



УДК 621.382

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКИСЛА КРЕМНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

**Фролов Александр Николаевич<sup>1</sup>, Крапивко Геннадий Иванович<sup>2</sup>, Марончук Александр Игоревич<sup>3</sup>, Самойлов Николай Александрович<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, Херсон, Украина

<sup>2</sup> Херсонская государственная морская академия, Херсон, Украина

<sup>3</sup> Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины, Херсон, Украина.

**Адрес для переписки:** Фролов Александр Николаевич, к. т. н., доцент

Место работы: Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, 73022, пр. Ушакова, 44, Херсон, Украина

Email: [frolov-52@i.ua](mailto:frolov-52@i.ua)

UDC 621.382

## THE USE OF POROUS ANODIC OXIDE OF SILICON IN THE PRODUCTION OF SEMICONDUCTOR DEVICES

**Frolov Alexander Nikolaevich<sup>1</sup>, Krapyvko Gennadii Ivanovych<sup>2</sup>, Maronchuk Alexander Igorevich<sup>3</sup>, Samoilo Nikolai Alexandrovich<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>The Kherson Branch of the National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov, Kherson, Ukraine

<sup>2</sup>Kherson state maritime academy, Kherson, Ukraine

<sup>3</sup>V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Kherson, Ukraine.

**Address for Correspondence:** Frolov Alexander Nikolaevich, Ph.D., Associate Professor

Institutional affiliation: The Kherson Branch of the National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov, 73022, Ushakov Avenue, 44, Kherson, Ukraine

Email: [frolov-52@i.ua](mailto:frolov-52@i.ua)

**Аннотация.** В статье приведены технологические процессы изготовления высоковольтных диодов, варикапов и диодов Шоттки с применением слоев пористого анодного окисла кремния. Показано, что особенности роста анодного окисла кремния при повышенном напряжении

позволяют значительно улучшить совокупность параметров и характеристик как приборов с р-п переходами, так и диодов Шоттки.

**Ключевые слова:** пористый анодный окисел кремния, варикап, диод Шоттки

**Введение.** Применение слоев окисла кремния в производстве полупроводниковых приборов и микросхем нашло широкое применение. Во-первых, слои окисла кремния обладают хорошими маскирующими свойствами при диффузии примесей, как n-типа, так и р-типа проводимости. Во-вторых, слои окисла кремния применяются и как защитные слои над выходом р-п переходов на планарную поверхность приборов. Известно несколько методов формирования слоев окисла кремния [1]:

- термическое окисление кремния;
- осаждение окисла кремния с помощью пиролиза силанов;
- окисление в тлеющем разряде;
- реактивное распыление кремния;
- осаждение окисла при помощи химических реакций переноса;
- анодное окисление в растворах электролита.

Каждый из них обладает рядом достоинств и недостатков.

Например, пиролиз силанов используется для получения толстых слоев окисла кремния (более 1 мкм) при низких температурах и применяется для создания промежуточных слоев изоляции на структурах с многоуровневой металлизацией. Однако этот метод критичен к конструкции держателей пластин и скорости газа-носителя, что приводит к большой неравномерности по толщине слоя окисла.

Наиболее качественные слои окисла кремния, с лучшими маскирующими и пассивирующими свойствами, получаются при термическом окислении. Но для ряда случаев этот метод неприменим из-за существенного изменения параметров диффузионных слоев при температурах термического окисления.

Анодное окисление позволяет получить тонкие, толщиной до 0,1 мкм слои окисла кремния, которые несколько хуже по свойствам, чем слои термического окисла кремния [2]. При увеличении плотности анодного тока путем повышения напряжения получают толстые слои пористого окисла кремния, которые не обладают ни маскирующими, ни пассивирующими свойствами, и, поэтому, к настоящему времени не находили применения в технологии производства полупроводниковых приборов и микросхем. Однако при рассмотрении свойств пористого анодного окисла кремния можно увидеть некоторые особенности, которые позволяют

использовать слои данного окисла для производства полупроводниковых приборов, что позволяет улучшить совокупность их параметров и характеристик.

