

ИСКЛЮЧЕНИЕ ПОТЕМНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПЛОЩАДОК АЛЮМИНИЕВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ФОТОЛИТОГРАФИИ ПО ЗАЩИТНОМУ СЛОЮ ОКИСЛА

Абрамов С. А., Бухаров А. А., Великанов А. Н.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск

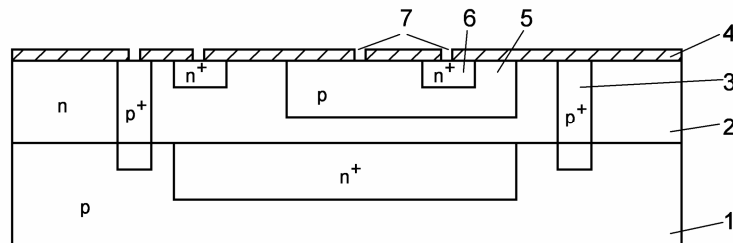
Аннотация. Рассмотрены возможные методы устранения потемнения контактных площадок алюминиевой металлизации при фотолитографии по защитному диэлектрическому слою с использованием жидкостного травителя с целью создания в этом слое окон над контактными площадками для присоединения коммутационных проводников к контактным площадкам кристаллов ИМС. Рассмотренные методы основаны на использовании специальных вариантов проведения процесса жидкостного травления подложек через фоторезистивную маску.

Ключевые слова: фотолитография, алюминиевая металлизация, защитный диэлектрический слой, травление слоя над контактными площадками, потемнение поверхности алюминия, устранение.

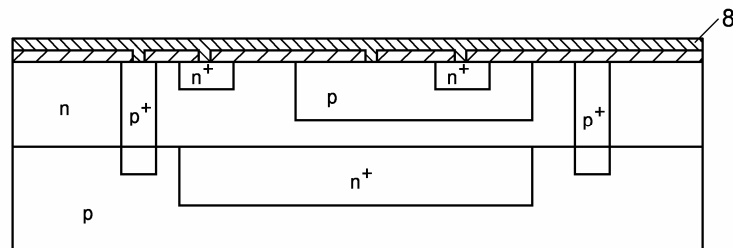
В настоящей работе рассмотрены основные теоретические проработки, которые были выполнены в процессе поиска решения обозначенной проблемы.

Как известно [1,2], для защиты алюминиевой металлизации кристаллов кремниевых ИМС, изготавливаемых по эпитаксиально–планарной технологии, используются слои диэлектрика, наносимые на поверхность структуры после создания требуемой топологии металлической разводки. В этих слоях методом фотолитографии вскрываются окна над контактными площадками для последующего присоединения проводников, соединяющих эти контактные площадки с внешними выводами корпусов приборов или интегральных микросхем.

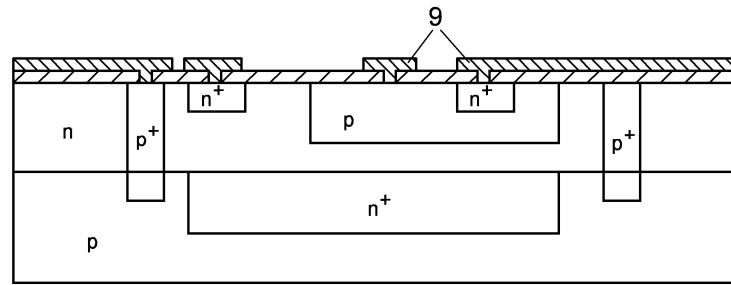
Таким образом, типовой технологический процесс изготовления полупроводниковых структур на своём завершающем этапе содержит следующую совокупность операций (рисунок 1).



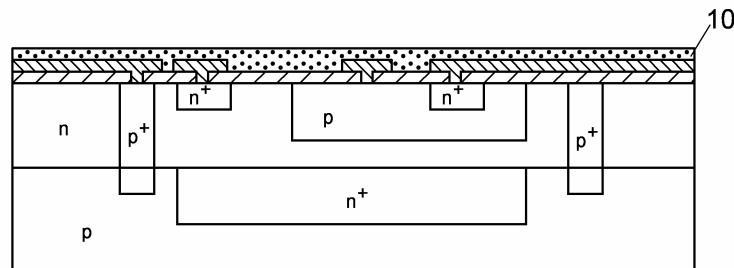
а – полупроводниковая структура со слоем окисла на поверхности, имеющим окна к функциональным областям кристалла для создания омических контактов к ним



