

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **7431**

(13) **С1**

(46) **2005.12.30**

(51)⁷ **H 01L 29/80, 21/28**

(54) **ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫЙ АКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ И СПОСОБ ЕГО
ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

(21) Номер заявки: а 20000047

(22) 2000.01.12

(43) 2001.09.30

(71) Заявитель: Учреждение образования
"Белорусский государственный уни-
верситет информатики и радиоэлек-
троники" (ВУ)

(72) Авторы: Сокол Виталий Александр-
ович; Воробьева Алла Ильинична;
Уткина Елена Апполинарьевна (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-
зования "Белорусский государственный
университет информатики и ра-
диоэлектроники" (ВУ)

(56) RU 1762690 С, 1994.

ВУ 6613 С1, 2004.

ВУ 6371 С1, 2004.

ВУ 2259 С1, 1998.

US 4495511, 1985.

US 4510016, 1985.

US 5057883, 1991.

WO 96/12302, 1996.

WO 89/06444, 1989.

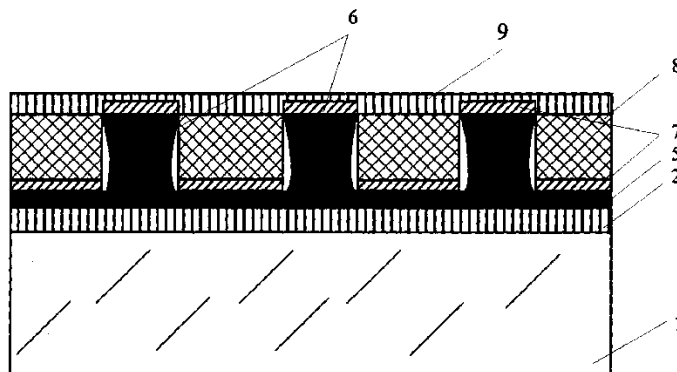
JP 01041275 А, 1989.

JP 62177972 А, 1987.

DE 0478934 А2, 1992.

(57)

1. Трехэлектродный активный элемент, содержащий диэлектрическую подложку, слой истока, слой диэлектрика, управляющую сетку и слой стока, **отличающийся** тем, что диэлектрический слой выполнен в виде квазипроводящих каналов со множеством столбиков высотой 100-600 нм и диаметром 30-120 нм из анодного оксида тантала Ta_2O_5 или ниобия Nb_2O_5 в матрице из диэлектрического материала с более высокими изоляционными свойствами по сравнению с материалом столбиков, а управляющая сетка - в виде перфорированного металлического слоя толщиной 100-200 нм с шагом отверстий 100-300 нм, причем толщина металлической сетки должна быть по крайней мере наполовину меньше высоты столбиков из Ta_2O_5 .



Фиг. 1

ВУ 7431 С1 2005.12.30

2. Способ изготовления трехэлектродного активного элемента путем вакуумного осаждения слоев истока, стока, управляющей сетки на диэлектрической подложке, **отличающийся** тем, что формируют диэлектрический слой в виде столбиков высотой 100-600 нм и диаметром 30-120 нм из анодного оксида тантала Ta_2O_5 или ниобия Nb_2O_5 в матрице из диэлектрического материала с более высокими изоляционными свойствами по сравнению с материалом столбиков путем двухступенчатого электрохимического окисления двухслойной тонкопленочной композиции Ta/Al или Nb/Al с последующим удалением анодного оксида алюминия Al_2O_3 путем селективного химического травления, и формируют управляющую сетку, выполненную в виде перфорированного металлического слоя толщиной 100-200 нм с шагом отверстий 100-300 нм, причем толщина металлической сетки должна быть по крайней мере наполовину меньше высоты столбиков из Ta_2O_5 .

Изобретение относится к области электронной техники, в частности к микроэлектронным приборам и способам изготовления микросхем с тонкопленочными активными элементами, в частности металл-диэлектрик-металл-диэлектрик-металл (МДМДМ).

Изобретение целесообразно использовать при изготовлении матриц активных элементов, интегральных микросхем, средств отображения информации (ЖКИ, ВЛИ, ЭЛИ, и т.п.), устройств сенсорики, там, где управляющие МДМДМ-элементы могут применяться в схемах первичной обработки сигналов, совмещенных с тонкопленочными датчиками, и представить альтернативу тонкопленочным полупроводниковым транзисторам.