**Материалы и методы.** Главное свойство, замеченное при проведении процесса анодного окисления кремния через окна, вскрытые в маскирующих слоях при помощи фотолитографии, заключается в том, что слои анодного окисла растут со строго вертикальными стенками. Эти слои растут как вниз от планарной поверхности, так и вверх над планарной поверхностью кремниевой пластины, примерно в таком же соотношении, как для термического окисла 0,52:0,48. [1].

Второе свойство пористого окисла кремния, полученного в процессе анодного окисления, заключается в пористости его структуры, что позволяет через такие слои проводить термическое окисление нижележащих слоев кремния или проводить диффузию примесей. Особенность такой диффузии в том, что этот процесс получается «мягче». При такой диффузии получается меньшее количество нарушений кристаллической решетки кремния, что приводит к уменьшению одной из составляющих обратного тока прибора. Слои пористого анодного окисла можно применять для производства разных полупроводниковых приборов с различными целями.

Общую оценку современных электронных приборов следует проводить по нескольким критериям:

- по себестоимости изготовления;
- по совокупности параметров и характеристик, таких как напряжение пробоя, обратные токи, предельная частота, которые, в свою очередь, влияют на выход годных и себестоимость;
- по влиянию технологии изготовления на окружающую среду.

Задачи, которые должны быть решены при разработке конструкции и технологии прибора, заключаются в том, что:

- для уменьшения себестоимости необходимо уменьшать число технологических операций, а выход годных увеличивать;
- такие параметры приборов, как напряжения пробоя и обратные токи должны быть близки к теоретическим, допускаемых величиной удельного сопротивления кремния и площадью р-п перехода.
- необходимо уменьшать применение сильнодействующих кислот, фреонов, термических операций и т.п. для уменьшения влияния на окружающую среду.

Применение технологии изготовления с использованием слоев анодного окисла кремния позволяет решить эти задачи, что показано в нижеприведенных примерах.

В качестве первого примера можно рассмотреть технологии изготовления и их влияние на параметры высоковольтных диодов.

В качестве второго примера можно рассмотреть технологии изготовления и их влияние на параметры высоковольтных варикапов.

В качестве третьего примера можно рассмотреть технологии изготовления и их влияние на параметры диодов Шоттки.

**Результаты исследования.** Наибольшее применение для изготовления р-п переходов на эпитаксиальной структуре п-п<sup>+</sup> - типа нашла планарная технология, которая включает 3 фотолитографии: под диффузию примеси р-типа (1-я), окна под контакт (2-я), фотолитография по алюминию (3-я). Типовая структура планарного р-п перехода показана на рисунке 1.

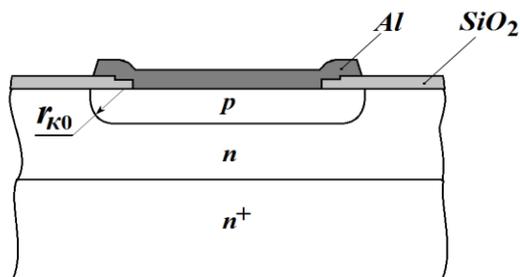


Рис. 1. Поперечный разрез структуры планарного р-п перехода

Однако и у планарной структуры есть недостаток в отношении возможного наилучшего сочетания параметров. Из-за кривизны фронта диффузионной области в периферийных зонах (т.е. в зоне выхода р-п перехода на поверхность) на кривизне получается повышенная напряженность электрического поля при работе р-п перехода под обратным смещением [1]. Поэтому критическая напряженность, приводящая к пробоя, появляется на кривизне р-п перехода при меньших напряжениях, чем в зоне плоской части р-п перехода. Величина напряжения лавинного пробоя планарного цилиндрического р-п перехода определяется выражением [1]:

$$U_{пр.ц} = U_{пр.пл} \cdot \frac{r_{к0}}{Z_{p-n}} \cdot \left( \sqrt{2 \cdot \frac{Z_{p-n}}{r_{к0}} + 1} - 1 \right); \quad (1)$$

а для сферического р-п перехода:

$$U_{np.cф.} = U_{np.пл.} \cdot \frac{r_{\kappa 0}}{Z_{p-n}} \cdot \left[ \sqrt[3]{3 \cdot \left( \frac{Z_{p-n}}{r_{\kappa 0}} \right)^2 + 1} - 1 \right]; \quad (2)$$