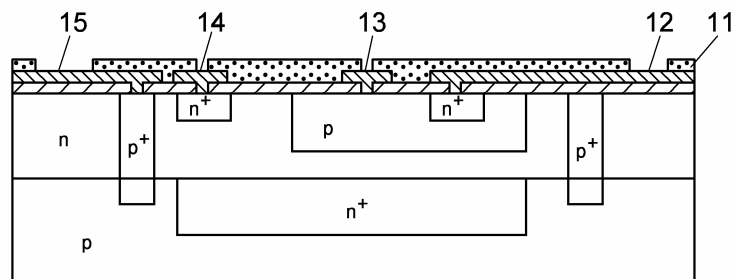
б – структура с напылённым сплошным слоем алюминия



в – структура после фотолитографии по алюминию



г – структура с защитным диэлектрическим слоем на поверхности



д – структура после фотолитографии по защитному диэлектрическому слою для вскрытия окон над контактными площадками металлизации

- 1- кремниевая подложка p- типа проводимости
- 2- эпитаксиальный слой n- типа проводимости
- 3- разделительные области p⁺ - типа проводимости
- 4- слой окисла кремния SiO₂
- 5- базовые области структуры p- типа проводимости
- 6- эмиттерные области структуры n⁺ - типа проводимости
- 7- контактные окна к функциональным областям структуры
- 8- сплошной слой напылённого алюминия
- 9- алюминиевая металлизация требуемой топологии
- 10- сплошной защитный диэлектрический слой SiO₂
- 11- участки защитного диэлектрического слоя, оставшиеся на поверхности структуры после фотолитографии для вскрытия контактных площадок к металлизации
- 12,13,14 –контактные площадки к функциональным областям структуры
- 15- контактная площадка к разделительной области структуры

Рисунок 1 – Схема технологического процесса изготовления кристаллов ИМС на этапе создания металлизации и защитного диэлектрического слоя, включая фотолитографию для вскрытия окон над контактными площадками металлизации

1 Нанесение на поверхность пластины с полупроводниковыми структурами (рисунок 1,а) методом напыления в вакууме сплошного слоя алюминия (рисунок 1,б).

2 Фотолитография по алюминию для создания требуемой топологии металлизации (рисунок 1,в).

3 Нанесение на поверхность пластины методом пиролиза моносилана сплошного диэлектрического слоя окисла SiO_2 (рисунок 1,г).

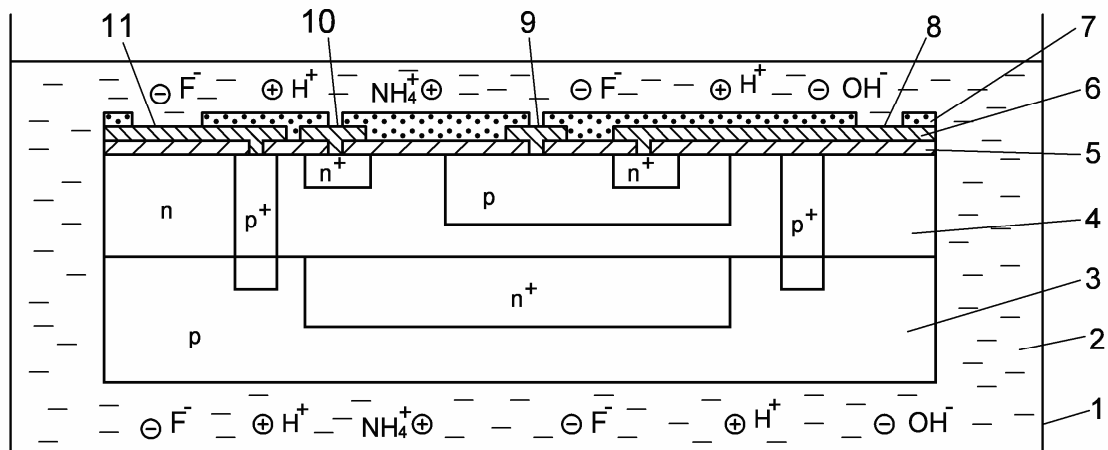
4 Фотолитография по защитному слою окисла для вскрытия окон над контактными площадками алюминиевой металлизации путём травления в буферном травителе, содержащем плавиковую кислоту HF , фтористый аммоний NH_4F и деионизованную воду H_2O (рисунок 1,д).

