



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H01L 27/108 (2021.08); B82B 3/00 (2021.08); B82Y 40/00 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021119944, 07.07.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.07.2021Дата регистрации:
18.03.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.07.2021

(45) Опубликовано: 18.03.2022 Бюл. № 8

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, кор. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Шахнова
(каф. ИУ-4)

(72) Автор(ы):

Шахнов Вадим Анатольевич (RU),
Жалнин Владимир Петрович (RU),
Власов Андрей Игоревич (RU),
Муравьев Константин Александрович (RU),
Расюк Александр Александрович (RU),
Косьянов Олег Вячеславич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 189045 U1, 07.05.2019. RU 2711580
C1, 17.01.2020. US 9035272 B2, 19.05.2015. CN
109659434 B, 01.09.2020. CN 111755600 A,
09.10.2020.

(54) Способ формирования мемристивных структур на основе композитных оксидов с агломератами наночастиц

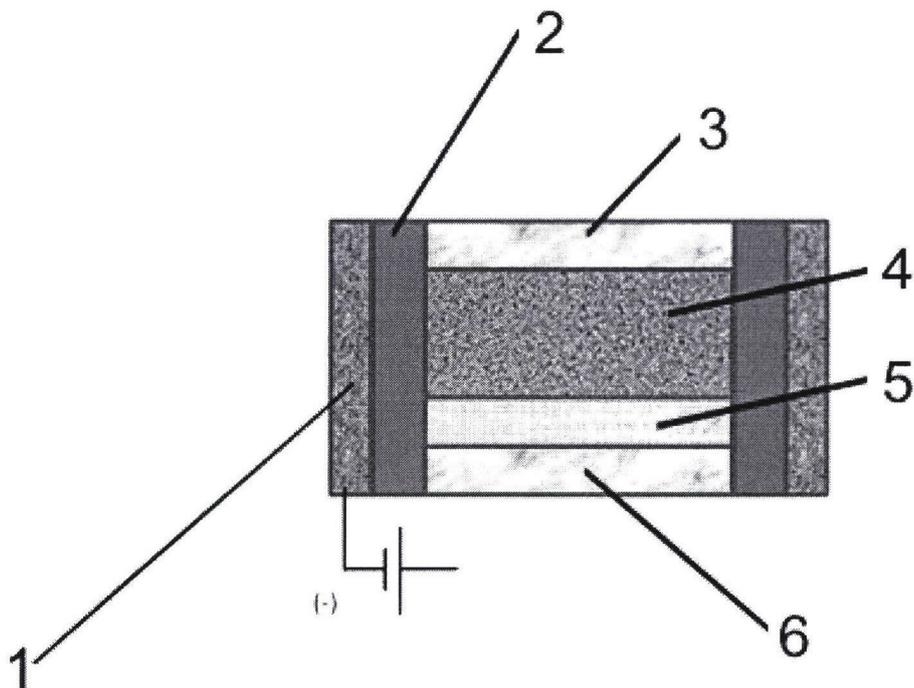
(57) Реферат:

Способ формирования мемристивных структур на основе композитных оксидов с агломератами наночастиц относится к способам формирования вертикального профиля и организации мемристивных элементов и режимов их работы для обеспечения наибольшей производительности, стабильности и повторяемости параметров обработки цифровых данных. Способ заключается в том, что формируется два электрода на основе одного или нескольких наноразмерных слоев оксидов металлов, их разделяют активной средой так, что между электродами по периферии области активной среды наносят изолирующий слой. Поверх изолирующего слоя формируют токопроводящий слой, при этом обеспечивают его связь с отрицательной шиной, что

препятствует утечке отрицательных ионов кислорода через изолирующий слой, если вдруг в нем случится трещина или канал для утечки. Отличие от известных технических решений состоит в том, что между электродами по периферии области активной среды нанесен изолирующий слой, поверх которого сформирован токопроводящий слой, электрически связанный с отрицательной шиной, а поскольку носителями тока в активной среде являются отрицательные ионы кислорода, то подав на токопроводящий слой небольшой отрицательный потенциал создается внешнее электрическое поле, препятствующее прохождению (утечке) отрицательных ионов кислорода через изолирующий слой. В результате получено техническое решение, которое

обеспечивает формирование мемристорных структур с высокой эффективностью воздействия на отрицательные ионы кислорода, которые являются переносчиками зарядов в данной структуре. Технический результат заключается в повышении стабильности и повторяемости

характеристик (напряжения переключения, сопротивления в низкоомном и в высокоомном состояниях) мемристоров, сопротивление которых изменяется при пропускании через них электрического тока. 2 ил.



