

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **15861**

(13) **С1**

(46) **2012.06.30**

(51) МПК

**H 01G 4/33** (2006.01)

**C 25D 11/12** (2006.01)

(54)

**СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО  
КОНДЕНСАТОРА**

(21) Номер заявки: а 20091562

(22) 2009.11.04

(43) 2011.06.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(72) Авторы: Мозалев Александр Михайлович; Плиговка Андрей Николаевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(56) SURGANOV V. IEEE Transactions on components, packaging and manufacturing technology - part b: advanced packaging. - 1994. - V. 17. - No. 2. - P. 197-200.

RU 2367046 C1, 2009.

SU 879664, 1981.

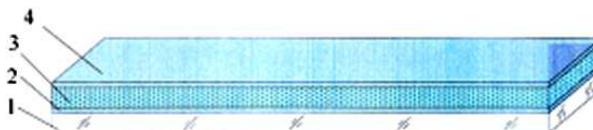
SU 271654, 1970.

GB 1204006, 1970.

МОЗАЛЕВ А.М. и др. Вторая Всероссийская конференция по наноматериалам "НАНО 2007". - Новосибирск, 2007. - С. 66.

(57)

1. Способ изготовления тонкопленочного конденсатора, заключающийся в том, что на диэлектрическую подложку последовательно наносят токоподводящую пленку тантала, первый слой алюминия и вспомогательную пленку тантала, из которой посредством фотолитографии и травления формируют маску по рисунку нижней обкладки, наносят второй слой алюминия и защитную пленку тантала, из которой посредством фотолитографии и травления формируют маску по рисунку переходного контактного столбика к нижней обкладке, затем в непрерывном цикле осуществляют пористое электрохимическое анодирование второго и первого слоев алюминия в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты при температуре 296,0 К и напряжении формовки 53,0 В, осуществляют реанодирование токоподводящей пленки тантала и маски из вспомогательной пленки тантала и их термическое доокисление, удаляют посредством травления окисленную часть маски из защитной пленки тантала, наносят третий слой алюминия, формируют маски из плотного оксида алюминия по рисунку верхней обкладки и контактной площадки к нижней обкладке посредством фотолитографии и плотного электрохимического анодирования поверхности третьего слоя алюминия, осуществляют пористое электрохимическое анодирование незащищенных участков третьего слоя алюминия, вскрывают контактные окна в масках из плотного оксида алюминия.



Фиг. 1

**ВУ 15861 С1 2012.06.30**

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что реанодирование токоподводящей пленки тантала и маски из вспомогательной пленки тантала осуществляют при анодном напряжении, изменяющемся с постоянной скоростью от 0 до величины, определяемой из выражения:

$$E = rh_{Al},$$

где  $E$  - напряжение реанодирования, В;

$r$  - размерный коэффициент,  $r = 1,18$  В/нм;

$h_{Al}$  - толщина второго слоя алюминия, равная 150-700 нм.

3. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что толщины токоподводящей, вспомогательной и защитной пленок тантала определяют в соответствии с выражениями:

$$h_{ТП} > h_{ВП} = 0,21h_{Al},$$

$$h_{ЗП} > 0,76h_{Al},$$

где  $h_{ТП}$  - толщина токоподводящей пленки тантала, нм;

$h_{ВП}$  - толщина вспомогательной пленки тантала, нм;

$h_{ЗП}$  - толщина защитной пленки тантала, нм.

Изобретение относится к электронной технике и может быть использовано для изготовления конденсаторов в интегральном и дискретном исполнении.