Известна конструкция и способ изготовления трехэлектродного активного элемента [1], включающий формирование на поверхности полупроводниковой (Si) подложки n^- эпитаксиального слоя, формирование на его поверхности n^+ слоя способом эпитаксиального осаждения, выполняющего роль коллектора (стока), вытравливание множества U-образных канавок в полупроводниковой подложке (Si), при этом ширина смежных канавок равна расстоянию между ними - 2 мкм, а глубина - 3 мкм, а образующиеся пальцеобразные элементы состоят из полупроводникового материала, имплантация дна канавок примесью n-типа, формирование слоя двуокиси кремния на стенках канавок, последующее их удаление с помощью анизотропного плазменного травления с целью уменьшения их толщины до субмикронных размеров ≤ 1 мкм, формирование слоя эмиттера и базы осаждением металла на поверхность кремниевых пальчиков и дно канавок.

Известна конструкция и способ ее изготовления [2], включающий формирование на полуизолирующей подложке из GaAs с концентрацией носителей $10^{14} \div 10^{16} \text{ см}^{-3}$ изолирующей пленки, формирование окон в изолирующей пленке под n^+ -области истока и n^+ -области стока на расстоянии 0,5 мкм, формирование n^+ -областей истока и стока методом эпитаксиального наращивания в вытравленных окнах, формирование второй изолирующей пленки, формирование третьей изолирующей пленки, вытравливание областей под затворный электрод глубиной 2 мкм, формирование вакуумным осаждением металла или полупроводникового материала с низким удельным сопротивлением между областями истока и стока заглубленного электрода затвора пальцеобразной конфигурации. При этом пальцеобразная конфигурация включает металлический затвор в виде пальцев с шагом от 0,1 до 10 мкм и поперечной областью с длиной менее 0,5 мкм, которая не находится в непосредственном контакте с подложкой.

Недостатками данных устройств и способов их изготовления является использование дорогостоящего оборудования и материалов для многократного эпитаксиального наращивания полупроводниковых слоев и диффузии легирующей примеси, а также использование плазменного анизотропного травления субмикронных канавок. При вытравливании канавок очень сложно осуществлять контроль их шага и глубины с точностью до десятков нанометров, что влечет за собой плохую воспроизводимость размеров элементов матрицы

ВУ 7431 С1 2005.12.30

каналов и проводящих полупроводниковых каналов. Кроме того, данная конструкция не обладает планарностью, необходимой при изготовлении плоских индикаторных панелей.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому изобретению является трехэлектродный активный элемент - транзистор с проникаемой базой (ТПБ) [3], включающий: 1) полупроводниковую подложку n^+ -типа (GaAs), 2) слой эмиттера (истока), расположенный на тыльной стороне подложки, 3) эпитаксиальный слой полупроводника n -типа на поверхности подложки, 4) множество канавок, сформированных в подложке, при этом для обеспечения полуизолирующих областей дно канавок подвергают ионной имплантации кислорода, 5) металлическую управляющую сетку, при этом каждый элемент сетки имеет форму перевернутой буквы Т с диаметром вертикальной области 120-150 нм и 6) слой коллектора (стока). Отличительная особенность транзистора с проникаемой базой - сверхтонкая металлическая сетка (база), размещенная внутри полупроводникового эпитаксиального слоя. Создание ТПБ последовательно включает эпитаксиальный рост полупроводниковых слоев, ионную имплантацию, напыление электронным лучом металла, образующего контакт Шоттки с полупроводником.

Недостатком известного трехэлектродного активного элемента является сложность операций технологического процесса изготовления (рентгеновская, либо электронно-лучевая литография, молекулярно-лучевая эпитаксия, ионная имплантация), ограниченные возможности достижения минимальных (менее 100 нм) размеров элементов сетки и полупроводниковых проводящих каналов, а также использование дорогостоящих полупроводниковых материалов и оборудования.

