубка» в настоящей заявке подразумевается включающим в себя одностенные или многостенные нанотрубки. В предпочтительном варианте осуществления нанопроволока представляет собой кремниевую нанопроволоку, которая предпочтительно имеет окисленную внешнюю поверхность, как будет более подробно объяснено далее.

30 Открытая поверхность области 146а канала первого транзистора 140а, как правило, функционализирована функциональным или связующим слоем 148, который может быть осажден поверх области 146а канала при помощи любого подходящего метода осаждения, например, покрытием методом центрифугирования, или может быть сформирован путем химической модификации области 146а канала или открытой 35 поверхности подзатворного оксида поверх области 146а канала, например, формированием водородных групп или групп (3-аминопропил)триэтоксисилана (APTES) с помощью силанирования открытой поверхности подзатворного оксида.

Функционализация таких воспринимающих поверхностей сама по себе хорошо известна специалистам, например, из области техники химических полевых транзисторов, а 40 природа функционализации области 146а канала несущественна для настоящего изобретения, так что настоящая заявка не будет раскрывать этого в каких-либо дополнительных подробностях только из соображений краткости изложения.

ИС 100 дополнительно содержит предпочтительно нефункционализированный полевой транзистор 140b, который предназначен для измерения потенциала среды или 45 текучей среды, воздействию которой подвергаются сенсорные полевые транзисторы 140а, 140b ИС 100 во время работы ИС 100. Второй транзистор 140b имеет область 146b канала, например область канала в виде кремниевой нанопроволоки или любую другую подходящую структуру области канала, как объяснено ранее, которая

простирается между областью 142b истока и общей областью 144 стока. Первая область 146a канала и вторая область 146b канала, таким образом, совместно используют область стока для подачи на нанопроволочные области канала общего тока возбуждения, причем отдельные области 142a и 142b истока делают возможным измерение тока, наведенного через отдельные нанопроволочные области 146a и 146b канала. Следует понимать, что эта компоновка показана только в качестве неограничивающего примера; аналогичным образом осуществимо для сенсорных транзисторов 140 обеспечить совместное использование области истока и наличие отдельных областей стока или же наличие отдельных областей истока и стока, хотя последнее усложняет технологичность ИС 100 вследствие того факта, что следует обеспечить большое число контактов с этими отдельными областями.

ИС 100 дополнительно содержит генератор 150 напряжения смещения, который проводящим образом связан с полупроводниковой подложкой 110, например, через контакт 102 нижнего затвора, который можно реализовать при помощи любого подходящего проводящего материала, например металла, такого как Au, Al, Ti и/или Cu. Генератор 150 напряжения смещения заставляет подложку 110 действовать в качестве общего затвора для сенсорных транзисторов 140a, 140b ИС 100 с действующим в качестве нижнего подзатворного оксида оксидным слоем 120 между подложкой 110 и областями 146a, 146b канала. Генератор 150 напряжения смещения проводящим образом связан со вторым транзистором 140b и является реагирующим (откликающимся) на потенциал, воспринимаемый вторым транзистором 140b. Конкретно, генератор 150 напряжения смещения предназначен для поддержания потенциала среды на заданном значении путем регулирования напряжения смещения, подаваемого на подложку 110.

Это можно лучше понять со ссылкой на фиг. 2, которая схематически показывает поперечное сечение ИС 100 в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Как можно видеть на фиг. 2, подложка 110 емкостным образом связана с нанопроволочной областью 146a канала первого транзистора 140a, как символически показано конденсатором 200 (фактически подложка 110 емкостным образом связана со всеми сенсорными транзисторами 140a, 140b на нижнем подзатворном оксиде 120). Кроме того, нанопроволочная область 146a канала емкостным образом связана со средой, обозначенной изогнутой стрелкой, через верхний затворный оксид (не показан), так что компоновка на фиг. 2 приравнивается к многоуровневой компоновке конденсатора.

Таким образом, при управлении напряжением смещения, подаваемым генератором 150 напряжения смещения, потенциал среды можно регулировать при условии, что величина заряда в среде остается постоянной во время периода восприятия ИС 100 из-за того факта, что переменный потенциал напряжения смещения подложки 110 емкостным образом связан со средой. Это всегда так для истинно закрытых систем, но является в то же время случаем для открытых систем, где небольшой объем от общего объема системы можно считать изолированным от остального объема во временном масштабе измерения. Таким образом, ток, протекающий через нанопроволочную область 146a канала, простирающуюся между областью 144 стока и областью 142 истока, обусловленный разностью потенциалов сток-исток, наведенной источником 160 тока, может быть непосредственно взаимосвязан с присутствием, например, концентрацией, представляющего интерес аналита в среде, поскольку потенциал среды четко определен.

