

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 5926

(13) С1

(51)<sup>7</sup> H 01L 39/22, 39/24

(54) **СПОСОБ СОЗДАНИЯ КОНФИГУРАЦИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ**

(21) Номер заявки: 970614

(22) 1997.11.13

(46) 2004.03.30

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

(72) Авторы: Лыньков Леонид Михайлович;  
Петров Николай Петрович; Болдыше-  
ва Ирина Петровна (ВУ)

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

(57)

Способ создания конфигурации тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников, включающий осаждение на подложку слоя тугоплавкого металла, осаждение слоя алюминия, формирование фоторезистивной маски, травление открытых участков слоя алюминия, слоя тугоплавкого металла и материала подложки, удаление фоторезиста, осаждение тонкого слоя буферного покрытия, удаление слоя алюминия, осаждение тонкой пленки высокотемпературного сверхпроводника, проведение высокотемпературного отжига в атмосфере кислорода, в процессе которого окисляют слой тугоплавкого металла, а затем удаляют его струей сжатого осушенного воздуха, **отличающийся** тем, что после осаждения слоя тугоплавкого металла проводят его термообработку в паро-водородной среде с избыточным давлением водорода 380-390 кгс/см<sup>2</sup> в течение 0,5 ч при температуре 300-350 °С, а в качестве тугоплавкого металла используют Zr с примесью Ni 0,8-0,85 мас. %.

(56)

RU 2045114 C1, 1995.

SU 1785382 A1, 1990.

SU 171515 A1, 1996.

RU 2070351 C1, 1996.

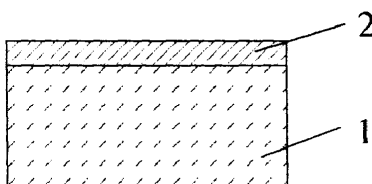
EP 0533568 A1, 1993.

EP 0534811 A2, 1993.

EP 0534854 A2, 1993.

EP 0546959 A2, 1993.

US 5510324 A, 1996.



Фиг. 1

# BY 5926 C1

Изобретение относится к области сверхпроводниковой микроэлектроники и может быть использовано для изготовления тонкопленочных сверхпроводниковых структур.

Известен способ создания конфигурации тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников, включающий осаждение поверх подложки слоя диоксида циркония и дополнительного диэлектрического слоя, осаждение слоя тугоплавкого металла из ряда Nb, Ta, V, осаждение слоя алюминия, формирование фоторезистивной маски, последовательное травление участков алюминия, тугоплавкого металла, удаление фоторезиста, плазмохимическое травление дополнительного диэлектрического слоя, осаждение тонкого слоя буферного покрытия, удаление слоя алюминия, осаждение пленки высокотемпературного сверхпроводника до заполнения канавки в дополнительном диэлектрическом слое, проведение высокотемпературного отжига в атмосфере кислорода, в процессе которого окисляется тугоплавкий металл, а затем производится удаление его оксида струей сжатого осушенного воздуха (А.с. № 1785382, кл. Н 01L 39/22, 1991).

Основным недостатком способа является малая степень интеграции формируемого сверхпроводника за счет боковой диффузии слоя тугоплавкого металла в слой ВТСП (1,2-2 мкм).

Известен способ создания конфигурации тонких пленок ВТСП, включающий осаждение на монокристаллическую подложку слоя тугоплавкого металла из ряда Ta, Nb, V толщиной 0,2-0,4 мкм, формирование фоторезистивной маски, травление открытых участков тугоплавкого металла, удаление фоторезиста, осаждение тонкой пленки ВТСП, высокотемпературный отжиг в атмосфере кислорода, в процессе которого окисляют слой тугоплавкого металла, а затем удаляют его струей осушенного воздуха (Известия Белорусской инженерной академии. Специальный выпуск журнала. - 1996. - № 1(1). - С. 186-189). Недостатком способа является узкий диапазон используемых подложек, ограниченный требованиями использования подложек, не взаимодействующих с материалом ВТСП-пленки при высоких температурах (600 °С и более). Это, как правило, монокристаллические подложки из SrTiO<sub>3</sub>, MgO, YSZ. Существуют проблемы в изготовлении подложек из этик материалов Ø 75 мм. Материалы, из которых они изготовлены, являются дорогостоящими и редкими. Все это обуславливает их не технологичность (сложность совмещения с современными технологическими процессами). Также при проведении высокотемпературного отжига пленка тугоплавкого металла, увеличиваясь в объеме, взаимодействует с ВТСП-пленкой. В результате, во-первых, из-за давления окисляющейся пленки тугоплавкого металла на пленку ВТСП происходит определенное нарушение структуры края тонкой пленки ВТСП, во-вторых, происходит загрязнение граничного слоя материала ВТСП в результате диффузии тугоплавкого металла. Это приводит к ограничению размера получаемых структур и к ухудшению сверхпроводящих свойств.