где: -  $U_{np.пл.}$  – напряжение пробоя плоской части p-n перехода;

-  $r_{\kappa 0}$  – радиус кривизны в периферийных зонах, примерно равный глубине залегания плоской части p-n перехода ( $x_j$ );

-  $Z_{p-n}$  – толщина ОПЗ при напряжении  $U_{np.пл.}$ , которая определяется выражением:

$$Z_{p-n} = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot (U_{np.пл.} + \varphi_K)}{e \cdot N_{p-n}}}; \quad (3)$$

где: -  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость кремния;

-  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;

-  $e$  – заряд электрона;

-  $N_{p-n}$  – концентрация примеси на p-n переходе.

Из выражений (1) и (2) вытекает, что, для повышения напряжения лавинного пробоя планарных приборов необходимо увеличивать радиус кривизны p-n переходов в периферийных областях. Для повышения напряжения лавинного пробоя p-n переходов применяются несколько методов.

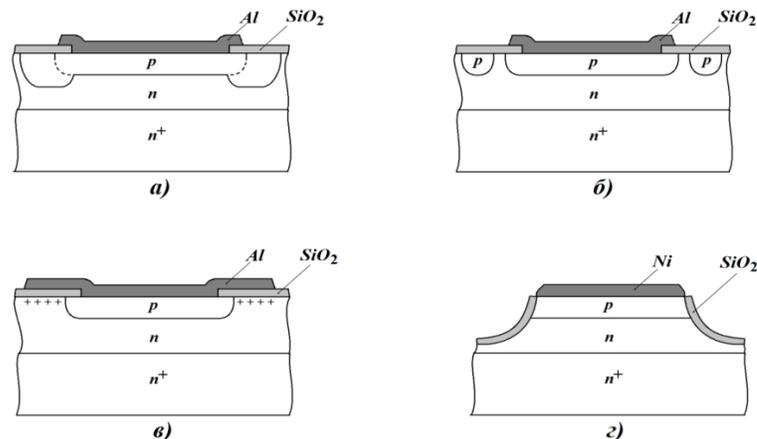


Рис. 2. Поперечный разрез структур с р-п переходами с повышенным напряжением лавинного пробоя:

- а) с охранным кольцом;
- б) с разделительными кольцами;
- в) с расширенным металлическим контактом;
- г) с меза-структурой.

Предложенные методы (кроме меза-структуры) относятся к планарной технологии изготовления приборов. Каждый из предложенных методов имеет как достоинства, так и недостатки.

Структура с охранным кольцом (рис. 2а) приводит к увеличению напряжения пробоя из-за увеличения радиуса кривизны р-п перехода в периферийных зонах. Чем больше глубина охранного кольца, тем выше напряжение пробоя, вплоть до теоретически возможного значения. Однако для изготовления такой структуры требуется дополнительная 4-я фотолитография и дополнительная диффузия, что увеличивает себестоимость. Кроме того, увеличение глубины кольца требует увеличения толщины базы диода, а это увеличивает последовательное сопротивление области n-типа проводимости, что уменьшает предельную частоту.

Структура с разделительными кольцами (рис. 2б) может содержать несколько колец и не требует дополнительной фотолитографии, но требует увеличения площади прибора. При смыкании областей пространственного заряда основной области р-п перехода с областями колец площадь р-п перехода увеличивается, что приводит к увеличению емкости, а это уменьшает предельную частоту. Кроме того, величина напряжения пробоя очень чувствительна как к величине растров окон под диффузию примесей при фотолитографии, так и к небольшому отклонению глубины областей р-типа проводимости.

Структура с расширенным металлическим контактом (рис. 2в) также не требует дополнительной фотолитографии, но приводит к увеличению емкости прибора за счет добавления емкости структуры металл-окисел-полупроводник, которая параллельна барьерной емкости р-п перехода, а это уменьшает предельную частоту.

Меза – структура (рис. 2г) позволяет получать почти плоский р-п переход при использовании только одной фотолитографии - что уменьшает количество технологических операций, и, тем самым должно приводить к уменьшению себестоимости изготовления прибора. Меза-структура изготавливается путем травления кремния. Так как на скорость травления влияет

большое число разных факторов (температура, давление, концентрация кислот, концентрация атомов примеси), то на разных партиях пластин получают большие отклонения площади р-п перехода (рис. 3).