В варианте осуществления генератор 150 напряжения смещения может реализовывать контур обратной связи, в котором напряжение смещения регулируется в ответ на

потенциал среды, измеряемый вторым транзистором 140b, например:

ПОВТОР

ЕСЛИ ($V_{\text{среды}} > V_{\text{заданное}}$) ТОГДА $V_{\text{смещения}} := V_{\text{смещения}} - x$

ЕСЛИ ($V_{\text{среды}} < V_{\text{заданное}}$) ТОГДА $V_{\text{смещения}} := V_{\text{смещения}} + x$

ДО ТЕХ ПОР, ПОКА НЕ ВЫПОЛНЕНО $V_{\text{среды}} = V_{\text{заданное}}$

где $V_{\text{среды}}$ - это потенциал среды, $V_{\text{заданное}}$ - это целевой потенциал среды, $V_{\text{смещения}}$ - это напряжение смещения, подаваемое генератором 150 напряжения смещения на подложку 110, а x - это положительное число, определяющее величину, на которую регулируется $V_{\text{смещения}}$. Величина x может быть фиксированной, т.е. заранее заданной величиной, или быть величиной, определяемой динамически на основе разности между $V_{\text{среды}}$ и $V_{\text{заданное}}$. Как будет очевидно из упомянутого алгоритма, напряжение смещения, сгенерированное генератором 150 напряжения смещения, регулируют поэтапно, т.е. снижают, если $V_{\text{среды}}$ превышает $V_{\text{заданное}}$, и повышают, если $V_{\text{заданное}}$ превышает $V_{\text{среды}}$, до тех пор, пока $V_{\text{заданное}}$ не становится равным $V_{\text{среды}}$. Можно применять любую подходящую частоту шага регулирования при условии, что частота шага достаточно высока для обеспечения того, чтобы измерение аналита могло быть завершено достаточно быстро, чтобы все еще гарантировать действие допущения, что среда содержит постоянный заряд, что особенно значимо в случае открытых систем с текучей средой, для которых измеряемый объем рассматривается как закрытая подсистема во временном масштабе измерения, как объяснено выше. Как правило, указанное предположение верно для любого измерения, выполняемого в миллисекундном или более коротком диапазоне.

Следует понимать, что указанный алгоритм обратной связи приведен только в качестве неограничивающего примера и что можно использовать любой подходящий механизм обратной связи для регулирования напряжения смещения, поданного на подложку 110. Также, хотя генератор 150 напряжения смещения может включать в себя цепь управления для осуществления вышеупомянутого механизма обратной связи, следует понимать, что в равной степени осуществимо, чтобы ИС 100 содержала отдельную цепь управления для приема показаний потенциала среды от второго транзистора 160 и обеспечения подачи соответствующего опорного сигнала на генератор 150 напряжения смещения. Например, такая цепь управления может составлять часть процессора обработки сигналов ИС 100, который, например, может быть выполнен с дополнительной возможностью обработки первых сигналов от упомянутых одного и более первых транзисторов 140a. Другие подходящие компоновки будут сразу же очевидны для специалиста.

Здесь отметим, что ИС 100 может содержать множество первых транзисторов 140a, которые, например, могут быть организованы в матрицу, дополнительно содержащую один или более из вторых транзисторов 140b. В варианте осуществления по меньшей мере несколько из первых транзисторов 140a содержат различные функционализированные слои 148, так что можно обнаруживать различные представляющие интерес аналиты в рамках единственного измерения при помощи ИС 100.

Дополнительно отмечено, что ток возбуждения, подаваемый на совместно используемый сток 144 матрицы полевых транзисторов 140, может иметь любую подходящую форму, например, постоянный ток или переменный ток. В случае применения переменного тока импеданс нанопроволок будет иметь комплексную

форму, т.е. будет содержать действительную и мнимую часть. Это дополнительно повышает селективность сенсорных полевых транзисторов 140 и дополнительно облегчает обнаруживаемость материалов или частиц конкретного размера вследствие того факта, что импеданс демонстрирует большое изменение, когда переменный ток

5 попадает в резонансную или собственную частоту поступательных или вращательных режимов колебаний частиц.

ИС 100 может дополнительно содержать процессор обработки сигналов (не показан) для обработки сигналов, вырабатываемых полевыми транзисторами 140a. Для этой цели такой процессор обработки сигналов может быть связан с отдельными областями

10 142a, 142b истока только в качестве неограничивающего примера, поскольку специалист легко поймет, что можно применить любую подходящую проводящую связь между первыми (для анализа) и вторыми транзисторами 140a, 140b и процессором обработки сигналов.