Известен способ создания тонкопленочного конденсатора (ТПК) [1], в соответствии с которым трехслойную систему металлов Al-Ti(2000 Å)-Ta наносят на диэлектрическую подложку методом катодного распыления. Рисунок соответствующей конфигурации получают фотолитографическим способом, затем проводят электрохимическое анодирование в 0,03 % водном растворе винной кислоты (рН = 5-6). После этого анодированные структуры подвергают термообработке при температуре  $473 \pm 10$  К в течение 5 часов, обрабатывают в 0,1 % растворе  $Mn(NO_2)$  в этиловом спирте при катодном включении в течение 1-10 минут при напряжении, равном половине напряжения формовки диэлектрика. Повторное анодирование проводят при анодном включении в водном растворе винной кислоты, после чего наносят второй электрод. Конденсаторы, формируемые описанным способом, имеют низкие пробивные напряжения и большие токи утечки вследствие ограничения по толщине и высокой дефектности диэлектрика. Они сложны и трудоемки в изготовлении.

Известен другой способ изготовления ТПК [2]. На диэлектрическую подложку, например ситалловую, вакуумным термическим испарением при давлении  $2,66 \cdot 10^{-4}$  Па и температуре подложки 523 К со скоростью 0,2 мкм/с наносят нижнюю алюминиевую обкладку ТПК толщиной, например, 0,5 мкм. Конденсаторный диэлектрик из оксида алюминия (0,17-0,19 мкм) формируют анодированием алюминиевой обкладки, например, в 0,5 % растворе винной кислоты в смеси воды и этиленгликоля 1 : 1. После анодирования слой оксида алюминия обрабатывают излучением лазера с длиной волны 1,06 мкм в режиме свободной генерации с плотностью энергии  $(1,5-35) \cdot 10^4$  Дж/м<sup>2</sup>. На поверхность диэлектрика наносят алюминиевую обкладку. Такие ТПК также обладают малыми пробивными напряжениями из-за ограничения по толщине и низкого качества диэлектрика и имеют малую удельную емкость. За счет использования лазерной обработки трудоемкость и себестоимость их изготовления существенно возрастают, а надежность и выход годных изделий снижаются.

Наиболее близким по технической сущности к заявленному изобретению является способ изготовления ТПК с диэлектриком из пористого анодного оксида алюминия (АОА) [3]. Для осуществления способа на диэлектрическую подложку методом вакуумного напыления наносят первый слой алюминия и по рисунку нижней обкладки ТПК формируют маску из плотного оксида алюминия с помощью фотолитографии и плотного электрохимического анодирования. Затем проводят пористое электрохимическое анодирование не-

защищенного первого слоя алюминия в 0,4 М водном растворе органической (щавелевой, малоновой, винной) кислоты и с помощью фотолитографии и химического травления удаляют маску из плотного АОА, открывая поверхность нижней обкладки ТПК. Наносят второй слой алюминия и по рисунку переходного контактного столбика к нижней обкладке формируют маску из плотного АОА с помощью фотолитографии и плотного электрохимического анодирования. Проводят пористое электрохимическое анодирование незащищенного второго слоя алюминия в 0,4 М водном растворе органической (щавелевой, малоновой, винной) кислоты и с помощью фотолитографии и химического травления удаляют маску из плотного АОА, открывая поверхность переходного контактного столбика. Наносят третий слой алюминия и по рисунку верхней обкладки и контактной площадки к нижней обкладке формируют маски из плотного АОА с помощью фотолитографии и плотного электрохимического анодирования. Проводят пористое электрохимическое анодирование незащищенного третьего слоя алюминия в 0,4 М водном растворе органической (щавелевой, малоновой, винной) кислоты. Вскрывают контактные окна к верхней обкладке и контактной площадке к нижней обкладке с помощью фотолитографии и травления масок из плотного АОА.