Задачей изобретения является создание конструкции тонкопленочного активного элемента с управляющим электродом в виде сетки с шагом отверстий 100-300 нм без применения полупроводниковых материалов, упрощение технологического процесса его изготовления, что позволит увеличить эффективность усиления и снизить затраты на изготовление. Поставленная цель достигается посредством того, что в известном трехэлектродном элементе, включающем подложку 1, слой эмиттера (истока) 2, тонкую металлическую сетку-базу (затвор) 7 и слой коллектора (стока) 9, диэлектрический слой выполнен в виде квазипроводящих каналов со множеством столбиков высотой 100-600 нм (предпочтительно 300 нм) и диаметром 30-120 нм (предпочтительно 60 нм) из анодного оксида тантала Ta_2O_5 или оксида ниобия Nb_2O_5 в матрице из диэлектрического материала 8 с более высокими изоляционными свойствами по сравнению с материалом столбиков, а управляющая сетка - в виде перфорированного металлического (Al, Ta, Ti, W, Mo) слоя толщиной 100-200 нм (предпочтительно 100 нм) с шагом отверстий 100-300 нм (предпочтительно 150 нм), причем толщина металлической сетки должна быть по крайней мере наполовину меньше высоты столбиков из Ta_2O_5 . Выбранный диапазон толщины металлической сетки определяется высотой формируемых столбиков оксида тантала Ta_2O_5 и должен быть по крайней мере наполовину меньше этой высоты, чтобы обеспечить необходимую изоляцию. Диаметр и плотность размещения столбиков связаны с составом электролита анодирования, а также длительностью последующей химической обработки. Столбики с минимальным размером формируются при использовании электролита на основе серной кислоты, а с максимальным размером - в электролите на основе ортофосфорной кислоты.

Предлагаемые трехэлектродные активные элементы и способ их изготовления позволяют формировать управляющую сетку из любого проводящего материала с минимальным шагом отверстий 150 нм и диэлектрический слой с квантоворазмерными проводящими каналами в виде столбиков с минимальным диаметром ~ 30 нм и плотностью упаковки $\sim 10^8 \div 9 \times 10^{10}$ $см^{-2}$. Благодаря этому они позволят достичь высокой эффективности усиления и надежности. А использование в качестве материала диэлектрика анодных оксидов вентильных металлов и простых электрохимических методов их изготовления позволяют существенно упростить технологию и снизить стоимость их изготовления.

BY 7431 C1 2005.12.30

Краткое описание рисунков.

Фиг. 1 изображает фрагмент поперечного сечения тонкопленочного активного элемента согласно изобретению.

Фиг. 2 изображает фрагмент топологии трех тонкопленочных активных элементов трехэлектродного типа, вид сверху согласно изобретению.

Фиг. 3 показывает схематическое изображение общей топологии матрицы тонкопленочных трехэлектродных активных элементов - I вариант.

Фиг. 4 показывает схематическое изображение общей топологии матрицы тонкопленочных трехэлектродных активных элементов - II вариант.

Фиг. 5-10 изображает последовательность технологических операций изготовления тонкопленочного активного трехэлектродного элемента согласно изобретению.

Фиг. 5 изображает слой истока из алюминия и двухслойную Ta-Al тонкопленочную композицию на поверхности подложки.

Фиг. 6 изображает матрицу пористого анодного оксида алюминия Al_2O_3 со сформированными столбиками оксида тантала Ta_2O_5 .

Фиг. 7. изображает диэлектрический слой в виде квазипроводящих каналов со множеством столбиков из анодного оксида тантала Ta_2O_5 или оксида ниобия Nb_2O_5 после удаления анодного оксида алюминия Al_2O_3 путем селективного химического травления.

Фиг. 8. - управляющая металлическая сетка на поверхности диэлектрического слоя с квазипроводящими каналами со множеством столбиков.

Фиг. 9. - матрица диэлектрического материала с высокими изоляционными свойствами вокруг квазипроводящих каналов со множеством столбиков.

Фиг. 10 - слой стока на поверхности управляющей сетки и матрицы изолирующего материала.

Фиг. 11 показывает схему переноса электронов в отдельном канале (а) и диаграмму отбора электронов в канале по импульсу (б) при различных управляющих напряжениях на сетке.