Процессор обработки сигналов может быть выполнен с возможностью выведения

15 измерения анализа из сигнала первого транзистора, полученного во время упомянутого периода получения сигнала, т.е. периода, в котором один или более первых транзисторов 140a и вторых транзисторов 140b работают под действием генератора 150 напряжения смещения. Поскольку интерпретация полученных сигналов сама по себе хорошо известна, это не будет объясняться в дополнительных подробностях только из

20 соображений краткости изложения. В альтернативном варианте осуществления в ИС 100 может отсутствовать процессор обработки сигналов, в этом случае, например, области 142a, 142b истока могут быть проводящим образом связаны с доступными

извне столбиковыми выводами для содействия внемикросхемной оценке воспринимаемых сигналов сенсорных транзисторов 140a, 140b.

25 На фиг. 3a и 3b показаны электрические потенциалы поверхности 10-1 М раствора NaCl (фиг. 3a) и 10-6 М раствора NaCl (фиг. 3b), генерируемые электродом сравнения (верхнее окно) и в рамках подхода с обратным смещением нижнего затвора по настоящему изобретению (нижнее окно). Это ясно показывает, что совершенно

30 осуществимо получить желаемый потенциал в представляющей интерес среде (здесь - различных водных растворах NaCl) в методе обратного смещения нижнего затвора по настоящему изобретению.

На фиг. 4 изображены результаты измерения, полученные, когда подвергается воздействию кремниевая нанопроволока полевого транзистора 140a, сформированного на подложке кремний-на-диэлектрике (КНД) и функционализированного в качестве

35 датчика pH путем покрытия кремниевой нанопроволоки 146, например, пленкой Al_2O_3 , пленкой SiO_2 , необязательно функционализированными APTES, и т.д. Датчик подвергали воздействию ряда водных образцов с различными pH, где каждый содержит растворенные ионы Na^+ и Cl^- . Для каждого измерения pH генератор 150 напряжения смещения реагировал (откликался) на второй транзистор 140b для обеспечения того,

40 чтобы потенциал раствора NaCl поддерживался при желательном потенциале. В каждом случае pH можно было точно получить из отклика датчика, что явно демонстрирует, что при регулировании напряжения смещения, поданного на подложку 110 в ответ на воспринятый потенциал среды, т.е. различные растворы NaCl, можно точно определить

45 Примерный способ изготовления ИС 100 схематически изображен на фиг. 5. На этапе (a) обеспечивают подложку 110, которая несет электроизолирующий слой 120 и слой 130 полупроводникового материала. Предпочтительно такая компоновка предусмотрена в виде подложки кремний-на-диэлектрике, в которой слои 110 и 130

представляют собой слои кремния, разделенные углубленным слоем 120 оксида, но следует понимать, что пакет слоев, показанный на этапе (а), может быть обеспечен любым подходящим образом с использованием любых подходящих материалов.

Проводящий контакт 102 (не показан), например, металлический контакт, также может присутствовать или быть сформированным в любой подходящей точке в данном способе для снабжения подложки 110 нижнезатворным контактом, так что подложка 110 может использоваться в качестве нижнего затвора.

На следующем этапе (b) на кремниевом слое 130 формируют структурированную маску 510, которая определяет те области, в которые следует внедрять примеси, после чего такие примеси внедряют (имплантируют) в кремниевый слой 130, такие как примеси 520, например, примеси N--типа, в той области, в которой следует сформировать нанопроволочные области 146 каналов, и примеси 530, например, примеси N++-типа, в областях 142 и 144 истока и стока. Поскольку формирование такой маски и такие этапы внедрения представляют собой для специалиста стандартную практику, они не будут объясняться в каких-либо дополнительных подробностях только для краткости изложения.

После этого маску 510 удаляют с кремниевого слоя 130, который затем структурируют с формированием нанопроволок 146 и областей 142 и 144 истока и стока, как показано на этапе (с). Отметим, что сечение ИС 100, показанное на этапе (с), повернуто на 90° относительно сечений, показанных на этапе (а) и (b), так что сформированные области 142 и 144 истока и стока не показаны на сечении на этапе (с). Структурирование кремниевого слоя 130 можно осуществить любым подходящим образом. В частности, для формирования нанопроволок 146 предпочтительно использование электронно-лучевой литографии, которую можно комбинировать с сухим травлением для формирования областей 142 истока и области(ей) 144 стока.

Этап (d) представляет собой необязательный этап, который, однако, предпочтителен для обеспечения того, чтобы среда, воздействию которой подвергаются нанопроволоки 146, действовала как плавающий затвор на областях каналов полевых транзисторов 140, включающих в себя нанопроволочные области 146 каналов. На этапе (d) нанопроволоки 146 снабжают слоем 540 оксида. В случае кремниевых нанопроволок 146 этой цели предпочтительно достигают путем частичного окисления кремния, например, подвергая кремниевые проволоки 146 воздействию богатой оксидами окружающей среды при повышенных температурах, например, 300°C или выше в течение определенного периода времени. Такой слой 540 оксида, таким образом, действует как верхний затворный оксид, когда нанопроволоки 146 приводят в контакт со средой.