Наиболее близким по техническому осуществлению к предлагаемому способу является способ создания конфигурации тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников. На подложку наносят слой тугоплавкого металла, слой алюминия, формируют фоторезистивную маску, травят открытые участки алюминия, тугоплавкого металла и материала подложки, удаляют фоторезист, осаждают тонкий слой буферного покрытия, удаляют слой алюминия, осаждают тонкую пленку высокотемпературного сверхпроводника, проводят высокотемпературный отжиг в атмосфере кислорода, в процессе которого окисляют слой тугоплавкого металла, а затем удаляют его струей сжатого осушенного воздуха. После осаждения слоя тугоплавкого металла проводят его термообработку в среде водорода в течение 0,5-1,0 ч при 300-400 °С, а также то, что в качестве тугоплавкого металла используют чистый цирконий (RU 2045114, МПК Н 01L 39/22, 1995 (прототип)).

Недостатком данного метода является то, что более низкие температуры и меньшее время отжига не обеспечивают необходимой воспроизводимости процесса. Более высокие температуры не желательны при изготовлении интегральных схем с высокой степенью интеграции. При формировании структур с высокой степенью интеграции могут возник-

# ВУ 5926 С1

кать проблемы, связанные с удалением окислов тугоплавкого металла. В результате накладываются ограничения на минимальные размеры областей, что приводит к снижению разрешающей способности известного способа.

Задачей настоящего изобретения является повышение степени интеграции микросхем, а также качества конфигурации тонких пленок высокотемпературного сверхпроводника при уменьшении размеров создаваемых объектов.

Для этого на подложку наносят слой тугоплавкого металла, слой алюминия, формируют фоторезистивную маску, травят открытые участки алюминия, тугоплавкого металла и материала подложки, удаляют фоторезист, осаждают тонкий слой буферного покрытия, удаляют слой алюминия, осаждают тонкую пленку высокотемпературного сверхпроводника, проводят высокотемпературный отжиг в атмосфере кислорода, в процессе которого окисляют слой тугоплавкого металла, а затем удаляют его струей сжатого осушенного воздуха.

Новым в предложенном способе по сравнению с прототипом является то, что после осаждения слоя тугоплавкого металла проводят его термообработку в паро-водородной среде в воде с очень высоким избыточным давлением ( $380-390 \text{ кг силы/см}^2$ ) водорода в течение 0,5 ч при ( $300-350 \text{ }^\circ\text{C}$ ), а также то, что в качестве тугоплавкого металла используется Zr с примесью Ni (0,8-0,85 % вес.).

Сущность данного изобретения заключается в том, что термообработка в паро-водородной среде приводит к образованию гидридов тугоплавкого металла, изменению структуры пленки и нарушению целостности слоя. Это способствует более полному удалению окисленного слоя тугоплавкого металла и дает возможность формировать структуры с меньшими размерами топологических элементов.

Таким образом, предложенный способ создания конфигурации тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников позволяет устранить недостатки, присущие прототипу, и повысить разрешающую способность.

На фиг. 1-6 представлена последовательность создания конфигурации тонких пленок ВТСП.

На очищенную подложку 1 (фиг. 1) осаждают слой 2 тугоплавкого металла (фиг. 1), проводят термообработку слоя тугоплавкого металла в паро-водородной среде - слой 2а, осаждают слой 3-алюминия, формируют фоторезистивную маску 4 (фиг. 2), травят последовательно открытые участки 3-алюминия, слой 2а тугоплавкого металла и подложки 1 (фиг. 3), удаляют фоторезист, осаждают тонкий слой 5 буферного покрытия (фиг. 4), удаляют слой 3-алюминия (фиг. 5), осаждают пленку ВТСП до заполнения канавки 6 в подложке (фиг. 6), проводят высокотемпературный отжиг в атмосфере кислорода, в процессе которого окисляется тугоплавкий металл, и обдувают струей осушенного воздуха.