На чертежах приняты следующие обозначения:

- 1 - подложка;
- 2 - слой истока (Al) - 1-й уровень;
- 3 - слой Ta
- 4 - матрица пористого анодного оксида алюминия Al_2O_3 ;
- 5 - слой Ta_2O_5 ;
- 6 - квазипроводящие каналы со множеством столбиков (Ta_2O_5 или Nb_2O_5);
- 7 - управляющая металлическая сетка (затвор) (один из Al, Ta, Ti, W, Mo) - 2-й уровень;
- 8 - слой изолирующего материала (BCB);
- 9 - слой стока (Ta-Al) - 3-й уровень;
- 10 - поток электронов на входе в канал;
- 11 - модулированный поток электронов в канале.

Изобретение поясняется чертежом, на котором представлено поперечное сечение заваемого трехэлектродного активного элемента.

Поставленная задача достигается за счет того, что предлагаемый трехэлектродный элемент состоит из диэлектрической подложки (1), слоя истока (2), слоя диэлектрика (6), управляющей сетки (7) и слоя стока (9). При этом диэлектрический слой выполнен в виде квазипроводящих каналов со множеством столбиков из анодного оксида тантала или ниобия в матрице из диэлектрического материала (8) с более высокими изоляционными свойствами по сравнению с материалом столбиков, а управляющая сетка - в виде перфорированного металлического слоя.

Сущность данного изобретения заключается в том, что путем вакуумного осаждения слоев истока, стока и управляющей сетки на диэлектрической подложке формируют ди-

BY 7431 C1 2005.12.30

электрический слой в виде столбиков высотой 100-600 нм и диаметром 30-120 нм из анодного оксида тантала Ta_2O_5 или ниобия Nb_2O_5 в матрице из диэлектрического материала с более высокими изоляционными свойствами по сравнению с материалом столбиков путем двухступенчатого электрохимического окисления двухслойной тонкопленочной композиции Ta/Al или Nb/Al с последующим удалением анодного оксида алюминия Al_2O_3 путем селективного химического травления, и формируют управляющую сетку, выполненную в виде перфорированного металлического слоя толщиной 100-200 нм с шагом отверстий 100-300 нм, причем толщина металлической сетки должна быть по крайней мере наполовину меньше высоты столбиков из Ta_2O_5 .

Способ изготовления тонкопленочного трехэлектродного элемента заключается в следующем:

предварительная обработка поверхности подложки (химическая очистка, грунтовка, ионная очистка);

формирование слоя истока методом вакуумного осаждения тонкой пленки металла;

формирование диэлектрического слоя в виде квазипроводящих каналов со множеством столбиков из анодного оксида тантала Ta_2O_5 , или ниобия Nb_2O_5 высотой 100-600 нм и диаметром 30-120 нм в матрице из диэлектрического материала с более высокими изоляционными свойствами по сравнению с материалом столбиков путем двухступенчатого электрохимического окисления двухслойной тонкопленочной композиции Ta(100-200 нм)/Al(0,5-1,0) мкм с последующим удалением анодного оксида Al_2O_3 путем селективного химического травления;

формирование управляющей сетки методом вакуумного осаждения тонкой пленки проводящего материала, например Al (либо Ta, Ti, W, Mo), толщиной 100-200 нм;

формирование матрицы из диэлектрического материала с более высокими изоляционными свойствами по сравнению с материалом столбиков (жидкое стекло, бензоциклобутан, фоточувствительный полиимид с последующей имидизацией);

формирование слоя стока методом вакуумного осаждения тонкой пленки металла.

В качестве подложки могут быть использованы ситалл, стекло, кремний, керамика с грунтовым покрытием (Si/SiO₂). Слой истока может быть изготовлен вакуумным осаждением пленки Al, Ta или Ta/Al (1,5-2,0 мкм). Диэлектрический слой в виде квазипроводящих каналов со множеством столбиков из анодного диэлектрика может быть изготовлен двухступенчатым электрохимическим окислением двухслойной тонкопленочной композиции Ta(100-300 нм)/Al(0,5-1,0 мкм) с последующим удалением анодного оксида Al_2O_3 путем селективного химического травления. Столбики из анодного оксида тантала Ta_2O_5 имеют следующие параметры: высота - (100-600) нм, диаметр - (30-120) нм, количество - 10^8 - 10^{11} см⁻². Перфорированная управляющая сетка с субмикронным периодом (100-300) нм изготавливается вакуумным осаждением металлической пленки из W (либо Ti, Mo, Ta, Nb) толщиной 100-200 нм с шагом отверстий 100-300 нм на неподвижную или вращающуюся вокруг собственной оси подложку.

