

УДК 621.382

**ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ
В ДИОДАХ ШОТТКИ С МОП КАНАВКОЙ (TMBS diode)****Р.К.МАМЕДОВ***Бакинский Государственный Университет**rasimaz50@yahoo.com*

В диодах Шоттки с МОП канавкой (TMBS diode) дополнительное электрическое поле (ДЭП) в целом ограничивается с металлическими электродами МОП структур, и потенциальный барьер формируется итоговым электрическим полем, образованным в результате суперпозиции ДЭП и электрического поля ОПЗ. Зависимость напряженности этого поля от расстояния вглубь полупроводника является нелинейной и характеризуется вершиной максимума. Напряженность ДЭП увеличивается и глубина его проникновения в полупроводник уменьшается с уменьшением ширины контактной поверхности, глубины канавки и толщины окисла. Обратные токи утечки диода практически отсутствуют при начальных напряжениях и скачкообразно появляются при определенном напряжении. Путем урегулирования напряженности ДЭП в ОПЗ может быть изготовлены высококачественные и дешевые ДШ.

Ключевые слова: контакт металл – полупроводник, диод Шоттки, ДШ с МОП канавкой, дополнительное электрическое поле, TMBS diode, полупроводниковые преобразователи.

Развитие микроэлектроники и нанотехнологии с более совершенными технологиями обусловило возрастание большого интереса как к изучению электронных процессов в реальных диодах Шоттки (ДШ), так и к широкому применению их многофункциональных возможностей в современных электронных устройствах. В результате чего, выявлены всевозможные отклонения параметров и характеристик реальных ДШ от соответствующих данных, вытекающих из фундаментальных теорий и энергетических моделей идеализированных ДШ [1,2]. Были достигнуты определенные успехи в устранении этих недостатков путем конструктивно-технологических методов. Были разработаны удовлетворяющие многочисленным конструкциям ДШ, устраняющие, в основном, негативные влияния так называемых краевых эффектов [3-15].

В [4] исследовано влияние ширины металлической пленки на поверхности диэлектрика SiO_2 от края контакта на напряжение пробоя Al-

nSi ДШ. Диаметры контакта были 20, 30, 70, 115 и 130 мкм, а ширина Al пленки от края контакта были 5, 10, 15, 20 и 50 мкм. Установлено, что с ростом ширины Al пленки от 5 мкм до 15 мкм, напряжение пробоя ДШ увеличивается от 50 В до 90В и при дальнейшем увеличении ширины пленки напряжение пробоя не меняется. В [5] полечено, что при использовании ДШ структуры, в которой металлический электрод имеет конический вид, образующий угол с поверхностью кремния около 3° , напряжение пробоя увеличивается от 30В до 130В по сравнению с металлом цилиндрической формы. Определенный интерес представляет результаты, представленные в [6], где напряжение пробоя ДШ увеличилось также при использовании меза структуры с боковой МОП изоляцией.

Были разработаны более совершенствованные конструкции ДШ с МОП канавкой (TMBS diode – Trench MOS Barrier Schottky diode) [7-15], имеющие низкие значения прямого напряжения, высокая скорость переключения, низкие токи утечки при обратном смещении и высокое напряжение пробоя в сравнении с традиционными планарными диодами Шоттки. Проведены фундаментальные экспериментальные исследования и основательные моделирования, чтобы улучшить характеристики TMBS диода. В [7] было отмечено, что пробой TMBS диода происходит вблизи дна траншеи, а в работе [10] выяснилось, что электрическое поле сгущается возле траншеи TMBS диода и вызывает трудности в достижении более однородное электрическое поле и более высокое напряжение пробоя.

В электронных процессах этих и других разновидных конструкций реальных ДШ определенную роль играет дополнительное электрическое поле (ДЭП), возникающее вследствие контактной разности потенциалов между контактной поверхностью с высотой потенциального барьера порядка 0,1-1 эВ и к ней примыкающими свободными поверхностями металла и полупроводника с работой выхода порядка 4-6 эВ [2, 16-22]. На рис.1. представлены результаты непосредственного измерения ДЭП методами Атомно-Силовой Микроскопии (АСМ) на поверхности эпитаксиальной Au - nGaAs ДШ [16], где показаны двумерные изображения рельефа (*a*), КРП поверхности nGaAs(100) с расположенными на ней прямоугольным 100×300 мкм² Au-контактом толщиной 0,17 мкм (*b*) и соответствующими профилями продольных сечений пространственного $h(x)$ и потенциального $\Delta\phi(x)$ рельефов по пунктирным линиям (*c*).