Далее, выбранные нанопроволоки 146 можно функционализировать при помощи функционализирующего или связывающего слоя 148, как показано на этапе (е). Один или более участков связывающего слоя 148 можно сформировать любым подходящим способом, например, путем осаждения связывающего слоя поверх всех нанопроволок 146 и выборочного удаления материала связывающего слоя с тех нанопроволок 146, которые не должны использоваться в качестве воспринимающих нанопроволок для аналита, обладающего сродством к связывающему слою 148, или, как вариант, путем выборочного осаждения связывающего слоя 148 поверх только тех нанопроволок 146, которые должны быть восприимчивы (чувствительны) к представляющему интерес аналиту, обладающему сродством к связывающему слою 148. Различные нанопроволоки 146 можно функционализировать различными связывающими слоями 148, как будет очевидно специалисту. Поскольку многие из материалов такого связывающего слоя

хорошо известны сами по себе, достаточно сказать, что можно использовать любой подходящий связывающий материал.

Вследствие того факта, что промежуток между нанопроволоками 146 во много раз больше, чем сечение или толщина единственной нанопроволоки 146, такое выборочное осажждение можно осуществить с помощью методов, которые обычным образом доступны специалисту. На фиг. 6 схематически изображен вид сверху одиночного полевого транзистора 140, включающего в себя контакт 642 истока, контакт 644 стока, металл 652 в проводящем контакте с упомянутым контактом 642 истока (металл, контактирующий с контактом стока, для ясности не показан) и нанопроволоку 146. Это ясно показывает, что имеется достаточно места для выборочного осажждения связывающего слоя 148 поверх нанопроволоки 146.

ИС 100 может быть интегрирована (встроена) в любое подходящее сенсорное устройство. Такое сенсорное устройство, как правило, содержит отделение для образца, предназначенное для приема неподвижной пробы текучего образца, причем в этом случае отделение для образца может содержать проточный канал, который может обладать любыми подходящими размерами. Как правило, ИС 100 расположена так, чтобы сенсорные транзисторы 140a и 140b были открыты для воздействия в отделении для образца. Такое сенсорное устройство может, например, быть микрожидкостным сенсорным устройством или пробирочным сенсорным устройством для использования в целях здравоохранения, сенсорным устройством отработанных газов для использования в бытовом, промышленном и автомобильном применении и т.д. Представляющие интерес аналиты могут включать в себя газы, такие как O_2 , CO, CO_2 , NO_x и др., микроорганизмы, такие как вирусы и бактерии, тяжелые металлы, пестициды, лекарства, глюкозу, гематокритное число и другие соответствующие вещества организма, которые могут быть обнаружены в физиологических жидкостях, таких как слюна, моча или кровь. Специалисту будут очевидны многие другие подходящие области применения и представляющие интерес аналиты для такого сенсорного устройства.

Следует отметить, что вышеупомянутые варианты осуществления иллюстрируют, а не ограничивают изобретение, и специалисты смогут разработать много альтернативных вариантов осуществления без отклонения от объема прилагаемой формулы изобретения. В формуле изобретения любые ссылочные позиции, помещенные в круглые скобки, не следует истолковывать как ограничивающие пункт формулы изобретения. Слово «содержащий» не исключает присутствия элементов или этапов, отличных от перечисленных в пункте формулы изобретения. Употребление элемента в формах единственного числа не исключает присутствия множества таких элементов. Изобретение может быть реализовано посредством аппаратного обеспечения, содержащего несколько различных элементов. В пункте формулы изобретения на устройство, перечисляющем несколько средств, некоторые из этих средств могут быть воплощены одним и тем же элементом аппаратного обеспечения. Само по себе то, что определенные меры приведены во взаимно различных зависимых пунктах формулы изобретения, не указывает на то, что сочетание этих мер не может быть использовано с выгодой.

(57) Формула изобретения

1. Интегральная схема (100), содержащая:
 - полупроводниковую подложку (110);
 - изолирующий слой (120) поверх упомянутой подложки;
 - первый транзистор (140a) на упомянутом изолирующем слое, содержащий открытую

функционализированную область (146a) канала между областью (142a) истока и областью (144) стока, предназначенную для восприятия аналита в среде;

второй транзистор (140b) на упомянутом изолирующем слое, содержащий открытую область (146b) канала между областью (142b) истока и упомянутой областью (144) стока, предназначенную для восприятия потенциала упомянутой среды, причем упомянутая область стока является общей для упомянутого первого транзистора и упомянутого второго транзистора; и

генератор (150) напряжения смещения, проводящим образом связанный с полупроводниковой подложкой, для подачи напряжения смещения на упомянутые первый и второй транзисторы, при этом упомянутый генератор напряжения смещения является реагирующим на упомянутый второй транзистор.