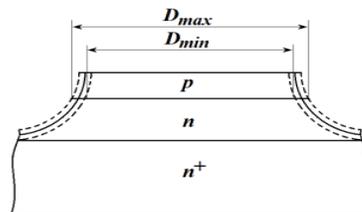


Рис. 3. Поперечный разрез меза-структуры

Это приводит к большому отклонению емкости р-п перехода от номинального значения. Например, для прибора KB114, изготавливаемого по меза-технологии емкость составляет величину  $68 \pm 14$  пФ [3], т.е. отклонения составляют более  $\pm 20\%$ , что приводит к разбросу и другим параметрам прибора.

Технология изготовления с применением слоев пористого анодного окисла кремния позволяет уменьшить разброс параметров [4]. Эта технология включает следующие основные операции (рис. 4)

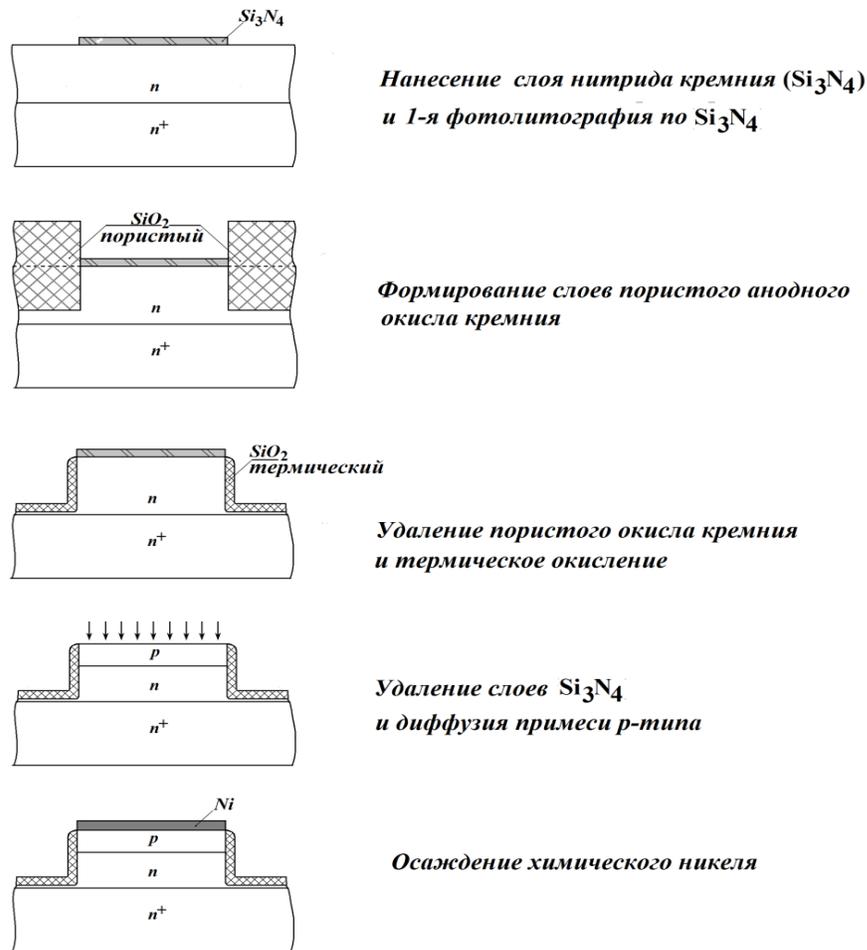


Рис.4. Основные этапы технологического процесса изготовления высоковольтного диода при применении слоев пористого анодного окисла кремния

В данной технологии используются два свойства, наблюдаемые при росте толстых слоев пористого анодного окисла кремния:

- 1 - пористый окисел растет как вверх, так и вниз от поверхности кремниевой пластины;
- 2 - слои пористого окисла растут со строго вертикальными стенками.