Из АСМ изображения потенциала (*b*) на рисунке видно, что вокруг периметра контакта под действием ДЭП образуется протяженная область (ореол) шириной l с КРП отличной от КРП свободной поверхности nGaAs. По мере удаления от периметра контакта напряженность ДЭП уменьшается и под его действием значение КРП ореола на свободной поверхности постепенно увеличивается от минимального, характерного для КРП поверхности металла, до максимального значения, характерного для КРП свободной поверхности nGaAs (*c*). Ширина ореола ДЭП в этом слу-

чае достигает 30 мкм вдоль прямолинейного края металла благодаря большой площади контакта. Следует заметить, что ореол вокруг углового закругления контакта с радиусом r существенно уже, чем в прямолинейной части контакта. В [17] проведенное АСМ измерение показало, что с уменьшением кривизны боковой поверхности металлического электрода ширина ореола вокруг контакта увеличивается: при увеличении диаметра контакта ДШ от 5 мкм до 100 мкм ширина ореола увеличивается от 4 мкм до 23 мкм и при дальнейшем увеличении диаметра до 500 мкм она почти не меняется.

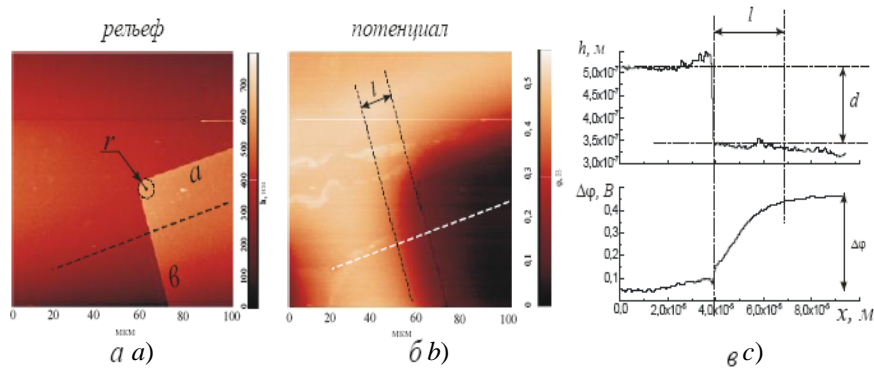


Рис.1. Двумерные АСМ изображения рельефа (а), КРП поверхности эпитаксиального GaAs с расположенными на ней прямоугольным Au-контактом (b) и соответствующими профилями продольных сечений пространственного $h(x)$ и потенциального $\Delta\phi(x)$ рельефов в пунктирным линиям (с).
 построений рельефов поверхностей.
 эпитаксиальное p-GaAs(100) с концентрацией носителей дырок $N_A = 3 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ расстояние между ней прямоугольным $a = 100 \times 300$ мкм Au-контактом толщиной $d = 0,2$ мкм и соответствующими профилями продольных сечений пространственного $h(x)$ и потенциального $\Delta\phi(x)$ рельефов в пунктирным линиям (с).
 построений рельефов поверхностей.

ДЭП в узких КМП полностью охватывает приконтактную область полупроводника и активно участвует в электронных процессах. Уже на основе КМП с ДЭП разработаны полупроводниковые приборы с новыми свойствами и закономерностями. Был разработан Au - nGaAs ДШ с ДЭП преобразователь световой энергии в электрическую, где световой ток превышает темновой ток более чем в 1000 раз [18]. Между тем, в аналогичном ДШ преобразователе без ДЭП световой ток превышает темновой ток всего около 10 раз. В [19,20] обнаружено, что прямые ветви ВАХ Au-nGaAs ДШ с ДЭП изображаются прямыми линиями в полулогарифмическом масштабе в широком интервале тока около 9 порядок и имеет коэффициент идеальности близкий к единице. При начальных обратных напряжениях ток в таких ДШ с ДЭП практически отсутствует и при напряжениях 3-4 В ток увеличивается скачком.

Формы и размеры пространства распространения, значения энергетических и силовых параметров ДЭП зависят от природы контактирующих материалов и конструктивно - геометрических размеров структур ДШ [2,21,22]. Одной из важных особенностей конструкции ДШ с МОП канавкой, часто применяемых для создания мощных ДШ, заключается в том, что она с боковой стороны полностью ограничивает простран-

ство распределения ДЭП в полупроводнике, находящиеся между канавками с металлическими электродами. Результаты изучения электронных процессов в ДШ с МОП канавкой, происходящих в активном участии ДЭП в литературе практически отсутствуют.