Фиг. 1

RU 2767721 C1

RU 2767721 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

H01L 27/108 (2006.01)*B82B 3/00* (2006.01)*B82Y 40/00* (2011.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

H01L 27/108 (2021.08); B82B 3/00 (2021.08); B82Y 40/00 (2021.08)(21)(22) Application: **2021119944, 07.07.2021**(24) Effective date for property rights:
07.07.2021Registration date:
18.03.2022

Priority:

(22) Date of filing: **07.07.2021**(45) Date of publication: **18.03.2022** Bull. № 8

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, kor. 1,
MG TU im. N.E. Baumana, TSZIS, dlya Shakhnova
(kaf. IU-4)**

(72) Inventor(s):

**Shakhnov Vadim Anatolevich (RU),
Zhalnin Vladimir Petrovich (RU),
Vlasov Andrej Igorevich (RU),
Muravev Konstantin Aleksandrovich (RU),
Rasyuk Aleksandr Aleksandrovich (RU),
Kosyanov Oleg Vyacheslavich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj
tehnicheskij universitet imeni N.E. Baumana
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet)" (RU)**(54) **METHOD FOR FORMING MEMRISTIVE STRUCTURES BASED ON COMPOSITE OXIDES WITH NANOPARTICLE AGGLOMERATE**

(57) Abstract:

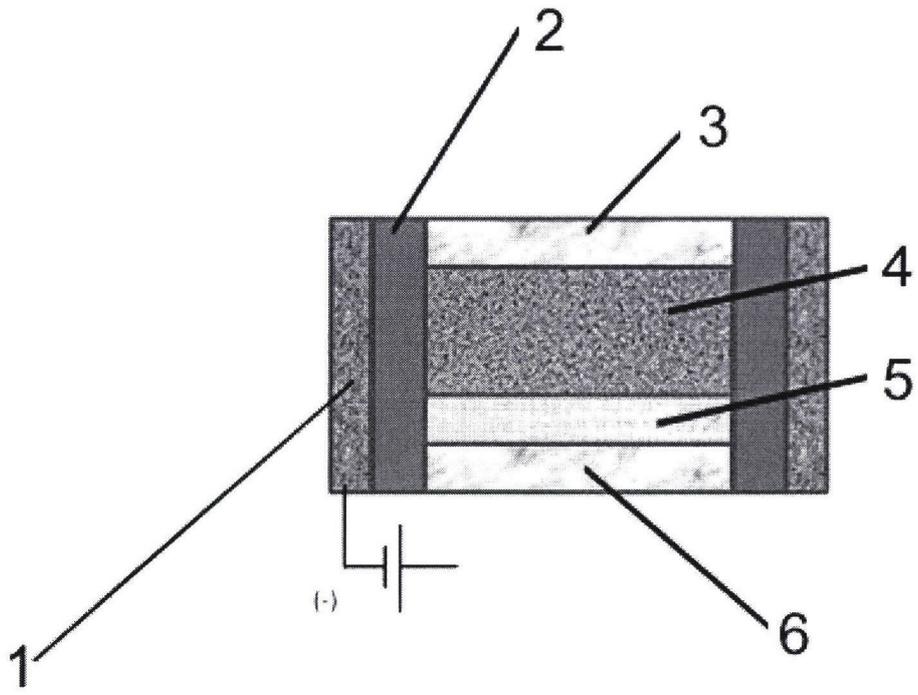
FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: method for forming memristive structures based on composite oxides with nanoparticle agglomerates relates to methods for forming a vertical profile and organising memristive elements and operating modes thereof for the purpose of ensuring the highest productivity, stability, and repeatability of digital data processing parameters. The method consists in forming two electrodes based on one or multiple nanoscale metal oxide layers, separating the electrodes by an active medium so that an insulating layer is applied between the electrodes along the periphery of the area of the active medium. A conductive layer is formed on top of the insulating layer, wherein a connection thereof with a negative bus is ensured, preventing the leakage of negative oxygen ions through the insulating layer if a leakage crack or channel suddenly occurs therein. The difference from known technical solutions consists in the fact that an insulating

layer is applied between the electrodes along the periphery of the area of the active medium, on top whereof a conductive layer is formed, electrically connected with a negative bus, and since the current carriers in the active medium are negative oxygen ions, an external electric field preventing the passage (leakage) of negative oxygen ions through the insulating layer is created when a small negative potential is applied to the conductive layer. A technical solution is obtained as a result, ensuring formation of memristor structures with high efficiency of impact on negative oxygen ions constituting charge carriers in said structure.