Представленный способ обладает существенными недостатками. Выраженная пористая структура диэлектрика ведет к уменьшению удельной емкости, снижению пробивного напряжения и увеличению тока утечки в ТПК. Из-за специфической морфологии слоя пористого АОА на границе раздела оксид/металл, плохой контролируемости и неравномерности движения фронта роста оксида при пористом анодировании пленки алюминия осложняется формирование качественного конденсаторного диэлектрика и разделительной изоляции вокруг нижних обкладок ТПК, которые не содержали бы участков (частиц) металлического алюминия на границе раздела оксид/подложка, из-за прерывания токопровода к отдельным участкам алюминия, остающимся неокисленными по завершении процесса пористого анодирования. В результате остатки неокисленного алюминия на границе раздела с нижележащим слоем (подложкой или разделительной изоляцией в первом топологическом слое диэлектрика) могут образовывать цепочки сплошной проводимости, которые способствуют увеличению токов утечки и могут приводить к возникновению коротких замыканий между металлическими элементами конструкции ТПК, находящимися в одном или разных топологических слоях. Отмеченные недостатки приводят к ухудшению качества конденсаторного диэлектрика, межслойной и разделительной изоляции, ухудшают эксплуатационные характеристики и надежность ТПК в целом и в результате снижают выход годных изделий.

Задачей представленного изобретения является улучшение качества диэлектрика и эксплуатационных характеристик ТПК, повышение надежности и процента выхода годных за счет улучшения электрофизических свойств диэлектрика и снижения дефектности топологических слоев ТПК.

Поставленная задача решается тем, что на диэлектрическую подложку последовательно наносят токопроводящую пленку тантала, первый слой алюминия и вспомогательную пленку тантала, из которой посредством фотолитографии и травления формируют маску по рисунку нижней обкладки, наносят второй слой алюминия и защитную пленку тантала, из которой посредством фотолитографии и травления формируют маску по рисунку переходного контактного столбика к нижней обкладке, затем в непрерывном цикле осуществляют пористое электрохимическое анодирование второго и первого слоев алюминия в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты при температуре 296,0 К и напряжении формовки 53,0 В, осуществляют реанодирование токоподводящей пленки тантала и маски из вспомогательной пленки тантала и их термическое доокисление, удаляют посредством травления окисленную часть маски из защитной пленки тантала, наносят третий слой алюминия, формируют маски из плотного оксида алюминия по рисунку верхней обкладки и контактной площадки к нижней обкладке посредством фотолитографии и плотного

электрохимического анодирования поверхности третьего слоя алюминия, осуществляют пористое электрохимическое анодирование незащищенных участков третьего слоя алюминия, вскрывают контактные окна в масках из плотного оксида алюминия.

Реанодирование токоподводящей пленки тантала и маски из вспомогательной пленки тантала осуществляют при анодном напряжении, изменяющемся с постоянной скоростью от 0 до величины, определяемой по формуле:

$$E = r \cdot h_{Al}, \quad [1]$$

где  $E$  - напряжение реанодирования, В;

$r$  - размерный коэффициент,  $r = 1,18$  В/нм;

$h_{Al}$  - толщина второго слоя алюминия, равная 150-700 нм.

Толщины токоподводящей, вспомогательной и защитной пленок тантала определяют в соответствии с выражениями:

$$h_{ТП} > h_{ВП} = 0,21 \cdot h_{Al}, \quad [2]$$

$$h_{ЗП} > 0,76 \cdot h_{Al}, \quad [3]$$

где  $h_{ТП}$  - толщина токоподводящей пленки тантала, нм;

$h_{ВП}$  - толщина вспомогательной пленки тантала, нм;

$h_{Al}$  - толщина второго слоя алюминия, нм;

$h_{ЗП}$  - толщина защитной пленки тантала, нм.

На фиг. 1-7 представлены основные этапы изготовления ТПК.