Как показала практика изготовления полупроводниковых структур, в ряде случаев после проведения фотолитографии по защитному слою окисла имеют место случаи ухудшения качества поверхности отдельных алюминиевых контактных площадок, выражающегося в том, что они приобретают тёмный цвет (на различных экземплярах по – разному: начиная от матово – белого и кончая угольно - чёрным), и на этих потемневших контактных площадках снижается прочность соединения проводников с алюминием - вне зависимости от материала этих проводников (золотая или алюминиевая проволока) и метода присоединения (термокомпрессионное соединение, ультразвуковая сварка, конденсаторная сварка).

Проведённый анализ структур с некачественными контактными площадками показал следующее.

1 Потемневшие контактные площадки могут появляться на различных типах кристаллов ИМС, имеющих различную топологию металлизации, различную топологию элементов структуры и различные их размеры.

2 В одной и той же партии одновременно обрабатываемых однотипных структур потемнение площадок может иметь место на отдельных экземплярах пластин, в то время как на других пластинах этой же партии, обрабатываемых в том же самом процессе фотолитографического травления, потемнение площадок будет отсутствовать.



- 1- ванна
- 2- травитель (электролит)
- 3- подложка p – типа проводимости
- 4- эпитаксиальный слой n – типа проводимости
- 5- окисел кремния
- 6- алюминий
- 7- защитный диэлектрик (SiO_2)
- 8,9,10- контактные площадки к функциональным областям кристалла (поверхность алюминия при травлении не темнеет)

11- контактная площадка к разделительной области p^+ - типа проводимости, соединённой с подложкой p – типа проводимости (поверхность алюминия при травлении темнеет)

Рисунок 2 – Система, возникающая при травлении защитного диэлектрического слоя над алюминиевой металлизацией в жидкостном буферном травителе на основе плавиковой кислоты HF, фтористого аммония NH_4F и деионизованной воды H_2O

Во всех обнаруженных случаях потемнение наблюдалось на контактных площадках кристаллов, выполняющих одно и то же функциональное назначение – все эти площадки были предназначены для присоединения отрицательного полюса источника питания («земля») - и соединялись с разделительными областями кристалла (рисунок 2).

При анализе системы, возникающей при жидкостном травлении защитного окисла над контактными площадками (рисунок 2), можно отметить следующее.

Используемый жидкостной травитель содержит плавиковую кислоту HF, буферирующий компонент NH_4F и деионизованную воду H_2O . При смешивании указанных компонентов образуется электролит, содержащий положительные и отрицательные ионы, а именно анионы F^- и OH^- и катионы H^+ и NH_4^+ , образовавшиеся от диссоциации соответствующих вышеназванных химических соединений.

При этом особенность системы такова, что в ней в непосредственном контакте с указанным электролитом находится подложка p – типа проводимости, являющаяся дырочной областью изолирующего $p - n$ -перехода, характеризующегося максимальной площадью из всех $p - n$ -переходов, присутствующих в полупроводниковой структуре. Остальные $p - n$ - переходы структур в контакт с электролитом не вступают.

Можно предположить, что в этих условиях потемнение алюминиевой контактной площадки, соединяющейся с разделительной областью p – типа проводимости, может быть связано с протеканием электрохимических процессов, обусловленных совокупным действием ионов, находящихся в травителе, и разности электрических потенциалов на областях изолирующего $p - n$ - перехода.

Если высказанные предположения верны, то, не вдаваясь в подробности протекающих процессов, в качестве мер по устранению потемнения алюминиевой контактной площадки, соединённой с разделительной областью структуры, можно предложить следующие:

- закорачивание изолирующего $p - n$ - перехода в процессе травления защитного слоя внешнем проводником;
- электрическая изоляция подложки p – типа проводимости от электролита в процессе травления.

Рассмотрим более подробно каждый из указанных вариантов.

1.1 Закорачивание изолирующего $p - n$ - перехода при травлении защитного слоя внешнем проводником

Закорачивание изолирующего $p - n$ - перехода при травлении защитного диэлектрического слоя внешнем проводником должно быть осуществлено для каждой полупроводниковой структуры, находящейся на пластине, подвергаемой травлению. В этом случае произойдёт выравнивание электрического потенциала для всех контактных площадок – потенциал станет нулевым даже в случае контакта подложки p – типа проводимости с электролитом.