Как видно из полученной структуры, данная технология позволяет получать высокие напряжения лавинного пробоя, такие же, как и для меза-структуры. В технологии используется только одна операция фотолитографии, как и в меза-технологии, что уменьшает количество технологических операций, но в отличие от меза-технологии разброс параметров уменьшается, так как определяется только возможностями фотолитографии и не зависит от глубины получаемого пористого окисла кремния.

Кроме того, такая технология уменьшает влияние на окружающую среду, так как для создания меза-структуры используются растворы слабых кислот (лимонной, борной, и т.д.) вместо сильных кислот, таких как плавиковая и азотная.

Высоковольтные диоды с переменной емкостью, - варикапы, обычно изготавливают по таким же технологическим процессам, что и высоковольтные диоды, рассмотренные выше со структурами, приведенными на рисунке 2. Наиболее применимой с точки зрения решаемых задач, можно также считать технологию изготовления варикапа с меза-структурой. Такая технология позволяет всего при одной фотолитографии получить высоковольтный прибор, что уменьшает количество технологических операций и должно приводить к уменьшению себестоимости и позволяет получить величину напряжения пробоя, близкую к теоретически возможной. Но для создания верхнего металлического контакта к меза-структуре производится химическое осаждение никеля на открытую площадь над р-п переходом. Как известно, никель дает глубокие уровни в запрещенной зоне кремния: в половине запрещенной зоны, близкой к зоне проводимости – акцепторные уровни с энергией 0,35 эВ, а в другой половине акцепторные уровни с энергией 0,23 эВ [5, 6]. А это приводит к значительной величине обратных токов из-за процессов рекомбинации носителей заряда. На приборе KB114 именно из-за превышения уровня обратных токов процент выхода годных обычно не превышает 15-16%, так как по техническим условиям обратные токи не должны превышать величины 10 мкА [3] (справочник), но реально получаемые значения имеют большой разброс – от 0,5 мкА до 120 мкА.

Вариант с увеличением удельного сопротивления эпитаксиального слоя при данной технологии приводит к увеличению напряжения лавинного пробоя, но не дает уменьшения уровня обратных токов, так как они в данном случае определяются глубокими уровнями, создаваемыми никелем, а не концентрацией примеси в эпитаксиальном слое. По той же причине вариант технологии с применением геттерирования также не приводит к уменьшению обратных токов, так как геттерирование позволяет уменьшить уровни обратных токов, если они превышают теоретически достижимые не более, чем на полтора-два порядка.

В этом отношении интересен вариант, при котором предполагалось, что геттерирование происходит при дополнительной диффузии в р-п переход. Уровни обратных токов в среднем уменьшились 1,5-3 раза, но это объясняется тем, что при дополнительной диффузии увеличивается глубина р-п перехода, а согласно [7] скорость рекомбинации носителей заряда в полупроводниках обратно пропорциональна квадрату глубины р-п перехода, т.е. с увеличением глубины залегания р-п перехода, обратные токи уменьшаются.

Известно, что алюминий в качестве контакта не дает глубоких уровней в кремнии, что обуславливает его широкое применение для металлизации полупроводниковых приборов и микросхем. Однако, из-за того, что на меза-структуре с напыленным слоем алюминия плохо держится фоторезист, то очень трудно провести качественную фотолитографию. Кроме того, фотолитография по алюминию – это дополнительная фотолитография, что увеличивает себестоимость производства.

Технология с пористым анодным окислом кремния позволяет использовать достоинства меза-технологии не только по увеличению напряжения лавинного пробоя и по уменьшению числа технологических операций, но также позволяет создавать алюминиевый контакт вместо никелевого контакта. А это значительно уменьшает уровень обратных токов. В отличие от технологии, показанной на рисунке 4, слои пористого окисла не удаляются, а термическое окисление проводится через пористый окисел. Контакт создается напылением алюминия в вакуумных установках после удаления нитрида и диффузии примеси р-типа проводимости. В результате получается структура прибора, показанная на рисунке 5.