На диэлектрическую подложку 1 последовательно наносят токоподводящую пленку тантала 2, первый слой алюминия 3 и вспомогательную пленку тантала 4 (фиг. 1). По рисунку нижней обкладки ТПК формируют маску 5 из вспомогательной пленки тантала 4 с помощью фотолитографии и травления, затем наносят второй слой алюминия 6 и защитную пленку тантала 7 (фиг. 2). По рисунку переходного контактного столбика к нижней обкладке формируют маску 8 с помощью фотолитографии и травления (фиг. 3). Затем в едином цикле проводят пористое электрохимическое анодирование обоих слоев алюминия, например, в водном растворе щавелевой кислоты, реанодирование токоподводящей пленки тантала 2 и маски 5 и их термическое доокисление, что в результате приводит к образованию мультиоксидной диэлектрической пленки 9 над нижней обкладкой 10 ТПК и разделительного изоляционного слоя из пористого АОА 11 вокруг нижней обкладки 10 (фиг. 4). Реанодирование проводят, например, в 1 % водном растворе лимонной кислоты при анодном напряжении, изменяющемся с постоянной скоростью от 0 до величины, определяемой по формуле 1. Токоподводящую, вспомогательную и защитную пленки тантала наносят с толщинами, определяемыми соотношениями 2 и 3. С поверхности переходного контактного столбика 13 удаляют окисленную часть защитной маски 12. Верхнюю обкладку ТПК формируют с помощью метода селективного плотного электрохимического анодирования, для чего наносят третий слой алюминия 14 и по рисунку верхней обкладки и контактной площадки к нижней обкладке формируют маски 15 из плотного АОА с помощью фотолитографии и плотного электрохимического анодирования (фиг. 5). Проводят пористое электрохимическое анодирование незащищенных участков третьего слоя алюминия 14 (фиг. 6), например, в водном растворе щавелевой кислоты. Затем вскрывают контактные окна 16 к верхней обкладке и контактной площадке к нижней обкладке с помощью фотолитографии и травления масок из плотного АОА (фиг. 7).

При формировании диэлектрика ТПК со встроенным контактным столбиком необходимо учитывать следующие особенности. После пористого анодирования второго 6 и первого 3 слоев алюминия и в результате реанодирования маски 5 из вспомогательной пленки тантала (фиг. 3) происходит сначала локальное (через поры АОА), а затем сплошное окисление тантала под слоем пористого АОА. В результате часть вспомогательной пленки тантала преобразуется в наноструктурную оксидную пленку, состоящую из двух частей: сплошного, равномерного слоя оксида тантала 17, расположенного под слоем пористого АОА, и наноразмерного столбикового оксида тантала 18, расположенного в порах АОА

(фиг. 7). Степень заполнения пор оксидом тантала зависит от напряжения реанодирования. Для формирования полностью беспористого планарного диэлектрика (в котором высота столбиков оксида тантала равна толщине слоя АОА) необходимо рассчитать величину напряжения реанодирования по формуле 1 и толщину напыляемой вспомогательной пленки тантала по формуле 2. Для предотвращения обрыва токоподвода к анодируемым участкам первого слоя алюминия величина  $h_{ТП}$  должна превышать величину  $h_{ВП}$ . Маска из защитной пленки тантала должна иметь толщину, которая полностью исключит возможность окисления защищаемой поверхности алюминия при пористом анодировании и реанодировании, что выражается формулой 3.

При проектировании ТПК с заданной удельной емкостью толщину второго слоя алюминия выбирают с учетом ограничений, указанных в формуле 1, и исходя из следующей зависимости:

$$h_{Al} = \frac{K}{C_{уд}} \cdot 10^4, \quad [4]$$

где  $h_{Al}$  - толщина второго слоя алюминия, нм;

$K$  - размерный коэффициент,  $K = 6,2$  пФ/мм;

$C_{уд}$  - требуемая удельная емкость конденсатора, пФ/мм<sup>2</sup>.

Были осуществлены три примера практической реализации предлагаемого способа и один пример реализации известного способа, в соответствии с которыми изготавливали тестовые ТПК с одинаковой топологией. На каждой подложке располагали по 20 ТПК с размером верхних обкладок 1 мм<sup>2</sup>. Во всех примерах реализации предлагаемого способа использовали различные подложки, варьировали толщину второго слоя алюминия и соответственно толщины токоподводящей, вспомогательной и защитной пленок тантала, связанные между собой формулой 1. В примере № 1 реализации заявленного способа и в примере реализации известного способа толщину второго слоя алюминия выбирали такими, чтобы толщины конденсаторных диэлектриков в обоих примерах получались одинаковыми, что позволяло проводить непосредственное сравнение функциональных характеристик ТПК, изготовленных по предлагаемому и известному способам. Для всех изготовленных ТПК измеряли емкость  $C$ , пробивное напряжение, ток утечки  $I_y$  и тангенс угла диэлектрических потерь  $tg\delta$ ; затем вычисляли диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$ , электрическую прочность конденсаторного диэлектрика  $E_{пр}$  и процент выхода годных ТПК. В таблице приводятся сравнительные результаты статистической обработки измерений и вычислений, произведенных для каждого примера реализации.