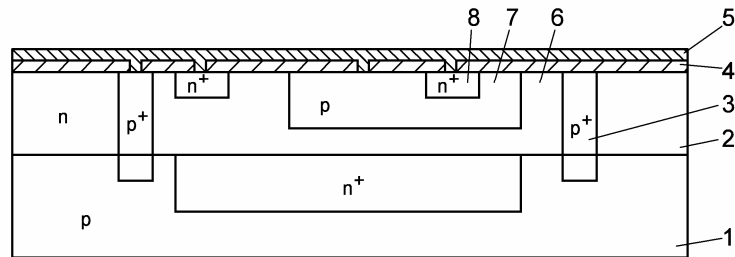
Для достижения указанной цели может быть использован следующий технологический процесс (рисунок 3).

1 Напыление на поверхность полупроводниковой структуры сплошного слоя алюминия (рисунок 3,а).

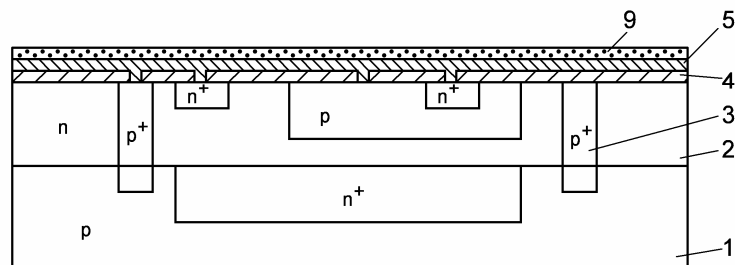
2 Нанесение на поверхность подложки со сплошным слоем алюминия сплошного защитного диэлектрического слоя (рисунок 3,б).

3 Фотолитография по защитному диэлектрическому слою для вскрытия окон над контактными площадками металлизации (рисунок 3,в).

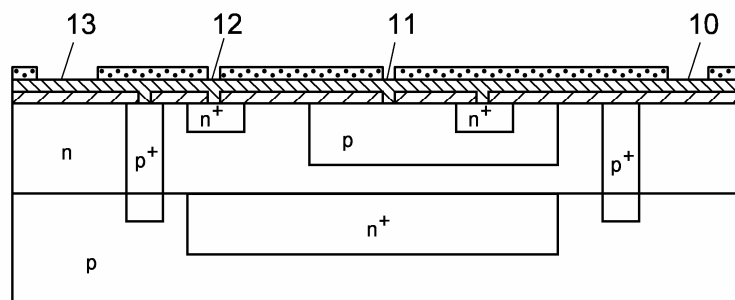
4 Фотолитография по защитному слою и алюминию с целью создания требуемой топологии металлизации (рисунок 3,г).



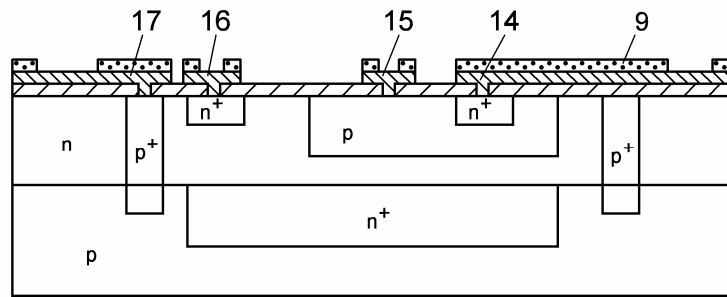
а – полупроводниковая структура со сплошным слоем алюминия на поверхности



б – нанесение сплошного защитного диэлектрического слоя



в – фотолитография для вскрытия окон под контактные площадки металлизации (все области полупроводниковой структуры соединены между собой сплошным проводящим слоем алюминия, нанесённым на поверхность структуры)



г – фотолитография по защитному диэлектрическому слою и алюминию для создания требуемой топологии металлизации

- 1- подложка (кремний p- типа проводимости)
- 2- эпитаксиальный слой (кремний n- типа проводимости)
- 3- разделительные области структуры p^+ - типа проводимости
- 4- слой оксида кремния
- 5- сплошной слой напылённого алюминия
- 6,7,8- функциональные области структуры
- 9- защитный диэлектрический слой
- 10,11,12,13- контактные площадки к областям структуры (все области закорочены между собой сплошным напылённым слоем алюминия)
- 14,15,16,17- элементы топологии металлизации защищённые слоем диэлектрика