В данной работе представлены результаты исследований характерных особенностей возникновения ДЭП в ДШ с МОП канавкой, его роль в образовании электрического поля и действующего потенциально-го барьера, а также в процессе токопрохождения.

Распределение электрического поля

Как известно, диоды Шоттки с МОП канавкой (*TMBS diode - Trench MOS barrier Schottky diode*), изготавливаются на рельефных структурах, состоящих из множества узких полос (секции) барьеров Шоттки (меза диодов) микронных или субмикронных размеров и разделённых канавками. Барьер Шоттки в такой структуре создаётся на горизонтальной поверхности части эпитаксиального слоя между канавками, в которых на боковых стенках сформированы МОП (металл – окисел – полупроводник) структуры с металлическим электродом, расположенным внутри канавки и соединённым с барьерным металлом (рис.2).

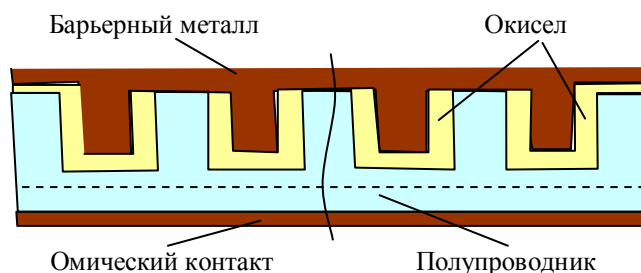


Рис.2. Типичная структура диодов Шоттки с МОП канавкой

Согласно модели Шоттки, идеализированный КМП (т.е. с неограниченной однородной контактной поверхностью) имеет омические свойства, когда разность работ выхода металла Φ_M и полупроводника n -типа Φ_S (т.е. высота потенциального барьера $\Phi_B = \Phi_M - \Phi_S$) становится почти равно и меньше нуля (т.е. $\Phi_B \leq 0$) и выпрямляющие свойства, когда эта разность становится больше нуля (т.е. $\Phi_B > 0$). Исходя из этой точки зрения можно сказать, что если секция КМП с МОП канавкой по модели Шоттки имеет омические свойства, тогда в приконтактной области полупроводника не образуется область пространственных зарядов (ОПЗ) и она схематически представляется как на рис.3а. А если она по модели Шоттки имеет выпрямляющие свойства, тогда в приконтактной области полупроводника образуется ОПЗ с толщиной d и в ней формируется потенциальный барьер с высотой Φ_B , как это схематически представляется

на рис.3*b*. В этих структурах были использованы следующие обозначения: a – ширина канавки, b – ширина барьерного контакта, c – толщина окисла, h – глубина канавки, l – глубина проникновения дополнительного электрического поля.

Однако, контактная поверхность металла с шириной b и с высотой потенциального барьера Φ_B ограничивается боковыми поверхностями металла с работой выхода Φ_M и полупроводника с работой выхода Φ_S , образующих МОП структуру с диэлектрическим зазором в канавке (рис.3*a* и рис.3*b*). В результате чего, возникает разность потенциалов между контактной поверхностью металла с Φ_B и к ней примыкающими свободными поверхностями металла с Φ_M и полупроводника с Φ_S , следовательно, образуется ДЭП с напряженностью E_A и под его действием ОПЗ с глубиной l в объеме полупроводника [2], как это представлено на рис.3*c*. Напряженность неоднородного ДЭП направляется от контактной поверхности к свободным поверхностям металла и полупроводника. Горизонтальные составляющие напряженностей ДЭП в объеме полупроводника направляются противоположно и компенсируют друг-друга, а вертикальные составляющие E_A ДЭП становятся действующими. Для определенности, на рис.3*d* представлено двухмерное распределение электрического поля при обратном напряжении 170В в кремниевом ДШ с МОП канавкой, полученное в [10] с симулятором APSYS, где: ширина канавки $a = 4$ мкм, ширина барьерного контакта $b = 2$ мкм, толщина окисла $c = 0,9$ мкм, глубина канавки $h = 5,9$ мкм.