В результате проведения перечисленных операций формируется рельеф ВТСП 6 (фиг. 6) в виде планаризованных локальных участков, защищенных от взаимодействия с подложкой тонким слоем 5 буферного покрытия (фиг. 6), причем предварительное нарушение целостности слоя тугоплавкого металла за счет отжига в водородной среде позволяет использовать технологию с меньшими размерами элементов, т.е. повысить разрешающую способность.

## **Примеры реализации.**

1. На предварительно очищенную кремниевую подложку КЭФ-4,5 на установке ионно-плазменного распыления УРМ. 3.279.050 осаждали пленку циркония с никелем (0,8-0,85 % вес.) толщиной 0,05 мкм, проводили термообработку в паро-водородной среде в течение 45 мин при  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , затем осаждали слой алюминия толщиной 0,5 мкм. На пленке алюминия формировали фоторезистивную маску. С помощью стандартных приемов вскрывали окна в слое алюминия (травление в растворе  $\text{H}_3\text{PO}_4$ )<sub>4</sub>, в слое Zr(Ni) (плазмохимическое травление) и проводили травление подложки на глубину 0,4 мкм плазмохимическим методом, после чего удаляли фоторезист. Затем методом центрифугирования с

# BY 5926 C1

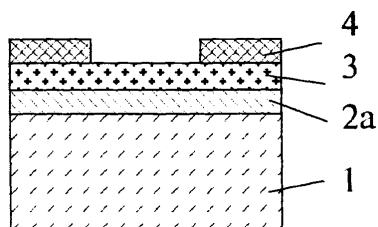
последующим отжигом наносили пленку буферного покрытия  $ZrO_2$  толщиной 0,1 мкм. После чего проводили удаление слоя алюминия вместе с лежащим на нем слоем  $ZrO_2$  в растворе ортофосфорной кислоты, при этом дно и стенки канавки оказывались защищенными буферным слоем  $ZrO_2$ . Затем методом импульсного лазерного испарения осаждали пленку ВТСП ( $Y_1Ba_2Cu_3O_x$ ) толщиной 0,3 мкм на подложку, нагретую до 350 °С. Полученную структуру подвергали отжигу в термодиффузионной печи типа СДО 125/4 при 800 °С в среде кислорода в течение 2 ч. Сжатым осушенным воздухом проводили обдув структуры. При этом разрушенные в результате окисления участки циркония с никелем удалялись вместе с лежащими на них участками  $Y_1Ba_2Cu_3O_x$ . Контроль внешнего вида проведенный под микроскопом ММУ-3 при увеличении 250<sup>x</sup> показал, что произошло полное отделение оксида циркония с пленкой ВТСП на тестовых структурах с размерами элементов менее 8 мкм, в то время как для тестовых образцов, изготовленных по известному способу, при таких размерах могли наблюдаться остатки тугоплавкого металла.

2. На предварительно очищенную поликоровую подложку на установке магнетронного распыления осаждали пленку циркония с никелем толщиной 0,15 мкм, проводили термообработку в паро-водородной среде в течение 30 мин при 330 °С, затем осаждали слой алюминия толщиной 0,6 мкм. На пленке алюминия формировали фоторезистивную маску. С помощью стандартных приемов вскрывали окна в слое алюминия (травление в растворе  $H_3PO_4$ )<sub>4</sub>, в слое  $Zr(Ni)$  (плазмохимическое травление) и проводили травление подложки на глубину 0,5 мкм плазмохимическим методом, после чего удаляли фоторезист. Затем на установке ионно-плазменного распыления осаждали пленку буферного покрытия ( $MgO$ ) толщиной 0,2 мкм, после чего проводили удаление слоя алюминия вместе с лежащим на нем слоем  $MgO$  в щелочном травителе на основе  $KOH$ . Затем методом импульсного лазерного испарения осаждали пленку ВТСП ( $Y_1Ba_2Cu_3O_x$ ) толщиной 0,3 мкм на подложку, нагретую до 400 °С. Полученную структуру подвергали отжигу в термодиффузионной печи типа СДО 125/4 при 850 °С в среде кислорода в течение 1,5 ч. Сжатым осушенным воздухом проводили обдув структуры. При этом разрушенные в результате окисления участки циркония с никелем удалялись вместе с лежащими на них участками  $Y_1Ba_2Cu_3O_x$ . Контроль внешнего вида, проведенный под микроскопом ММУ-3 при увеличении 250<sup>x</sup>, показал, что произошло полное отделение оксида циркония с пленкой ВТСП на тестовых структурах с размерами элементов менее 8 мкм, в то время как для тестовых образцов, изготовленных по известному способу, при таких размерах наблюдались остатки тугоплавкого металла.