2. Интегральная схема (100) по п. 1, в которой упомянутая функционализированная область (146a) канала функционализирована связывающим слоем для связывания представляющего интерес аналита (148).

3. Интегральная схема (100) по п. 1, в которой упомянутая функционализированная область (146a) канала функционализирована путем химической модификации упомянутой области канала.

4. Интегральная схема (100) по п. 1, дополнительно содержащая матрицу транзисторов, содержащую множество упомянутых первых транзисторов (140a) и по меньшей мере один из упомянутых вторых транзисторов (140b).

5. Интегральная схема (100) по п. 2, дополнительно содержащая матрицу транзисторов, содержащую множество упомянутых первых транзисторов (140a) и по меньшей мере один из упомянутых вторых транзисторов (140b).

6. Интегральная схема (100) по п. 4, в которой каждый из упомянутых первых транзисторов (140a) функционализирован отдельно.

7. Интегральная схема (100) по п. 5, в которой каждый из упомянутых первых транзисторов (140a) функционализирован отдельно.

8. Интегральная схема (100) по любому из пп. 1-7, в которой каждая область (146a, 146b) канала содержит нанопроволоку или нанотрубку.

9. Интегральная схема (100) по п. 8, в которой нанопроволока содержит или состоит из кремниевой нанопроволоки.

10. Интегральная схема (100) по п. 8, в которой нанотрубка содержит или состоит из углеродной нанотрубки.

11. Интегральная схема (100) по любому из пп. 1-7, в которой каждая область (146a, 146b) канала покрыта оксидной пленкой (540).

12. Интегральная схема (100) по п. 8, в которой каждая область (146a, 146b) канала покрыта оксидной пленкой (540).

13. Интегральная схема (100) по п. 9, в которой каждая область (146a, 146b) канала покрыта оксидной пленкой (540).

14. Интегральная схема (100) по п. 10, в которой каждая область (146a, 146b) канала покрыта оксидной пленкой (540).

15. Сенсорное устройство, содержащее отделение для образца и интегральную схему (100) по любому из пп. 1-14, при этом первый транзистор (140a) и второй транзистор (140b) открыты для воздействия в упомянутом отделении для образца.

16. Сенсорное устройство по п. 15, в котором упомянутое отделение для образца содержит проточный канал.

17. Сенсорное устройство по п. 15 или 16, дополнительно содержащее процессор обработки сигналов, отдельно связанный с соответствующими первым и вторым

транзисторами (140a, 140b).

18. Способ измерения представляющего интерес аналита в среде, содержащий:
обеспечение интегральной схемы (100) по любому из пп. 1-14;

5 подвергание упомянутого первого транзистора (140a) и упомянутого второго транзистора (140b) воздействию среды, потенциально включающей в себя упомянутый аналит;

восприятие потенциала среды с использованием второго транзистора (140b); и
регулирование напряжения смещения, подаваемого на подложку, в ответ на
упомянутый воспринятый потенциал упомянутой среды.

10 19. Способ по п. 18, дополнительно содержащий:

измерение тока сток-исток, протекающего через первый транзистор (140a), вслед за
упомянутым этапом регулирования напряжения смещения; и

выведение присутствия упомянутого аналита из упомянутого измеренного тока
сток-исток.

15 20. Способ по п. 19, в котором упомянутый этап измерения осуществляют в течение периода времени, когда потенциал упомянутой среды является постоянным.