Таким образом, в приконтактной области полупроводника реальных КМП с МДП канавкой возникает неоднородное ДЭП и его пространство распространения ограничивается контактной поверхностью барьерного металла и внутренними поверхностями металлических электродов МДП структур в канавках. Напряженность ДЭП имеет максимальное значение на контактной поверхности металла и нелинейно уменьшается с ростом расстояния до величины l в направлении вовнутрь полупроводника (рис.3*c*).

Ясно, что силовые и энергетические параметра, а также глубина проникновение в полупроводник ДЭП и его нелинейный характер уменьшения с ростом расстояния определяются конфигурацией, геометрическими размерами и природами материалов КМП с МДП канавкой. Когда ДЭП образуется в КМП с МОП канавкой как показано на рис.3*a* (т.е.где $\Phi_B \leq 0$), это поле с напряженностью E_A проникает в полупроводник на расстояние l (рис.3*c*) и под его влиянием свободные электроны накапливаются на контактной поверхности, следовательно образуется ОПЗ с толщиной l и с электрическим полем напряженностью E_l . В результате суперпозиции электрических полей с напряженностями E_A и E_l формируется итоговое электрическое поле с напряженностью E_i в КМП с МОП канавкой и ее зависимости от расстояние характеризуется вершиной максимума на рас-

стоянии x_m , как это схематично представлено на рис.4а. Такой КМП с МОП канавкой приобретает выпрямляющими свойствами.

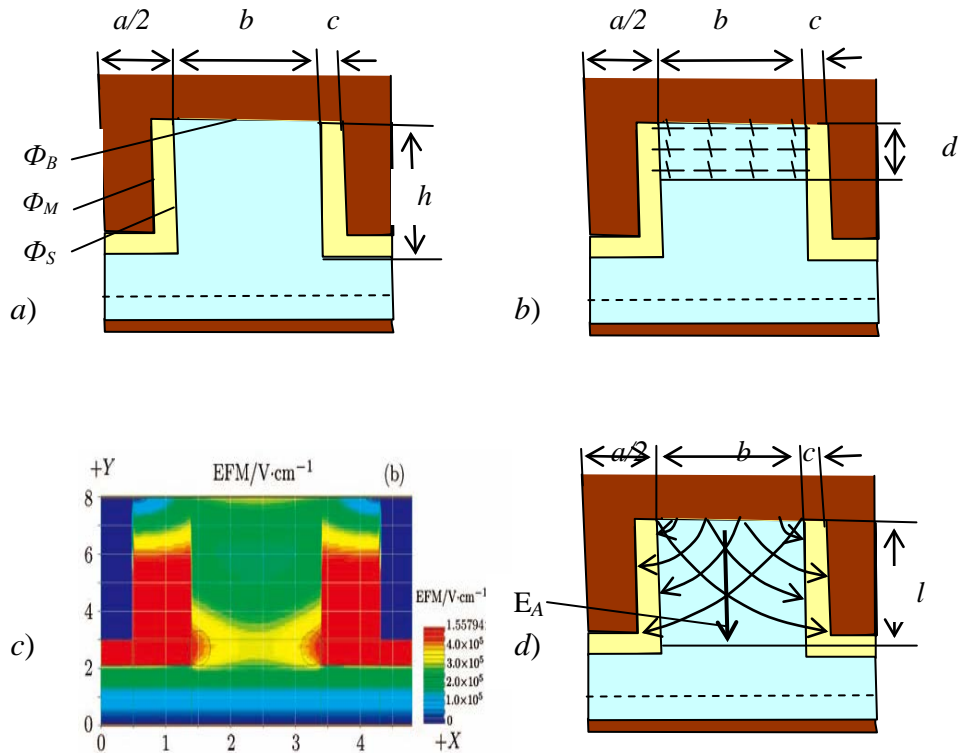


Рис.3. а) Схематическая структура одной секции диода Шоттки с МОП канавкой без ДЭП, где $\Phi_B \leq 0$ (а) и $\Phi_B > 0$ (б), и d ДЭП (с). б). 2D изображение (с) контура распределения электрического поля в кремниевом ТМБС диоде, полученное двумерным симулятором APSYS.

Когда ДЭП образуется в ДШ с МОП канавкой с $\Phi_B > 0$ и шириной ОПЗ d , как показано на рис.3б, это поле с напряженностью E_A проникает в полупроводник на расстояние l , где может быть два случая $l \leq d$ и $l > d$. В случае $l \leq d$, ДЭП с напряженностью E_A распространяется в области ОПЗ с напряженностью E_d . В результате суперпозиции электрических полей с напряженностями E_A и E_d формируется итоговое электрическое поле с напряженностью E_i в ДШ с МОП канавкой и ее зависимости от расстояние характеризуется вершиной максимума на расстоянии x_m , как это схематично представлено на рис.4б.