EFFECT: increase in the stability and repeatability of the characteristics (switching voltage, resistance in low-resistance and high-resistance states) of memristors, the resistance whereof changes when an electric current is passed through them.

1 cl, 2 dwg



Фиг. 1

Область техники

Заявляемое техническое решение относится к способам формирования вертикального профиля, организации мемристивных элементов и режимов их работы для обеспечения наибольшей производительности, стабильности и повторяемости параметров обработки цифровых данных.

Уровень техники

Из уровня техники известно, что мемристоры (или мемристивные) устройства со стабильными и повторяемыми характеристиками могут быть использованы для создания элементов памяти вычислительных систем. Данное устройство состоит из активного наноразмерного слоя, расположенного между двумя токопроводящими электродами. Активный слой находится в электрическом контакте с электродами и состоит из одного или нескольких слоев оксидов металлов типа Me_2O_x , где элемент Me является металлом, а элемент O - кислородом. Индексы y и x определяются валентностью соответствующего металла. По периферии активной области наносится изолирующий слой, поверх которого сформирован токопроводящий слой электрически соединенный с отрицательной шиной устройства. Данное решение относится к устройствам микро- и нанoeлектроники на основе перспективных материалов и может быть использовано для создания вычислительных систем на основе мемристорных устройств со стабильными и повторяемыми характеристиками [1-3].

Для повышения стабильности характеристик мемристора можно совершенствовать его геометрию, осуществлять поиск новых материалов и новых способов формирования активного слоя и электродов мемристора, а также развивать архитектуры мемристорной ячейки, в которых можно было бы управлять распределением электрического поля в активном слое. В идеальном случае все эти подходы должны использоваться одновременно, однако последний является наиболее простым технологичным и позволяет усовершенствовать архитектуру мемристорной структуры.

Известен мемристорный переключатель, патент США US 2011/0266515 A1 дата публикации Nov. 3, 2011, в котором предлагается структура мемристора, состоящая из верхнего и нижнего электродов, между которыми помещен наноразмерный резистивный слой. Известен также способ организации структуры мемристора (США, патент US 2014/0197369 A1 дата публикации Jul. 17, 2014.). В данном патенте структура мемристора имеет два электрода, между которыми сверху и снизу располагаются изолирующие области, а между ними область, включающая в себя наночастицы, которые обеспечивают формирование токопроводящих каналов в изолирующих областях между двумя электродами. Однако уровень стабильности свойств и повторяемости характеристик данных решений не высок.

Известен также способ формирования мемристорной структуры с наноконцентраторами электрического поля (Патент РФ № RU 2706207 C1 дата публикации: 2019.11.14).

Наиболее близким техническим решением к предполагаемому изобретению является способ реализации элемента памяти на основе мемристорных наноструктур (RU 148262 U1, заявка 2014111863/28, 27.03.2014), в котором запоминающий слой выполнен в виде изолированных наноразмерных структур оксида металла. Однако такой мемристор имеет неоднородности распределения электрического поля в активном слое и соответственно низкой стабильности и повторяемости характеристик мемристора.

Известен также подход к синтезу мемристорной структуры на основе оксида кремния (патент РФ № RU 157291 U1, Опубликовано: 2015.11.27). Полезная модель относится к области твердотельной электроники и может быть использована при создании

энергонезависимых запоминающих устройств на основе мемристорного эффекта, т.е. изменения электрической проводимости активного слоя элемента памяти под действием электрического напряжения между электродами мемристорной структуры. Эффект переключения из низкоомного в высокоомное состояние и обратно обусловлен процессами в активном слое, находящимся между верхним и нижним электродами.