Рисунок 3 – Схема технологического процесса изготовления кристаллов ИМС на этапе формирования металлизации и защитного слоя, позволяющая выравнять электрические потенциалы всех точек поверхности алюминия при травлении защитного слоя за счёт электрического соединения всех функциональных областей структуры сплошным слоем алюминия

Как следует из приведённого фрагмента схемы технологического процесса, при проведении травления окон в защитном диэлектрическом слое все функциональные области полупроводниковых структур электрически соединены между собой посредством сплошного слоя напылённого алюминия, а, следовательно, электрический потенциал области, соответствующей алюминиевой контактной площадке, соединённой с разделительной областью структуры, не будет отличаться от электрического потенциала остальных областей поверхности сплошного алюминиевого слоя, следовательно разность потенциалов между ними будет равна нулю. Тем самым должна будет устраниться причина, приводящая к протеканию электрохимических процессов, связанных с потемнением поверхности алюминиевых контактных площадок, соединённых с разделительными областями структуры.

1.2 Диэлектрическая изоляция кремниевой структуры от электролита – травителя

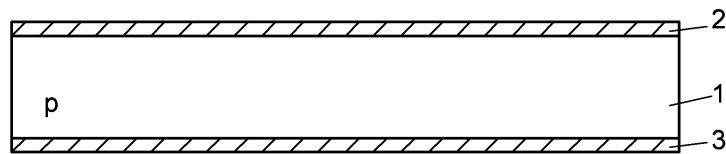
Как указывалось выше, одним из возможным методов исключения потемнения поверхности алюминиевых контактных площадок металлизации кристаллов при проведении фотолитографии для вскрытия окон над контактными площадками в слое защитного диэлектрика, может быть использована диэлектрическая химически стойкая изоляция полупроводниковой структуры, а именно, подложки p – типа проводимости, от жидкого травителя – электролита.

Для этой цели может быть использован один из известных технологических приёмов, широко применяющийся в полупроводниковой технологии при создании легированных областей n^+ - типа проводимости методом термической диффузии примеси (обычно мышьяка) в подложке p-типа проводимости перед наращиванием эпитаксиального слоя.

Указанные области n^+ - типа проводимости после наращивания эпитаксиального слоя используются в качестве низкоомных скрытых слоёв, применяющихся для уменьшения сопротивления тела коллектора транзисторных структур, формируемых в составе кристаллов ИМС.

Этот приём заключается в следующем.

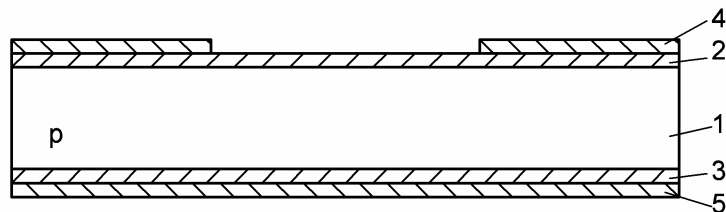
Для того, чтобы уменьшить автолегирование эпитаксиального слоя атомами примеси, испаряющимися с поверхности подложки в процессе эпитаксиального наращивания, перед проведением фотолитографии для вскрытия окон в слое окисла под легированные области n^+ - типа проводимости, обратную сторону подложки защищают слоем химически стойкого лака ХСЛ, так что при вытравливании окон в окисле на рабочей стороне пластины слой окисла на обратной стороне пластины сохраняется (рисунок 4). Это позволяет исключить легирование обратной стороны подложки при термической диффузии донорной примеси для создания областей n^+ - типа проводимости на рабочей её стороне, и тем самым уменьшить площадь испарения примеси при эпитаксии, снизив таким образом уровень автолегирования эпитаксиального слоя.



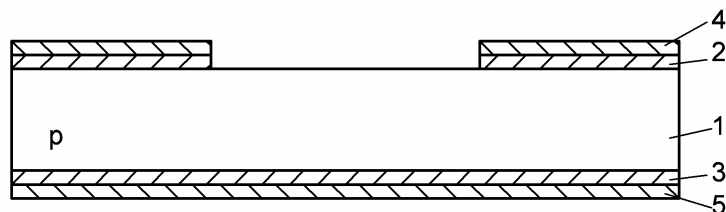
а – кремниевая пластина-подложка после термического окисления



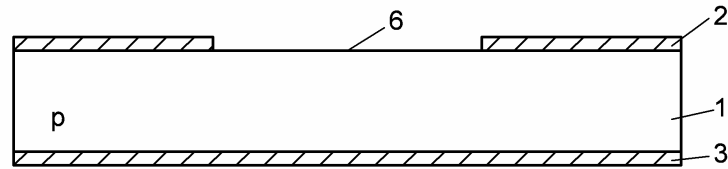
б – пластина с фоторезистивной маской на рабочей стороне