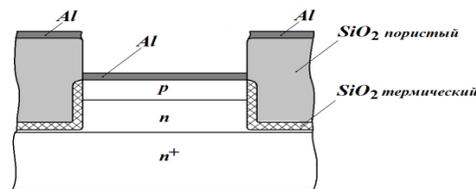


Рис. 5. Поперечный разрез структуры высоковольтного варикапа, изготовленного по технологии с применением слоев пористого анодного окисла кремния

При достаточной высоте слоев пористого анодного окисла кремния напыленный слой алюминия разрывается на вертикальных стенках. В результате получается отдельно контакт к р-n переходу и отдельно слой алюминия на поверхности пористого окисла кремния. При такой технологии, уровень обратных токов по сравнению с типовой меза-технологией изготовления приборов КВ114, уменьшается в  $10^3$ - $10^5$  раз. Кроме того, следует отметить, что, при случайной коротке, емкость прибора сильно не изменится, так как емкость дополнительной структуры металл - пористый окисел – полупроводник мала из-за большой толщины пористого окисла.

Таким образом, применение технологии с пористым анодным окислом кремния для изготовления высоковольтных варикапов позволяет при минимальном числе технологических

операций получать высокие напряжения лавинного пробоя, малые токи утечки, малый разброс параметров, что увеличивает применяемость и конкурентоспособность таких приборов.

Технологию с пористым анодным окислом кремния также можно применить и для изготовления диодов Шоттки. Для диодов Шоттки, как СВЧ приборов, главными параметрами является предельная частота, напряжение пробоя и показатель идеальности  $n$ , который должен быть близким к 1,0. Также немаловажную роль играет величина потенциального барьера контакта металл-полупроводник  $\phi_{мп}$ , которая зависит от применяемого металла контакта.

Как показано в [8] напряжение пробоя диода Шоттки должно совпадать с напряжением пробоя плоской части р-п перехода, но в типовой структуре, показанной на рисунке 6, напряжение пробоя существенно ниже, так как на периферии контакта радиус кривизны  $r_{ко}$  очень мал (несколько долей мкм), так как равен ширине запирающего слоя, аналогичного слою пространственного заряда для р-п перехода.

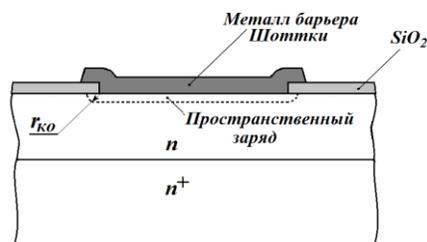


Рис. 6. Поперечный разрез планарной структуры диода Шоттки

Для увеличения напряжения пробоя диодов Шоттки предлагается несколько методов [5, 8]. Наиболее эффективные структуры диодов Шоттки приведены на рисунке 7.

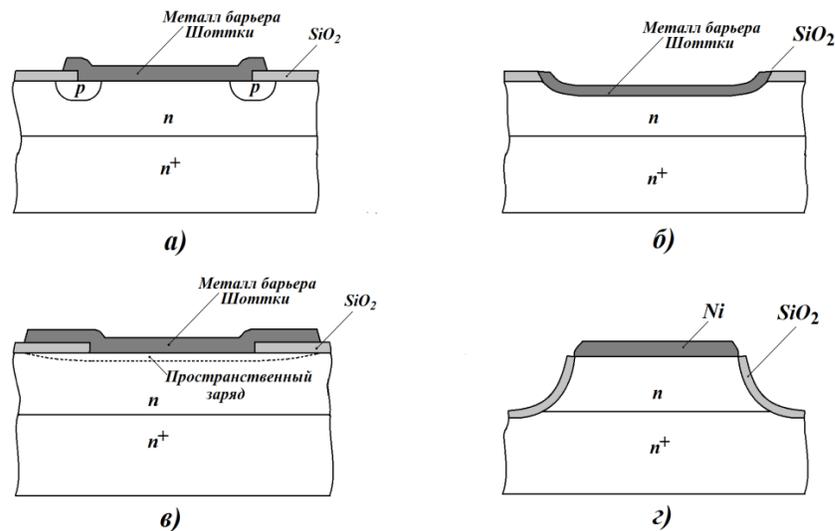


Рис.7. Поперечный разрез структур диодов Шоттки с повышенным напряжением пробоя:

- а) с охранным кольцом;
- б) MOLD - технология;
- в) с расширенным металлическим контактом;
- г) с меза-структурой.