Поставленная цель в патенте РФ № RU 157291 U1 достигается за счет того, что в мемристорной структуре в виде плоского конденсатора, включающей активный слой из оксида кремния, нижний и верхний электроды к нему, используется активный слой с одним или несколькими сквозными отверстиями, герметично закрытыми сверху и снизу соответственно верхним и нижним электродами таким образом, что торцевая поверхность активного слоя в отверстиях остается полностью или частично открытой. При этом отверстия могут быть заполнены остатками атмосферных газов при давлении менее 100 Па, либо газом, выбранным из ряда: азот, аргон, криптон, ксенон, при давлении не более 105 Па.

Раскрытие изобретения

Задачей предлагаемого изобретения является создание способа, который обеспечивает повышение стабильности и повторяемости характеристик (напряжения переключения, сопротивления в низкоомном и в высокоомном состояниях) мемристоров, сопротивление которых изменяется при пропускании через них электрического тока.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в мемристоре на основе пленок оксида металлов, состоящих из одного или нескольких чередующихся слоев, а именно активного слоя, расположенного между двумя токопроводящими электродами по периферии области активной среды нанесен дополнительно изолирующий слой, поверх которого сформирован токопроводящий слой, электрически связанный с отрицательной шиной. Наличие токопроводящего слоя, электрически связанного с отрицательной шиной обеспечивает создание внешнего электрического поля, по контуру охватывающего область активной среды мемристорной ячейки, благодаря чему отрицательные ионы кислорода, находящиеся в активной среде взаимодействуют с внешним электрическим полем, которое оказывает выравнивающее влияние на каналы проводимости активного слоя и обеспечивает стабильность и повторяемость характеристик мемристорной ячейки.

Перечень чертежей

Фиг. 1 - Пример вертикального профиля мемристорной структуры

Фиг. 2 - Блок-схема последовательности этапов формирования вертикального

профиля мемристорной структуры

Осуществление изобретения

Предлагаемый способ обеспечивает формирование вертикального мемристорного профиля поясняемого следующим чертежом (Фиг. 1). Активный слой из одного или нескольких чередующихся слоев оксидов металлов (4, 5) формируется между двумя токопроводящими электродами (3, 6). По периферии активного слоя располагается изолирующий слой (2), на который наносится токопроводящий слой (1), электрически соединенный с отрицательной шиной.

Активный слой формируется материалом, способным к переносу заряда. Носителями заряда в активном слое на основе смешанного оксида металла являются вакансии кислорода, имеющие отрицательный заряд. Приложение электрического поля определенной величины или полярности между электродами (3, 6) с помощью источника напряжения приводит к диффузии атомов кислорода от одного электрода к другому и соответственно, избытку (или дефициту) вакансий кислорода вблизи одного из

электродов. Таким образом, при приложении электрического поля к электродам, изменяются концентрация носителей заряда в активном слое и распределение носителей по толщине активного слоя. Однако, распределение вакансий кислорода по площади активного слоя будет неравномерным из-за несовершенства структуры активного слоя.

5 Также возможны паразитные утечки микротоков через изолирующий слой. Подача отрицательного напряжения на токопроводящий слой, нанесенный на изолирующий слой приводит к возникновению электрического поля, препятствующего паразитным

10 утечкам, а также смещению вакансий кислорода в центр активной зоны, где более высокая равномерность наноструктуры из-за отсутствия краевых эффектов. Таким образом, при приложении электрического поля от источника напряжения между электродами мемристорной ячейки, в активном слое возникает дрейф кислородных

15 вакансий вдоль направления от одного электрода к другому на нанометровые расстояния вследствие смещения границы расположения кислородных вакансий, что приводит к изменению сопротивления мемристорной ячейки, а воздействие

электрического поля со стороны электрода, нанесенного на изолирующий слой, сжимает область проводимости в центр активной зоны, где выше равномерность состава активной зоны, что повышает стабильность и повторяемость характеристик мемристорной ячейки.

Пример реализации способа.