**Пример № 1** реализации предлагаемого способа.

Ситалловую подложку СТ 50-1 подвергали химической обработке в перекисно-аммиачном растворе с последующей промывкой в проточной дистиллированной воде и сушкой на центрифуге. На лицевую (полированную) сторону подложки наносили в едином вакуумном цикле методом магнетронного напыления токоподводящую пленку тантала толщиной 125 нм, первый слой алюминия толщиной 690 нм и вспомогательную пленку тантала толщиной 116 нм. По рисунку нижних обкладок ТПК формировали маску из позитивного фоторезиста ФП-383. Проводили плазмохимическое травление в SF<sub>6</sub>-плазме не защищенных фоторезистом участков вспомогательной пленки тантала. Проводили плазмохимическое удаление в кислородной плазме фоторезиста. В едином вакуумном цикле методом магнетронного напыления наносили второй слой алюминия толщиной 554 нм и защитную пленку тантала толщиной 421 нм. По рисунку переходных контактных столбиков к нижним обкладкам формировали маску из позитивного фоторезиста ФП-383. Проводили плазмохимическое травление в SF<sub>6</sub>-плазме не защищенных фоторезистом участков вспомогательной пленки тантала. Проводили плазмохимическое удаление фоторезиста в кислородной плазме. В непрерывном (едином) цикле проводили пористое электрохимическое анодирование второго и первого слоев алюминия в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты при температуре 296,0 К и напряжении формовки 53,0 В, затем проводили ре-

нодирование токоподводящей пленки тантала через поры в АОА и масок из вспомогательной пленки тантала в 1 % водном растворе лимонной кислоты при анодном напряжении, изменяющемся с постоянной скоростью от 0 до 653,6 В. Проводили промывку в дистиллированной воде и сушку на центрифуге. Проводили термообработку в среде влажного кислорода при температуре 723,0 К в течение 30 минут. Проводили плазмохимическое удаление в  $SF_6$ -плазме окисленной части защитной пленки тантала с поверхности переходных контактных столбиков. С помощью магнетронного напыления наносили третий слой алюминия толщиной 690 нм. Формировали маску из позитивного фоторезиста ФП-383, оставляя открытыми участки по рисунку верхних обкладок и контактных площадок к нижним обкладкам ТПК. Проводили плотное электрохимическое анодирование незащищенных участков третьего слоя алюминия в 1 % водном растворе лимонной кислоты, затем проводили плазмохимическое удаление фоторезиста в кислородной плазме. Проводили пористое электрохимическое анодирование не защищенных плотным АОА участков третьего слоя алюминия в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты. Проводили промывку в дистиллированной воде и сушку на центрифуге. Формировали маску из позитивного фоторезиста ФП-383, оставляя открытыми участки по рисунку контактных окон к верхним и нижним обкладкам. Проводили химическое травление не защищенных фоторезистом участков плотного АОА и плазмохимическое удаление фоторезиста в кислородной плазме. Проводили визуальный контроль качества и контроль функционирования ТПК.