Матрица из диэлектрического материала с более высокими изоляционными свойствами по сравнению с материалом столбиков изготавливается нанесением жидкого диэлектрика, например жидкое стекло, ВСВ (бензоциклобутан), в том числе фоточувствительный полиимид центрифугированием с последующей имидизацией (отверждением) при температуре, не превышающей (400 ± 50) °С.

Слой стока изготавливается вакуумным осаждением металла, например Al, толщиной (0,8-1,0) мкм.

Принцип работы предлагаемого устройства поясняется на фиг. 1а,б, где приведено схематическое изображение переноса электронов в отдельном диэлектрическом канале (а) и диаграмма отбора электронов в канале по импульсу (б) при различных управляющих напряжениях на сетке. Под действием приложенного между истоком 2 и стоком 9 электрического поля электроны 10 переносятся через канал 6, диаметр которого составляет порядка 30 нм. Управ-

BY 7431 C1 2005.12.30

ление потоком электронов 11 в канале 6 осуществляется путем подачи соответствующего потенциала на управляющий электрод-сетку 7. В результате электростатического действия потенциала сетки осуществляется отбор электронов, проходящих через канал, по поперечной компоненте импульса (b_1, b_2, \dots) за счет размерного квантования в канале нанометрового диаметра при неизменной продольной компоненте (p), определяемой напряжением исток-сток. Таким образом, результирующий поток электронов на стоке 9 модулируется по импульсу k_1, k_2, \dots потенциалом сетки 7. Эффективность такой модуляции определяется квантово-механическими правилами отбора и минимальным диаметром канала (≤ 100 нм), недостижимым в других известных вариантах (прототипе).

Преимущества данного изобретения заключаются в использовании дешевых, недефицитных материалов, в простоте изготовления известными, отработанными методами тонкопленочной технологии с применением промышленного оборудования, что значительно упрощает и удешевляет процесс изготовления подложек с матрицей трехэлектродных активных элементов. Простота изготовления не исключает получение высоких характеристик, в частности коэффициента усиления за счет создания управляющей сетки с предельно малым субмикронным периодом и увеличения числа каналов проводимости в виде столбиков до $10^8 - 10^{11}$ см⁻². Получение такого числа каналов проводимости на единице поверхности и управляющей сетки с субмикронным периодом известными методами маскирования практически невозможно.

Таким образом, конструкция прибора с субмикронными (нанометровыми) размерами элементов и способы изготовления функциональных слоев, в частности слоя с матрицей каналов проводимости, являются принципиально новыми научно-техническими решениями, позволяющими упростить технологический процесс изготовления и увеличить в принципе эффективность усиления.

Примеры изготовления

Пример 1

На ситалловую подложку вакуумным осаждением наносится слой алюминия толщиной (0,5-1) мкм, затем двухслойная тонкопленочная композиция Ta(300 нм) -Al(2,0 мкм). Проводят пористое анодирование слоя Al в 4 % водном растворе H₃PO₄ при напряжении $80 \pm 0,5$ В. Затем проводится плотное анодирование пленки тантала через пористый оксид алюминия в 1 % водном растворе лимонной кислоты. При этом в порах пористого оксида алюминия формируются столбики Ta₂O₅ высотой ~400 нм, диаметром 100-120 нм в количестве - $3 \cdot 10^9$ см⁻².

Далее в селективном травителе удаляют слой Al₂O₃, оставляя матрицу проводящих каналов в виде столбиков Ta₂O₅. В качестве селективного травителя использовали состав: H₃PO₄ (35 мл) + CrO₃ (20 г/л) при температуре 80 °С. Методом вакуумного осаждения на неподвижную подложку осаждают тонкую пленку металла (W) толщиной 100 нм, которая служит управляющей сеткой. Центрифугированием наносят слой ВСВ на всю поверхность подложки толщиной 200 нм. Нанесение повторяют до получения планарной поверхности. Проводят имидизацию слоя ВСВ при температуре (380 ± 5) °С. Полученный диэлектрик ВСВ обладает высокими диэлектрическими свойствами (изоляционными), а столбики Ta₂O₅ после отжига приобретают квазипроводниковые свойства.