Структура диода Шоттки с охранными кольцами (рис.7), требует для изготовления 3 фотолитографии, а напряжение пробоя определяется по выражению (1), в котором радиус кривизны равен глубине р-п перехода охрannого кольца. Металл барьера Шоттки может быть любым, так как создается напылением металла в вакуумных установках. При этом показатель идеальности близок к 1. Наличие р-п перехода приводит к увеличению напряжения пробоя и повышает устойчивость диодов Шоттки к статическому электричеству. Недостаток структуры – увеличение толщины эпитаксиального слоя на глубину р-п перехода для сохранения величины напряжения пробоя по условию смыкания слоя пространственного заряда р-п перехода охрannого кольца с низкоомной подложкой n+-типа приводит к увеличению последовательного сопротивления. А значительная площадь охрannого кольца по периферии барьера Шоттки приводит к появлению дополнительной емкости, что, наряду с увеличенным сопротивлением, значительно уменьшает предельную частоту.

Структура диода Шоттки, выполненная по меза-технологии (рис.7), требует для изготовления одну фотолитографию. Недостаток структуры в том, что наиболее просто получить барьер Шоттки химическим осаждением металлов (например, никеля). Во-первых, не все металлы, применяемые для барьеров Шоттки, можно нанести химическим осаждением. Во-вторых, при этом

показатель идеальности значительно отличается от 1. Применение вакуумного напыления металлов требует введения дополнительной фотолитографии по металлу. Кроме того, из-за сложности выполнения фотолитографии на меза-структуре, себестоимость годных приборов становится больше, чем в технологиях с 3 фотолитографиями. Также напряжение пробоя имеет меньшее значение, чем плоская часть р-п перехода, из-за влияния встроенного заряда в пассивирующем слое окисла, что приводит к появлению некоторого радиуса кривизны на периферии барьера Шоттки. Для устранения этого эффекта желательно по периферии барьера Шоттки создавать р-п переход, что дополнительно повысит устойчивость к статическому электричеству.

Структуру диода Шоттки, в которой используются положительные стороны меза-технологии, охранного кольца и вакуумного напыления металлов, можно создавать по технологии с применением слоев пористого анодного окисла кремния [9,10]. Основные этапы создания диода Шоттки по данной технологии показаны на рисунке 8.

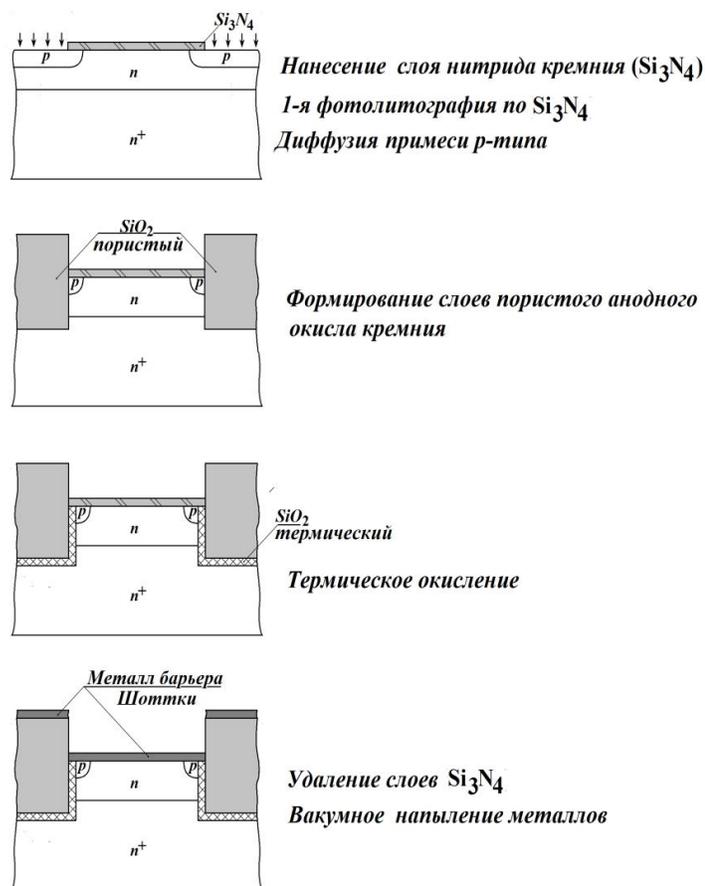


Рис. 8. Основные этапы технологического процесса изготовления диодов Шоттки при применении слоев пористого анодного окисла кремния

В этом процессе глубина охранного кольца р-типа должна быть небольшой, всего на 5-10% больше ширины слоя пространственного заряда барьера Шоттки. Так как охранное кольцо создается только одной стороной боковой диффузии, то дополнительная площадь охранного кольца уменьшается в 15-25 раз по сравнению со структурой, показанной на рис. 7. А напряжение пробоя значительно увеличивается и достигает значения напряжения пробоя плоской части р-п перехода.