### **Пример № 2** реализации предлагаемого способа.

На кремниевую подложку со слоем  $SiO_2$  наносили в едином вакуумном цикле методом магнетронного напыления токоподводящую пленку тантала толщиной 90 нм, первый слой алюминия толщиной 690 нм и вспомогательную пленку тантала толщиной 81 нм. По рисунку нижних обкладок ТПК формировали маску из позитивного фоторезиста ФП-383. Проводили плазмохимическое травление в  $SF_6$ -плазме не защищенных фоторезистом участков вспомогательной пленки тантала. Проводили плазмохимическое удаление в кислородной плазме фоторезиста. В едином вакуумном цикле методом магнетронного напыления наносили второй слой алюминия толщиной 388 нм и защитную пленку тантала толщиной 295 нм. По рисунку переходных контактных столбиков к нижним обкладкам формировали маску из позитивного фоторезиста ФП-383. Проводили плазмохимическое травление в  $SF_6$ -плазме не защищенных фоторезистом участков вспомогательной пленки тантала. Проводили плазмохимическое удаление фоторезиста в кислородной плазме. В непрерывном (едином) цикле проводили пористое электрохимическое анодирование второго и первого слоев алюминия в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты при температуре 296,0 К и напряжении формовки 53,0 В, затем проводили реанодирование токоподводящей пленки тантала через поры в АОА и маски из вспомогательной пленки тантала в 1 % водном растворе лимонной кислоты при анодном напряжении, изменяющемся с постоянной скоростью от 0 до 457,5 В. Все последующие операции изготовления ТПК проводили так же, как указано в примере реализации № 1.

**Пример № 3** реализации предлагаемого способа. Алюминиевую анодированную подложку грунтовали, полировали и подвергали ионной очистке. На лицевую (полированную) сторону подложки наносили методом магнетронного напыления в едином вакуумном цикле токоподводящую пленку тантала толщиной 55 нм, первый слой алюминия толщиной 690 нм и вспомогательную пленку тантала толщиной 47 нм. По рисунку нижних обкладок ТПК формировали маску из позитивного фоторезиста ФП-383. Проводили плазмохимическое травление в  $SF_6$ -плазме не защищенных фоторезистом участков вспомогательной пленки тантала. Проводили плазмохимическое удаление в кислородной плазме фоторезиста. В едином вакуумном цикле методом магнетронного напыления наносили второй слой алюминия толщиной 222 нм и защитную пленку тантала толщиной 168 нм. По рисунку переходных контактных столбиков к нижним обкладкам формировали маску из позитивного фоторезиста ФП-383. Проводили плазмохимическое травление в

SF<sub>6</sub>-плазме не защищенных фоторезистом участков вспомогательной пленки тантала. Проводили плазмохимическое удаление фоторезистивной маски в кислородной плазме. В непрерывном (едином) цикле проводили пористое электрохимическое анодирование второго и первого слоев алюминия в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты при температуре 296,0 К и напряжении формовки 53,0 В, затем проводили реанодирование токоподводящей пленки тантала через поры в АОА и маски из вспомогательной пленки тантала в 1 % водном растворе борной кислоты при анодном напряжении, изменяющемся с постоянной скоростью от 0 до 261,4 В. Все последующие операции изготовления ТПК проводили так же, как указано в примере реализации № 1.

## **Пример** реализации известного способа.

Ситалловую подложку СТ 50-1 подвергали химической обработке в перекисно-аммиачном растворе с последующей промывкой в проточной дистиллированной воде и сушкой на центрифуге. На лицевую (полированную) сторону подложки наносили методом магнетронного напыления первый слой алюминия толщиной 690 нм. Формировали маску из позитивного фоторезиста ФП-383, оставляя открытыми участки по рисунку нижних обкладок ТПК. Проводили электрохимическое анодирование в 1 % водном растворе лимонной кислоты для получения защитных масок из плотного АОА. Проводили плазмохимическое удаление фоторезиста в кислородной плазме. Проводили пористое электрохимическое анодирование первого слоя алюминия в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты. По рисунку участков алюминия, не защищенных масками из плотного АОА, формировали маску из позитивного фоторезиста ФП-383 и с помощью химического травления удаляли маски из плотного АОА. Проводили плазмохимическое удаление фоторезиста в кислородной плазме. Методом магнетронного напыления наносили второй слой алюминия толщиной 690 нм. Формировали маску из позитивного фоторезиста ФП-383, оставляя открытыми участки по рисунку переходных контактных столбиков. Проводили плотное электрохимическое анодирование в 1 % водном растворе лимонной кислоты. Проводили плазмохимическое удаление фоторезиста в кислородной плазме. Проводили пористое электрохимическое анодирование второго слоя алюминия в 0,4 М водном растворе щавелевой кислоты. По рисунку участков алюминия, не защищенных масками из плотного АОА, формировали маску из позитивного фоторезиста ФП-383 и с помощью химического травления удаляли маски из плотного АОА с поверхности переходных контактных столбиков. Напыление третьего слоя алюминия и все последующие операции изготовления ТПК проводили так же, как в трех предыдущих примерах реализации предлагаемого способа.