20 Заявляемый способ может быть осуществлен путем выполнения последовательности операций, приведенной на Фиг. 2. Для формирования вертикального профиля мемристивной ячейки на основе оксида металлов использована ситалловая подложка размером 64 мм×48 мм (100). Были изготовлены специальные маски, через которые осуществлялось последующее напыление слоев мемристорной структуры. Размер

25 структуры в плане составил 500 мкм × 500 мкм. На подложку через маску был нанесен методом термического вакуумного испарения сначала нижний электрод из серебра (101) толщиной 200 мкм при давлении $1 \cdot 10^{-6}$ Торр, затем методом лазерной абляции нанесен слой окиси алюминия Al_2O_3 толщиной 5-10 нм (102), затем также методом

30 лазерной абляции слой титана Ti, напыленного в среде кислорода при давлении $5 \cdot 10^{-2}$ Торр толщиной 50-100 нм (103). Таким образом, в процессе напыления титана в среде кислорода образовывалась окись титана, которая и формировала активную зону. Затем методом ионно-плазменного напыления на периферийную область активной зоны был нанесен изолирующий слой двуокиси кремния толщиной 100 нм (104) и на него напылен

35 слой серебра толщиной 100 нм (105). Затем был напылен второй электрод из серебра в вакууме толщиной 200 мкм (106). Таким образом, была получена мемристивная структура (107), вертикальный профиль которой приведен на Фиг. 1. Для подключения к электродам мемристорной структуры щупов зондовой станции были сформированы контактные площадки размером 1 мм × 1 мм. Между нижними и верхними электродами

40 был подключен измерительный прибор Agilent U2722A, включающий в себя источник питания и измеритель тока. Измерение вольт-амперных характеристик в диапазоне напряжения от -1,9 В до 1,9 В и переключение мемристоров из высокоомного состояния в низкоомное и наоборот осуществлялось с помощью стандартной управляющей программы прибора. Сначала проводилось снятие ВАХ в течение 110 циклов без подачи

45 на шину отрицательного напряжения. Разброс параметров составил 15%. Затем на шину было подано отрицательное напряжение 1 В и повторен цикл снятия ВАХ. Разброс параметров составил 5%.

Полученный результат свидетельствует о том, что использование в конструкции мемристорной структуры специального электрода, подключенного к отрицательной

шине позволяет повысить стабильность работы мемристорной структуры и ее характеристики становятся хорошо повторяемыми. Таким образом, сочетание известных признаков мемристорной структуры и отличительных признаков предлагаемого решения позволяет получить новый технический результат, а именно позволяет повысить стабильность и повторяемость характеристик мемристоров.

Преимуществом заявляемого технического решения, является то, что достигается возможность управлять потоком ионов кислорода в зазоре между электродами мемристорной структуры, уменьшая тем самым возможность паразитных утечек через периферийные области.

К достоинствам заявляемого технического решения можно отнести то, что оно технически достаточно просто осуществимо, при этом достигается высокая эффективность воздействия на отрицательные ионы кислорода, которые являются переносчиками зарядов в мемристорной структуре.

Список использованных источников

1. AMR. (2016). Memristor Market Global Scenario, Market Size, Outlook, Trend, and Forecast, 2016-2025. Accurize Market Research. Retrieved from <https://www.accurizemarketresearch.com/report/memristor-market/>.

2. Emelyanov, A.V., Demin, V.A., Antropov, I.M., Tselikov, G., Lavrukina, Z.V., & Kashkarov, P. (2015). Effect of the thickness of the TiOx/TiO2 layers on their memristor properties. Technical Physics, 60(1), 112-115. [https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1\(38\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1(38)).

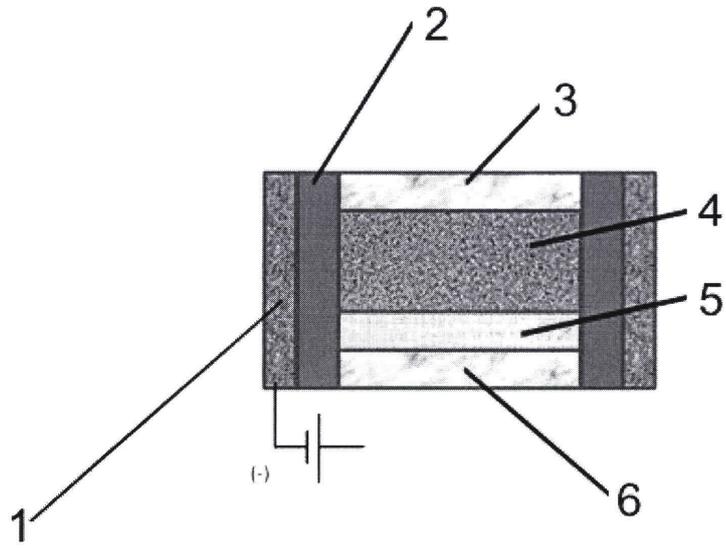
FMI. (2016). Memristor Market: Global Industry Analysis and Opportunity Assessment 2016-2026. Future Market Insights. Retrieved from <https://www.fbtoemarketinsights.com/reports/memristor-market>.