20

25

30

35

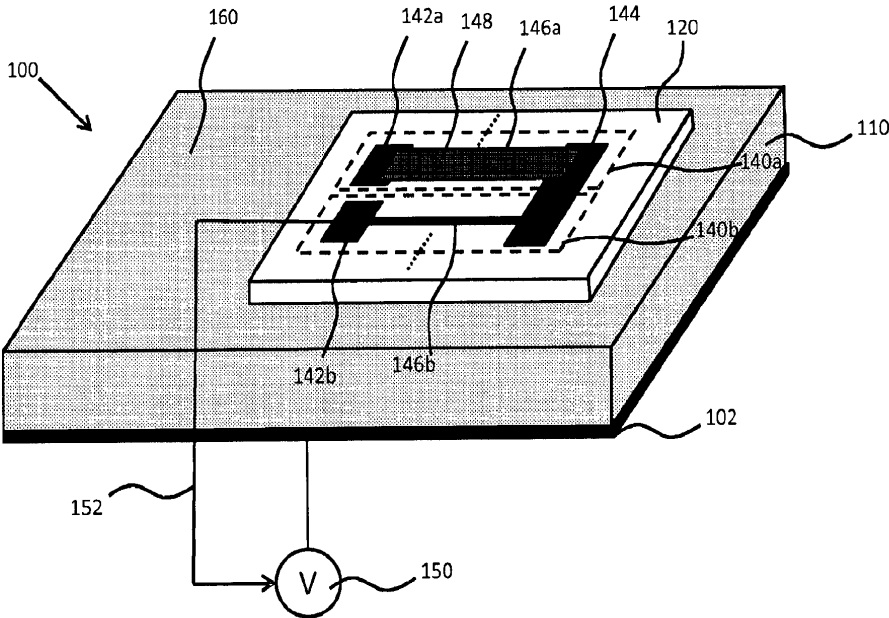
40

45

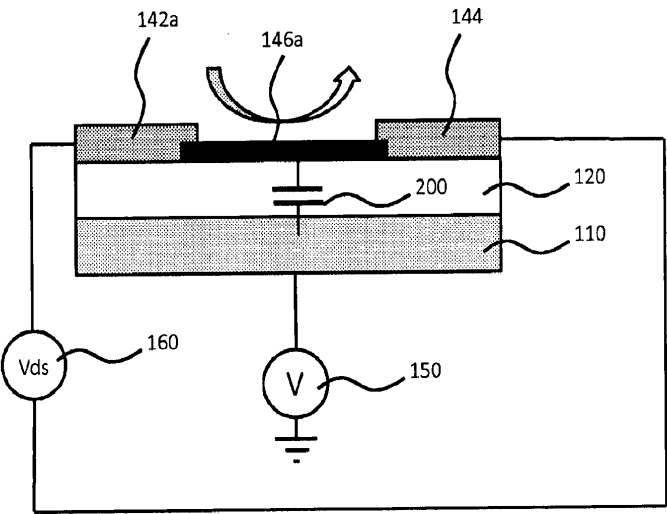
1

522800

1/6