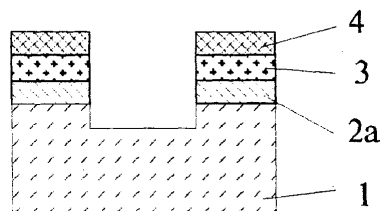
3. На предварительно очищенную подложку из плавленного кварца С-5-1 на установке электронно-лучевого распыления УВЛН-10 осаждали пленку циркония с никелем толщиной 0,1 мкм, проводили термообработку в паро-водородной среде в течение 20 мин при 330 °С, затем осаждали слой алюминия толщиной 0,8 мкм. На пленке алюминия формировали фоторезистивную маску. С помощью стандартных приемов вскрывали окна в слое алюминия (травление в растворе  $H_3PO_4$ )<sub>4</sub>, в слое  $Zr(Ni)$  (плазмохимическое травление) и проводили травление  $SiO_2$  и  $Si$  на глубину 0,6 мкм плазмохимическим методом, после чего удаляли фоторезист. Затем на установке ионно-плазменного распыления осаждали пленку  $ZrO_2$  мкм буферного покрытия толщиной 0,2 мкм, после чего проводили удаление слоя алюминия вместе с лежащим на нем слоем  $ZrO_2$  в растворе фосфорной кислоты. Затем методом импульсного лазерного испарения осаждали пленку ВТСП ( $Y_1Ba_2Cu_3O_x$ ) толщиной 0,3 мкм на подложку, нагретую до 350 °С. Полученную структуру подвергали отжигу в термодиффузионной печи типа СДО 125/4 при 850 °С в среде кислорода в течение 1,5 ч. По окончании отжига струей сжатого осушенного воздуха проводили обдув структуры. При этом разрушенные в результате окисления участки циркония с никелем удалялись вместе с лежащими на них участками  $Y_1Ba_2Cu_3O_x$ . Контроль внешнего вида, проведенный под микроскопом ММУ-3 при увеличении 250<sup>x</sup>, показал, что в структурах, изготовленных по предложенному способу, произошло полное отделение циркония с ни-

# BY 5926 C1

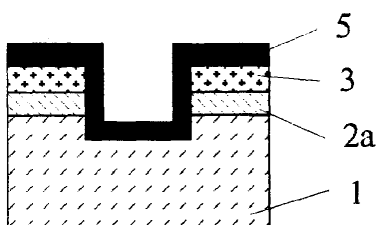
келем с пленкой ВТСП на тестовых структурах с размерами элементов менее 8 мкм, в то время как для тестовых образцов, изготовленных по известному способу, при таких размерах наблюдались остатки тугоплавкого металла, что свидетельствует о повышении надежности и точности метода.



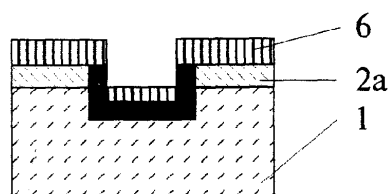
Фиг. 2



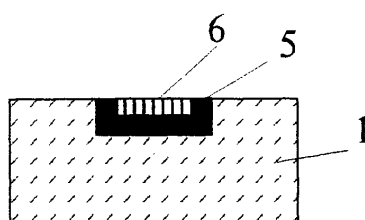
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

1- подложка, 2 -  $Zr(Ni - 0.8-0.85\% \text{ вес.})$ , 2a - обработанный в пароводородной смеси слой 2, 3 - слой Al, 4 - фоторезист, 5 - буферное покрытие, 6 - пленка ВТСП