Как видно из рисунка 8, в технологическом процессе применяется только одна фотолитография, что уменьшает себестоимость изготовления. Применение вакуумного напыления позволяет напылять любой металл, с требуемым значением  $\varphi_{mn}$ , а также получать показатель идеальности близкий к 1.

По совокупности параметров (предельная частота, напряжение пробоя, показатель идеальности) диоды Шоттки, выполненные по технологии с применением слоев пористого анодного окисла кремния не уступают лучшим современным образцам, но имеют себестоимость производства кристаллов в 2-3 раза меньше.

**Обсуждение результатов.** Применение технологии изготовления с использованием слоев пористого анодного окисла кремния позволяет:

- создавать кремниевые диоды различных типов (выпрямительные, импульсные, варикапы, диоды Шоттки и др.)
- получать высокие напряжения пробоя, используя достоинства меза-структуры;
- напылять любой металл контакта, используя эффект разрыва слоя металла на вертикальных стенках пористого окисла;
- уменьшает разброс параметров, так как разброс глубины залегания слоев пористого анодного окисла кремния не влияет на площадь р-п перехода или барьера Шоттки;
- использовать в процессе изготовления только одну операцию фотолитографии, что уменьшает себестоимость изготовления кристаллов приборов;
- уменьшает вредное воздействие на окружающую среду, так как для анодного окисления используются растворы слабых кислот.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Кремниевые планарные транзисторы. Под ред. Я. А. Федотова. – М.: Сов. радио, 1973. – 336 с.
2. Курносое А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов. – М.: Высшая школа, 1974. – 400 с.
3. Диоды: справочник / О.П. Григорьев, В.Я. Замятин, Б.В. Кондратьев, С.Л. Пожидаев. – М.: Радио и связь, 1990. – 336 с.
4. Фролов О.М., Шевченко В.В., Філіпшук О.М. та ін. Патент на корисну модель №102197. Спосіб виготовлення високовольтних діодів зі змінною ємністю. МПК: НО1L 29/93 (2006.01), НО1L 21/31(2006.01), НО1L 21/329. (2006.01), опубл. 26.10.2015. Бюл. №20.
5. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Книга 1. Перевод с англ.- 2-е переработанное и дополненное изд. – М.: Мир, 1984. – 456 с.
6. Матсон Э.А., Крыжановский Д.В. Справочное пособие по конструированию микросхем. – Минск: Выш. школа, 1982. – 224 с.
7. Трутко А.Ф. Методы расчета транзисторов. Издание 2-е, переработанное и дополненное. – М.: Энергия, 1971. – 272 с.
8. Стриха В.И., Бузанева Е.В., Радзиевский И.А. Полупроводниковые приборы с барьером Шоттки (физика, технология, применение). Под ред. В.И. Стрихи. – М.: Сов. радио, 1974. – 248 с.
9. Фролов О.М., Селиверстова С.Р., Селиверстов И.А. Патент на корисну модель №60700. Спосіб виготовлення кремнієвих діодів Шоттки з охоронним кільцем. МПК: НО1L 21/04 (2006.01), НО1L 21/31 (2006.01), НО1L 21/329 (2006.01). Опубл. 25.06.2011. Бюл. №12.
10. Фролов О.М., Шутов С.В., Самойлов М.О., Деменський О.М. Патент на корисну модель №79669. Спосіб виготовлення діодів Шоттки з охоронним кільцем. МПК: НО1L 21/04 (2006.01), НО1L 21/31 (2006.01), НО1L 21/329 (2006.01), НО1L 29/872 (2006.01). Опубл. 25.04.2013. Бюл. №18.