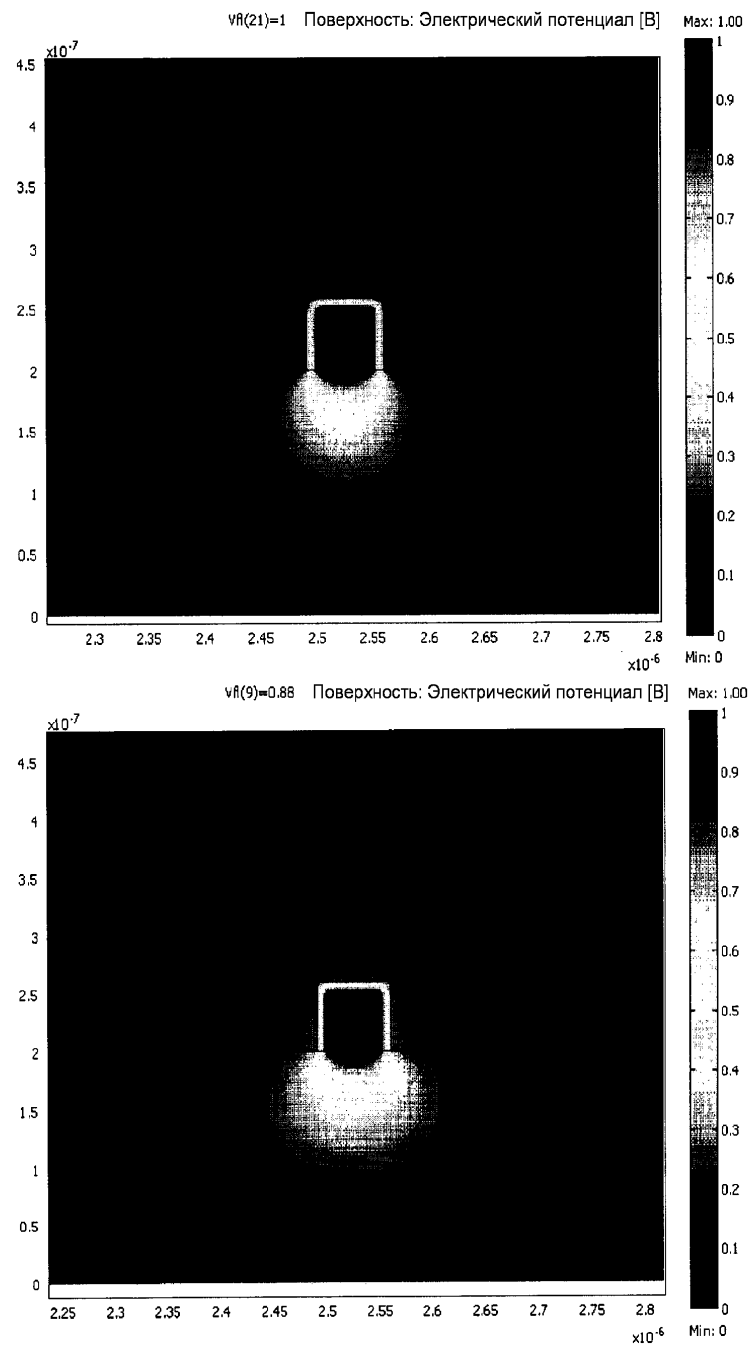


ФИГ.1

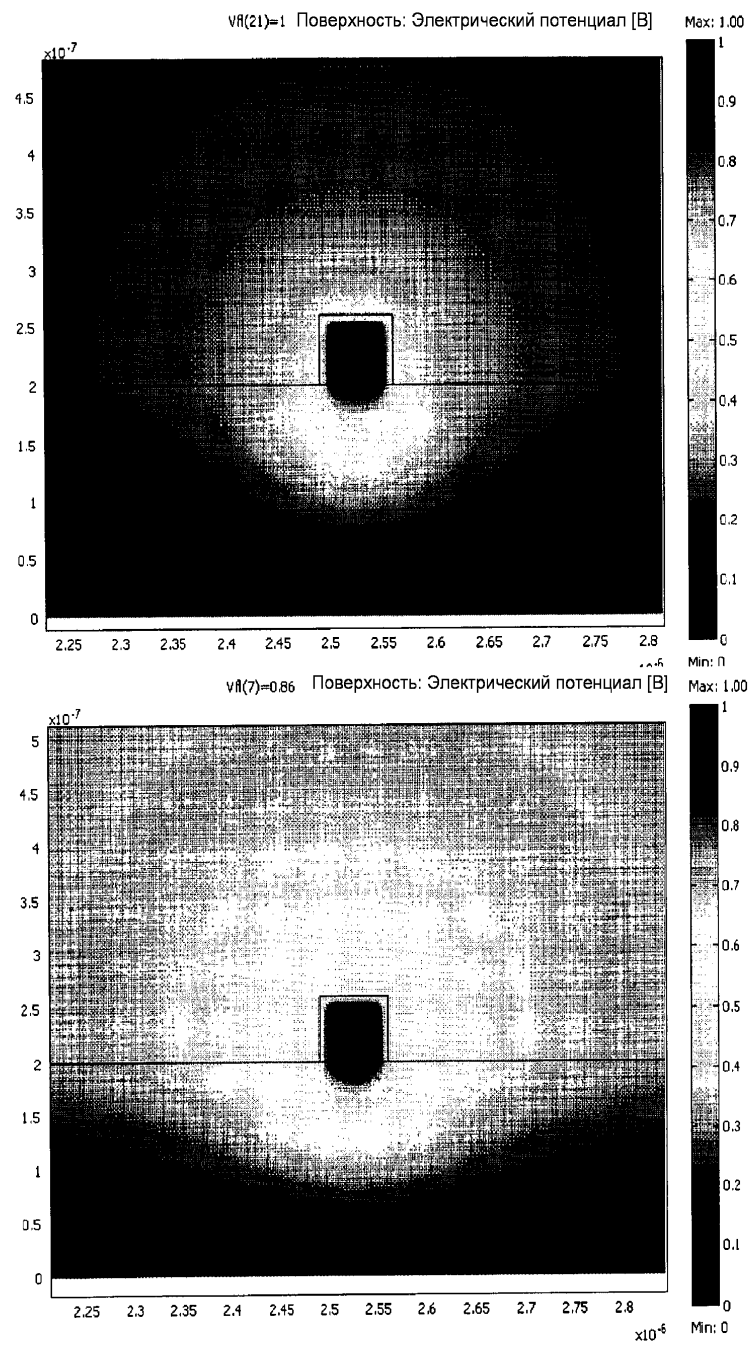


ФИГ.2

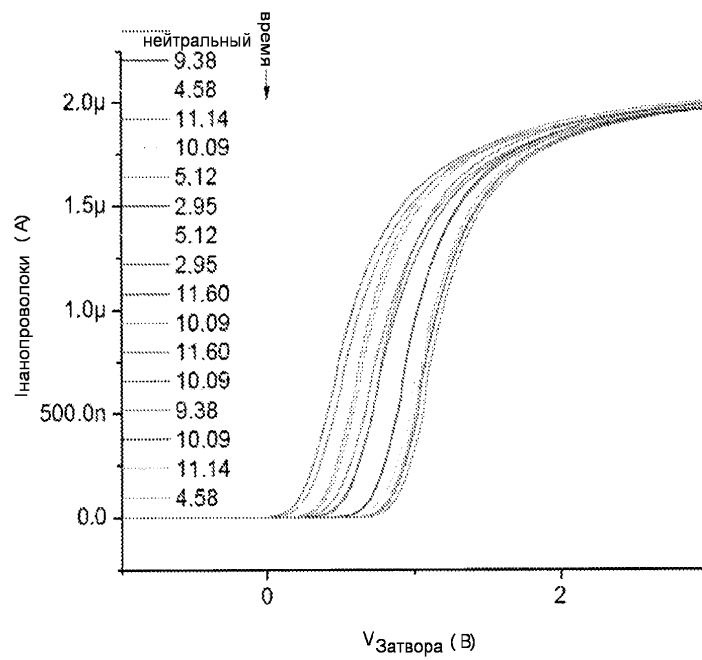