в – пластина с фоторезистивной маской на рабочей стороне и слоем химически стойкого лака ХСЛ на обратной стороне



г – пластина после травления окисла на рабочей стороне



д – пластина после удаления фоторезистивной маски и защитного слоя лака ХСЛ

- 1- пластина кремния (подложка)
- 2- слой окисла на рабочей стороне пластины
- 3- слой окисла на обратной стороне пластины
- 4- фоторезистивная маска на рабочей стороне пластины
- 5- слой лака ХСЛ на обратной стороне пластины
- 6- окно в слое окисла на рабочей стороне пластины

Рисунок 4 – Схема процесса фотолитографии, применяемого при формировании легированных областей n^+ - типа проводимости в подложках КЭСС методом термической диффузии мышьяка

Очевидно, что защита обратной стороны подложки слоем лака ХСЛ перед проведением травления окон в защитном слое диэлектрика позволит исключить омический контакт полупроводниковой подложки p -типа проводимости с электролитом, что устранил причину возникновения разности электрических потенциалов между различными алюминиевыми контактными площадками металлизации и в конечном итоге исключит потемнение алюминиевых контактных площадок.

Схема технологического процесса в этом случае может иметь два варианта.

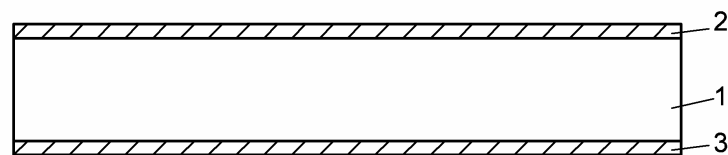
Первый вариант – комбинированная защита поверхности подложки слоем окисла кремния и слоем лака ХСЛ.

Второй вариант – одинарная защита поверхности подложки слоем лака ХСЛ.

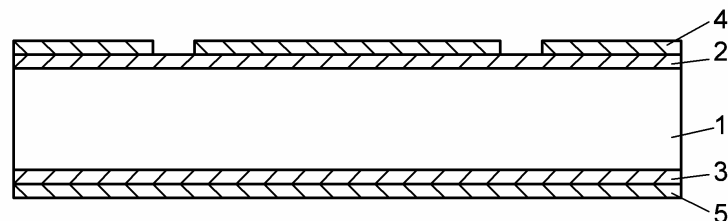
Рассмотрим оба этих варианта.

1.3 Комбинированная защита поверхности подложки слоем окисла кремния и слоем лака ХСЛ

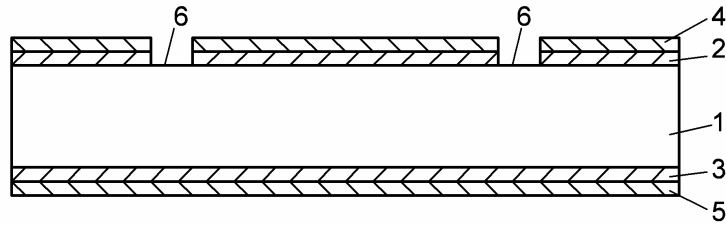
Схема технологического процесса в этом случае имеет следующий вид (рисунок 5).



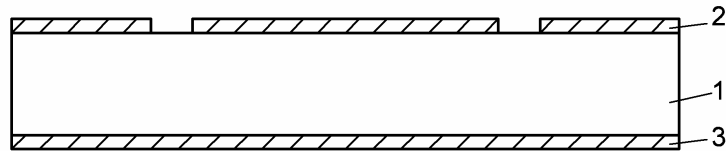
а – полупроводниковая структура после последней термической диффузии (например, после диффузии фосфора в область эмиттера n - p - n - транзистора) (отдельные элементы не показаны во избежание излишнего усложнения рисунка)



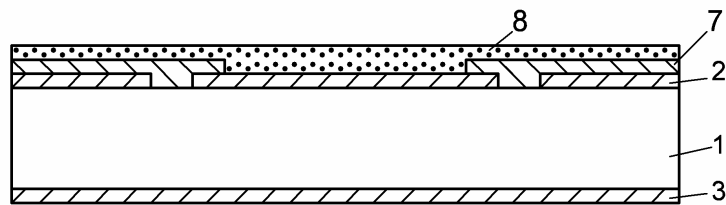
б – нанесение фоторезистивной маски на рабочую сторону структуры и защита обратной стороны слоем лака ХСЛ