Пример 2

На ситалловую подложку вакуумным осаждением наносится слой алюминия толщиной (0,5-1) мкм, затем двухслойная тонкопленочная композиция Ta(300 нм)-Al (2,0 мкм). Проводят пористое анодирование слоя Al в 3,6 % водном растворе щавелевой кислоты при напряжении $30 \pm 0,5$ В. Затем проводится плотное анодирование пленки тантала через пористый оксид алюминия в 1 % водном растворе лимонной кислоты. В порах пористого оксида алюминия формируются столбики Ta₂O₅ высотой ~350 нм, диаметром 60-100 нм в количестве - $2,6 \cdot 10^{10}$ см⁻².

ВУ 7431 С1 2005.12.30

Далее в селективном травителе (Пример 1) удаляют слой Al_2O_3 , оставляя матрицу проводящих каналов в виде столбиков Ta_2O_5 . Методом вакуумного осаждения на неподвижную подложку осаждают тонкую пленку металла (Al) толщиной 100 нм, которая служит управляющей сеткой. Центрифугированием наносят слой ВСВ на всю поверхность подложки толщиной 200 нм. Нанесение повторяют до получения планарной поверхности. Проводят имидизацию слоя ВСВ при температуре $(380 \pm 5)^\circ C$. Полученный диэлектрик ВСВ обладает высокими диэлектрическими свойствами (изоляционными), а столбики Ta_2O_5 после отжига приобретают квазипроводниковые свойства.

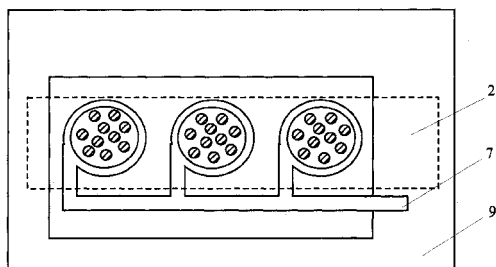
Пример 3

На ситалловую подложку вакуумным осаждением наносится слой алюминия толщиной $(0,5-1)$ мкм, затем двухслойная тонкопленочная композиция $Ta(200 \text{ нм}) - Al(2,0 \text{ мкм})$. Проводят пористое анодирование слоя Al в 10 % водном растворе H_2SO_4 при напряжении $12 \pm 0,5$ В. Затем проводится плотное анодирование пленки тантала через пористый оксид алюминия в 1 % водном растворе лимонной кислоты. При этом в порах пористого оксида алюминия формируются столбики Ta_2O_5 высотой ~ 300 нм, диаметром 30-60 нм в количестве $- 8,3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

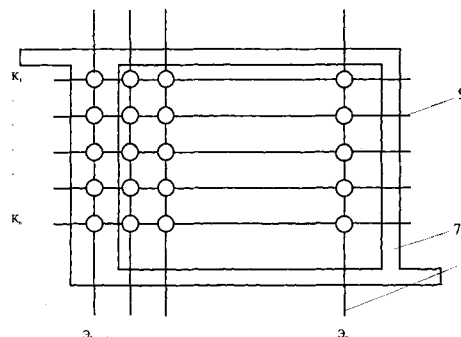
Далее в селективном травителе удаляют слой Al_2O_3 , оставляя матрицу проводящих каналов в виде столбиков Ta_2O_5 . В качестве селективного травителя использовали состав: H_3PO_4 (35 мл) + CrO_3 (20 г/л) при температуре $80^\circ C$. Методом вакуумного осаждения на неподвижную подложку осаждают тонкую пленку металла (W) толщиной 50 нм, которая служит управляющей сеткой. Центрифугированием наносят слой ВСВ на всю поверхность подложки толщиной 200 нм. Нанесение повторяют до получения планарной поверхности. Проводят имидизацию слоя ВСВ при температуре $(380 \pm 5)^\circ C$. Полученный диэлектрик ВСВ обладает высокими диэлектрическими свойствами (изоляционными), а столбики Ta_2O_5 после отжига приобретают квазипроводниковые свойства.