2



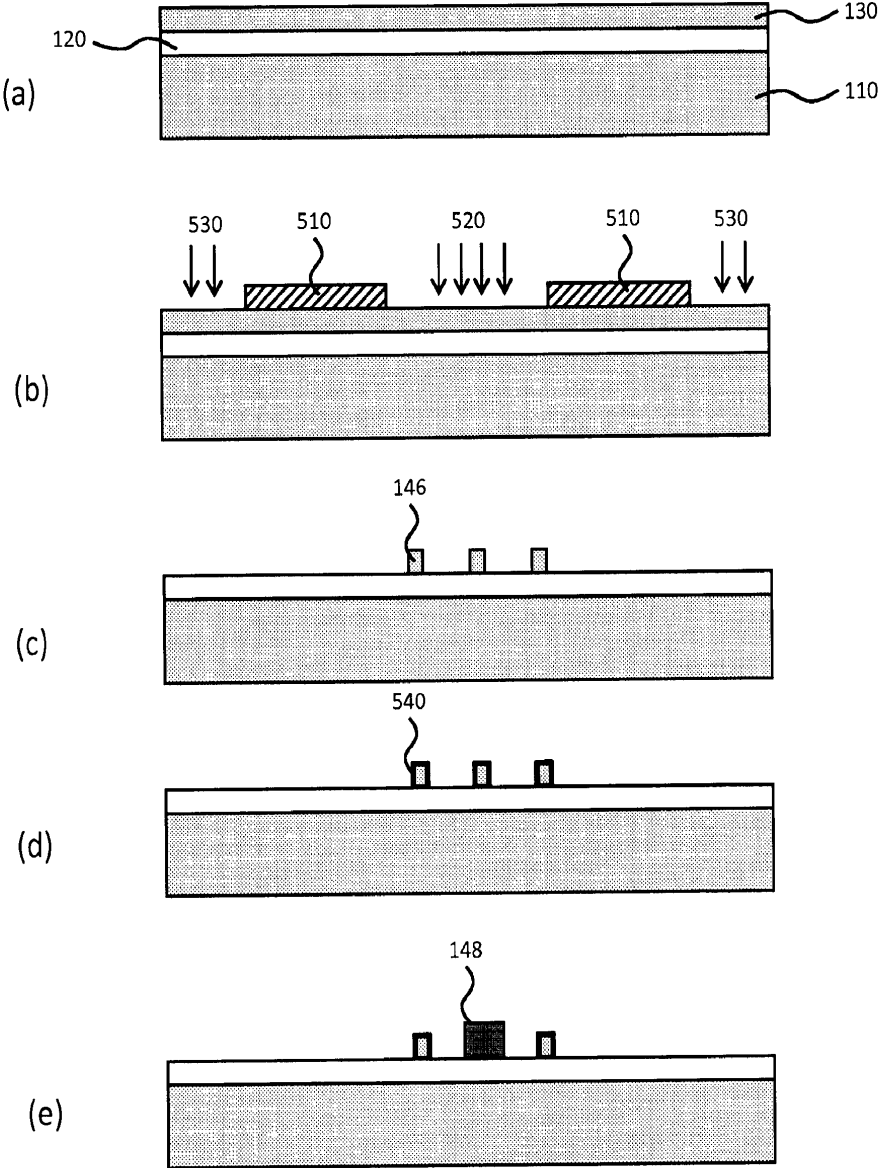
ФИГ.3а



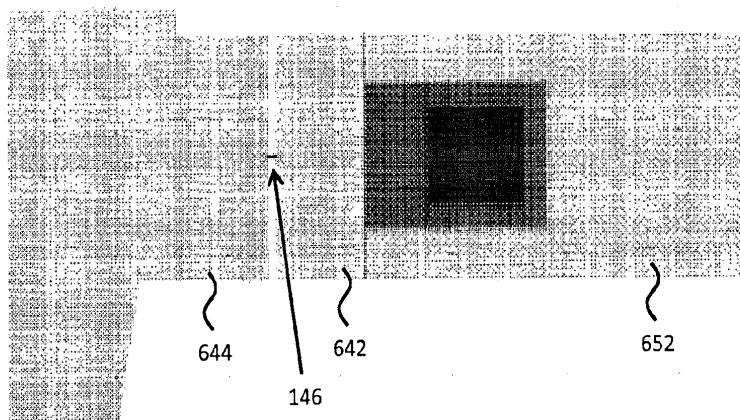
ФИГ.3b



ФИГ.4



ФИГ.5



ФИГ.6