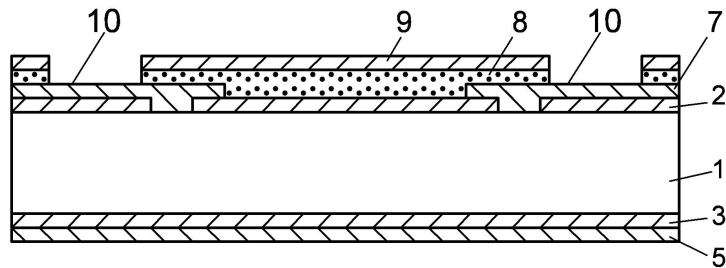
в – травление окисла через фоторезистивную маску для создания окон под омические контакты



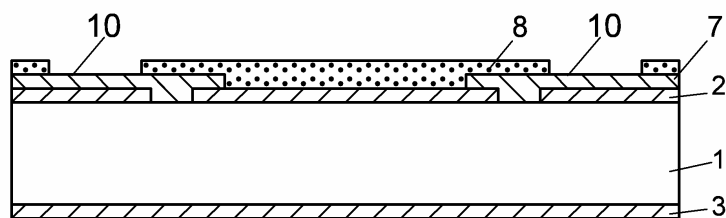
г – удаление фоторезистивной маски и защитного слоя лака ХСЛ



д – создание алюминиевой металлизации и нанесение сплошного защитного диэлектрического слоя на рабочую поверхность пластины



е – создание на рабочей поверхности пластины фоторезистивной маски и защита обратной стороны пластины слоем лака ХСЛ; травление защитного слоя через фоторезистивную маску для создания окон над контактными площадками металлизации



ж – удаление фоторезистивной маски и защитного слоя лака ХСЛ

- 1- полупроводниковая структура (отдельные элементы не показаны во избежание излишнего усложнения рисунка)
- 2- слой окисла на рабочей поверхности структуры
- 3- слой окисла на обратной стороне структуры, т.е. на поверхности подложки
- 4- фоторезистивная маска на рабочей поверхности пластины
- 5- слой лака ХСЛ на поверхности подложки
- 6- окна под омические контакты к функциональным областям структуры, полученные путём травления окисла через фоторезистивную маску
- 7- алюминиевая металлизация
- 8- защитный диэлектрический слой
- 9- фоторезистивная маска
- 10- окна в защитном диэлектрическом слое полученные путём травления этого слоя через фоторезистивную маску

Рисунок 5 – Схема технологического процесса травления подложки с её изоляцией от травителя с использованием комбинированного защитного слоя из окисла кремния и лака ХСЛ

1 Заключительная операция по формированию полупроводниковой структуры методом диффузии (например, диффузия фосфора в области эмиттеров $n-p-n$ - транзисторов) (рисунок 5,а).

2 Создание фоторезистивной маски на рабочей стороне пластины для вскрытия окон в слое окисла под омические контакты к областям полупроводниковой структуры и защита обратной стороны пластины слоем лака ХСЛ (рисунок 5,б).

3 Травление окон под омические контакты (рисунок 6,в).

4 Удаление фоторезистивной маски и защитного слоя лака ХСЛ (рисунок 5,г).

5 Создание топологии металлизации и нанесение защитного диэлектрического слоя на рабочую поверхность пластины (рисунок 5,д).

6 Создание фоторезистивной маски на рабочей стороне пластины вскрытия в защитном диэлектрическом слое окон над контактными площадками металлизации и защита обратной стороны пластины слоем лака ХСЛ с последующим травлением защитного слоя окисла через фоторезистивную маску (рисунок 5,е).

7 Удаление фоторезистивной маски и слоя лака ХСЛ (рисунок 5,ж).