Результаты электронно-микроскопических наблюдений ТПК, изготовленных по известному способу, показали наличие на границе раздела АОА/подложка и на границе раздела первого и второго слоев пористого АОА участков (частиц) металлического алюминия, которые в ряде случаев образовывали цепочки сплошной проводимости и увеличивали дефектность конденсаторного диэлектрика и разделительной изоляции вокруг нижних обкладок, что могло стать причиной увеличения токов утечки и ухудшения электрической прочности диэлектрика ТПК. На поперечных сколах ТПК была отчетливо видна развитая пористость, неравномерность и плохая воспроизводимость толщины слоев диэлектрика, расположенных над нижними обкладками. Также имела место существенная непланарность в каждом топологическом слое конденсаторов из-за перепада высот пористый АОА/Al вследствие объемного роста пористого АОА и полного удаления масок из плотного оксида алюминия после анодирования каждого слоя алюминия. В ТПК, изготовленных по предлагаемому способу в соответствии с приведенными примерами реализации, перечисленных недостатков не обнаружено.

Из таблицы видно, что для ТПК, изготовленных по предлагаемому способу, диэлектрическая проницаемость конденсаторного диэлектрика не зависит от его толщины и оказывается в 1,7 раза больше; электрическая прочность - в 1,5 раза выше; токи утечки -

# ВУ 15861 С1 2012.06.30

примерно на два порядка меньше, диэлектрические потери - примерно на порядок меньше, а выход годных - в 1,6-1,8 раза выше по сравнению с ТПК, изготовленными по известному способу.

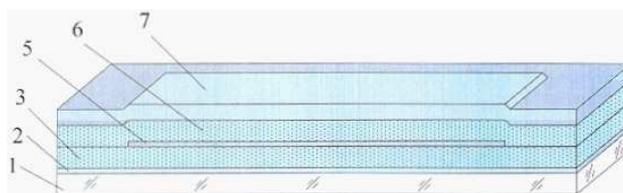
Результаты практической реализации показали, что предлагаемый способ позволяет получить высококачественный планарный полностью беспористый диэлектрик ТПК, состоящий из оксидов алюминия и тантала с периодической наноразмерной внутренней структуризацией. По сравнению с известным способом предлагаемый способ приводит к улучшению эксплуатационных характеристик ТПК: возрастанию удельной емкости вследствие увеличения  $\epsilon$  конденсаторного диэлектрика, повышению электрической прочности и уменьшению токов утечки. Применение токоподводящей пленки тантала приводит к выравниванию движения фронта роста пористого АОА, в результате чего становится возможным контролируемо и воспроизводимо формировать равномерный по толщине диэлектрик ТПК и разделительную изоляцию вокруг нижней обкладки и переходного контактного столбика, не содержащие участков (частиц) металлического алюминия благодаря наличию постоянного токоподвода ко всем не защищенным танталовыми масками участкам первого и второго слоев алюминия. Применение масок из вспомогательной и защитной пленок тантала, имеющих определенную толщину, приводит к улучшению планарности топологических слоев ТПК, что дополнительно уменьшает дефектность диэлектрика и топологических слоев ТПК, повышает надежность и выход годных изделий.