Источники информации:

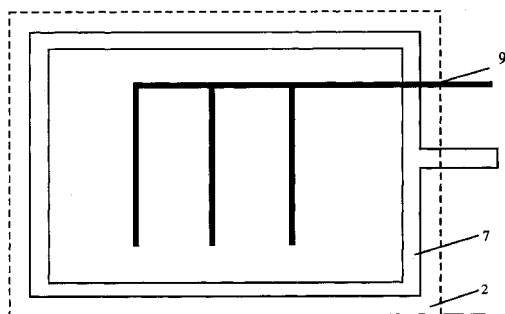
1. Патент US 4510016, МПК Н 01L 21/306, 09.04.1985.
2. Патент US 5057883, МПК Н 01L 29/80, 15.10.1991.
3. Патент US 4495511, МПК Н 01L 29/80, 22.01.1985.



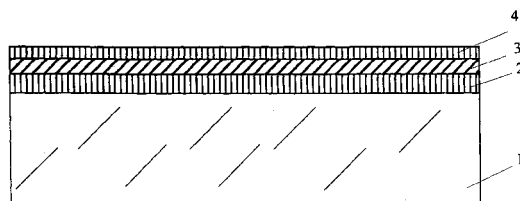
Фиг. 2



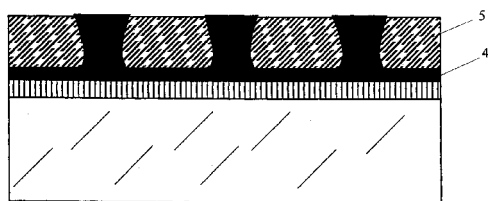
Фиг. 3



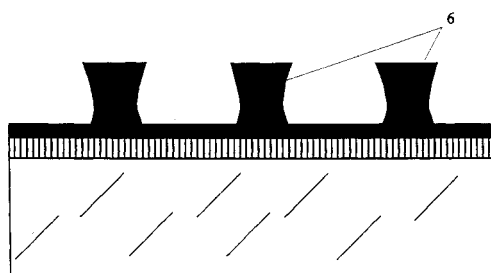
Фиг. 4



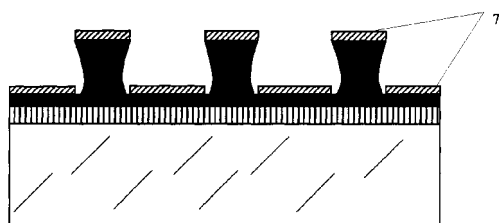
Фиг. 5



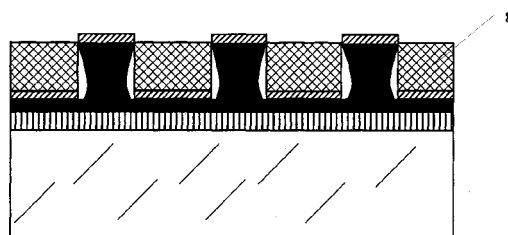
Фиг. 6



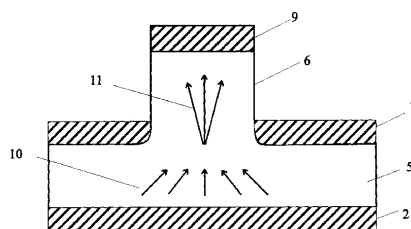
Фиг. 7



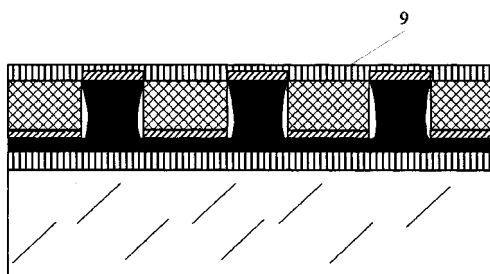
Фиг. 8



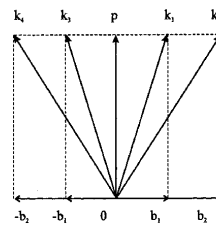
Фиг. 9



а)



Фиг. 10



б)

Фиг. 11