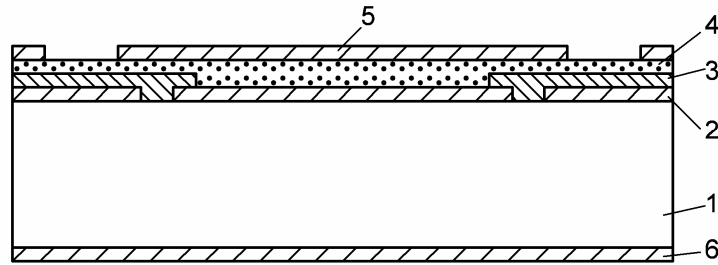
Рассмотренный вариант технологического процесса обеспечивает изоляцию подложки от контакта с жидким травителем – электролитом. В качестве изоляции здесь выступает комбинированный слой, состоящий из слоя термического окисла на поверхности подложки, оставшегося от последней термической обработки структур (как указывалось выше, это может быть, например, термическая диффузия фосфора в области эмиттеров $n-p-n$ - транзисторов), и слоя химически стойкого лака ХСЛ, нанесённого на подложку поверх слоя термического окисла.

1.4 Одинарная защита поверхности подложки слоем лака ХСЛ

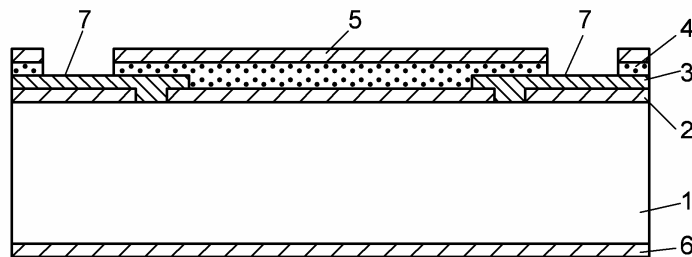
Для этого случая схема технологического процесса существенно упрощается. А именно, этот вариант процесса предполагает, что обратная сторона структуры, т.е. поверхность подложки, защищается слоем лака ХСЛ непосредственно перед проведением процесса травления через фоторезистивную маску окон в защитном диэлектрическом слое над контактными площадками металлизации (рисунок 6):

– создание на рабочей поверхности пластины с требуемым рисунком металлизации и сплошным защитным диэлектрическим слоем фоторезистивной маски для вскрытия в защитном слое окон над контактными площадками, а также защита поверхности подложки слоем лака ХСЛ (рисунок 6,а);

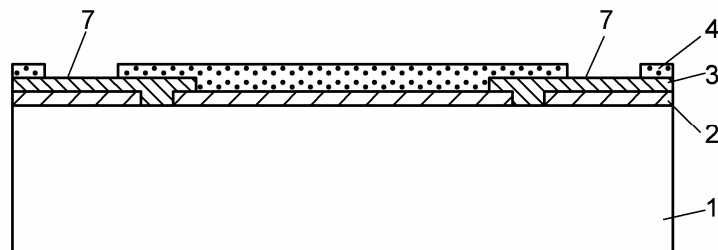
– травление окон в защитном диэлектрическом слое над контактными площадками (рисунок 6,б);



а – полупроводниковая структура с металлизацией и сплошным защитным диэлектрическим слоем, имеющая фоторезистивную маску на рабочей поверхности и защитный слой лака ХСЛ на обратной стороне пластины



б – травление защитного диэлектрического слоя через фоторезистивную маску



в – удаление фоторезистивной маски и защитного слоя лака ХСЛ с поверхностей пластины

- 1- полупроводниковая структура
- 2- слой окисла кремния
- 3- алюминиевая металлизация
- 4- защитный диэлектрический слой
- 5- фоторезистивная маска
- 6- защитный слой лака ХСЛ
- 7- окна в защитном диэлектрическом слое над контактными площадками

Рисунок 6 – Схема технологического процесса травления подложки с её изоляцией от травителя при использовании одинарного защитного слоя из лака ХСЛ

– удаление с поверхности пластины фоторезистивной маски и изолирующего слоя лака ХСЛ (рисунок 6,в).

Как следует из представленной схемы, технологический процесс с одинарной защитой поверхности подложки слоем лака ХСЛ существенно проще процесса с использованием комбинированной защиты слоями окисла и лака ХСЛ.

Окончательное заключение о предпочтительности практического применения каждого из рассмотренных вариантов технологических процессов может быть сделано после проведения соответствующих экспериментальных исследований.

Литература

1. Технология СБИС: в 2-х кн. Кн. 1/Под ред. С.Зи. Перевод с английского./Под редакцией Ю.Д.Чистякова – М.: Мир, 1986. – 404 с.
2. Курносов, А.И. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем: Учеб.пособие для ВУЗов./ А.И. Курносов, В.В. Юдин – 3-е изд., переработан. и доработан., – М.: Высшая школа., 1986. – 368 с..