3. IA. (2020). Memristor Market - Forecast (2020-2025). IndustryARC. Retrieved from <https://www.industryarc.com/Report/15092/memristor-market.html>.

(57) Формула изобретения

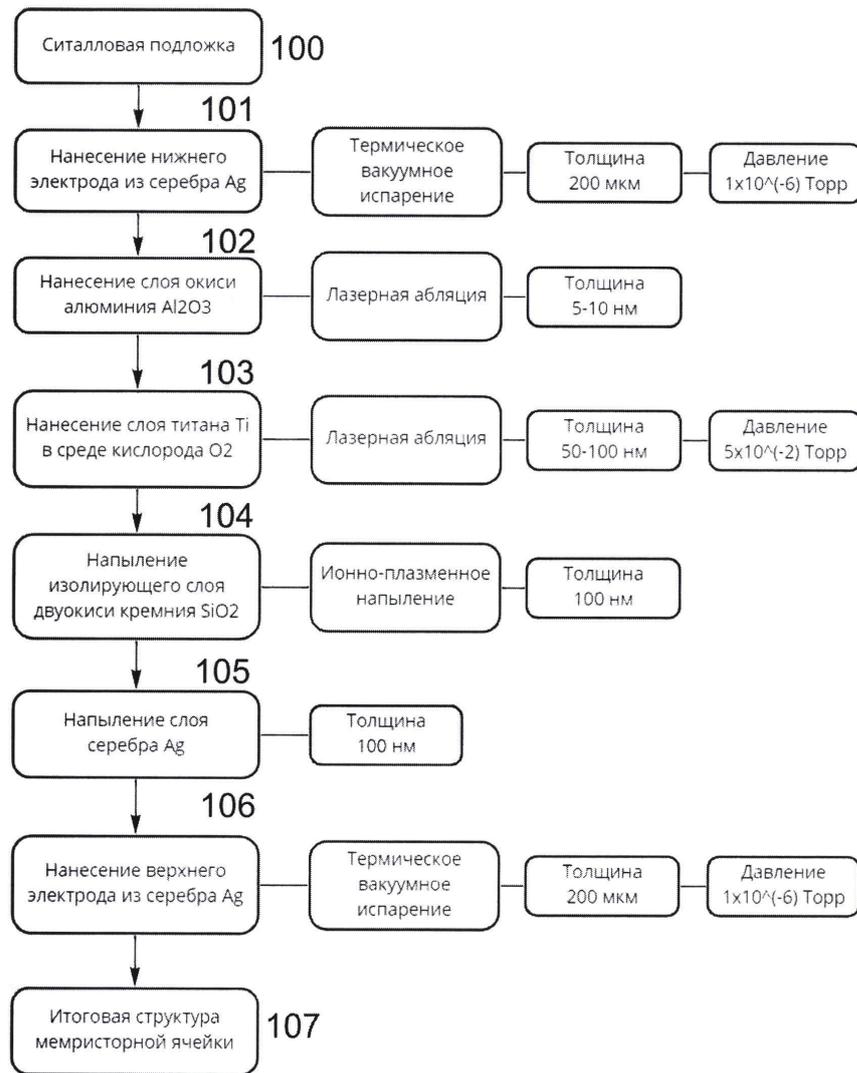
Способ формирования мемристивных структур на основе композитных оксидов с агломератами наночастиц, заключающийся в том, что формируют два электрода на основе одного или нескольких наноразмерных слоев оксидов металлов, разделяют их активной средой, отличающийся тем, что между электродами по периферии области активной среды наносят изолирующий слой, поверх которого формируют токопроводящий слой, при этом обеспечивают его связь с отрицательной шиной.

1



Фиг. 1

2



Фиг. 2