## Результаты статистической обработки измерений и вычислений параметров тестовых ТПК, изготовленных в соответствии с тремя примерами реализации предлагаемого способа и примера реализации известного способа

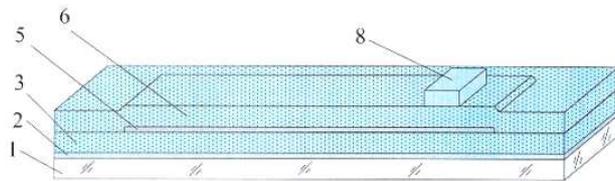
Способ реализации	Толщина диэлектрика ТПК, мкм	Определяемые параметры ТПК					
		С, пФ	$\epsilon$	$E_{пр}$ , МВ/см	$I_y \cdot 10^{11}$ , А, при напряженности поля 1,0 МВ/см	$tg\delta \cdot 10^3$	Выход годных, %
Известный	1,0	65	7,3	2,3	350	60	50
Заявляемый, пример № 1	1,0	112	12,6	3,5	3	5	80
Заявляемый, пример № 2	0,7	159	12,6	3,5	4	5	85
Заявляемый, пример № 3	0,4	279	12,6	3,5	4	4	90

Источники информации:

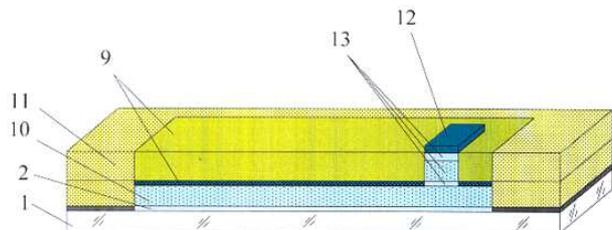
1. А.с. СССР 294191, МПК Н 01G 13/00, 1971.
2. А.с. СССР 1581097, МПК Н 01G 4/10, 1987.
3. Sarganov V. Planarized Thin Film Inductors and Capacitors for Hybrid Integrated Circuits Made of Aluminum and Anodic Alumina. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology. Part B. - Vol. 17. - No. 2. - P. 197-200. - 1994.



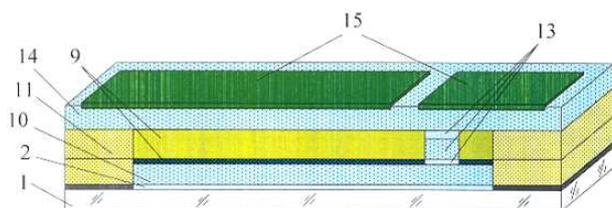
Фиг. 2



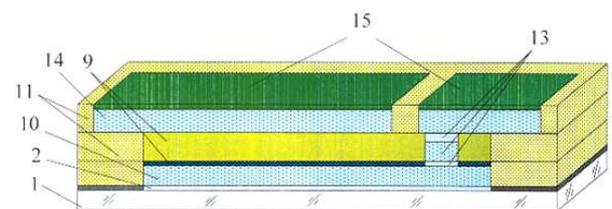
Фиг. 3



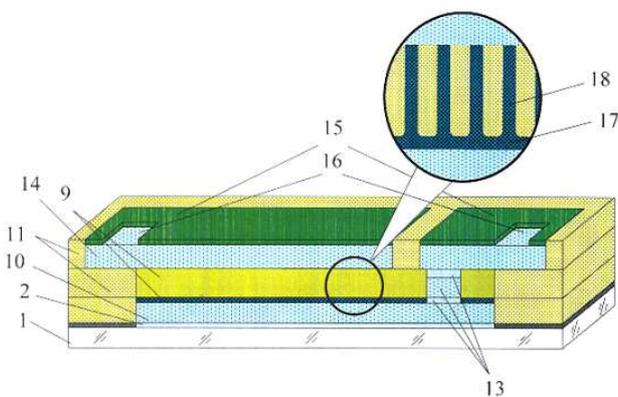
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7