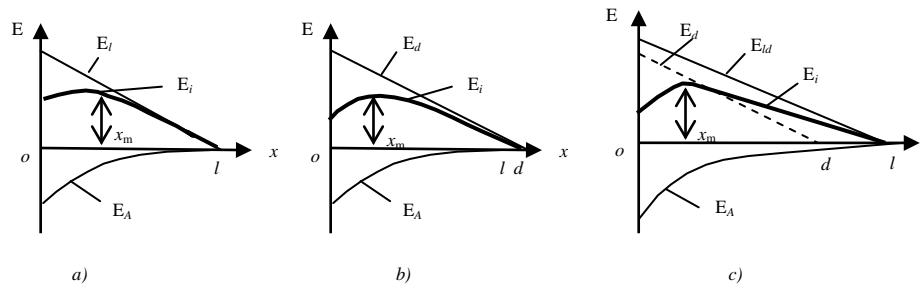


Рис.4. Зависимости напряженностей ДЭП (E_A), электрического поля ОПЗ (E_d и E_{ld}) и итогового электрического поля (E_i) от расстояния (ox) вглубь полупроводника ДШ с МОП канавкой без ДЭП, где $\Phi_B \leq 0$ (a) и $\Phi_B > 0$ (b), и с ДЭП (c).

В случае $l > d$, ДЭП с напряженностью E_A распространяется за пределом ширины d ОПЗ и под его влиянием свободные электроны на расстоянии $l - d$ накапливаются на контактной поверхности, следовательно ОПЗ расширяется становится с толщиной l , в которой образуется электрическое поле с напряженностью E_{ld} (рис.4c). В результате суперпозиции электрических полей с напряженностями E_A и E_{ld} формируется итоговое электрическое поле с напряженностью E_i в ДШ с МОП канавкой и ее зависимости от расстояния характеризуется также вершиной максимума на расстоянии x_m , как это схематично представлено на рис. 4c.

Из рисунков видно, что в области ОПЗ на расстоянии x_m от контактной поверхности наблюдается максимум напряженности итогового поля. Такой характер зависимости итоговой напряженности электрических полей в приконтактной области кремниевых ДШ с МОП канавкой, наглядно продемонстрированный в работе [10], представлен на рис.3d. Аналогичные зависимости получены также в работах [14,15].

Потенциальный барьер и токопрохождение

Из изложенного выше следует, что в КМП с МОП канавкой в обоих случаях выполнения условий омичности и выпрямления по модели Шоттки (т.е. $\Phi_B \leq 0$ и $\Phi_B > 0$), в приконтактной области полупроводника образуется итоговое электрическое поле в результате суперпозиции ДЭП и электрического поля ОПЗ. Зависимость напряженности E_i итогового электрического поля от расстояния вглубь полупроводника характеризуется вершиной максимума на расстоянии x_m , представленной на рис.4a,b и c. Энергетическая диаграмма ДШ с МОП канавкой при отсутствии внешнего напряжения имеет вид, представленный на рис.5c, где кривые с пунктирным, точечным и сплошным линиями соответствуют случаям, представленным на рис.4a,b и c. Она отличается от энергетических диа-

грамм омического (рис.5a) и выпрямляющего (рис.5b) идеализированного КМП.

Согласно теории термоэлектронной эмиссии, ВАХ идеализированного ДШ определяется следующей формулой [1]:

$$I = SAT^2 \exp\left(-\frac{\Phi_{BO} - \Delta\Phi_B}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1\right] = I_s \left[\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1\right] \quad (1)$$

где, снижение высоты барьера КМП $\Delta\Phi_B$ под действием силы зеркального изображения определяется формулой:

$$\Delta\Phi_B = q \left[\left(\frac{q^3 N_D}{8\pi^2 \epsilon_s^3} \right) \left(U_D \pm U - \frac{kT}{q} \right) \right]^{1/4} \quad (2)$$

Здесь, S – площадь контакта, A – постоянная Ричардсона, N_D - концентрация примесей в полупроводнике, ϵ_s - диэлектрическая проницаемость полупроводника, T - абсолютная температура, U_D - диффузионный потенциал, k - постоянная Больцмана, знаки (-) и (+) соответствуют прямому и обратному направлениям, соответственно.

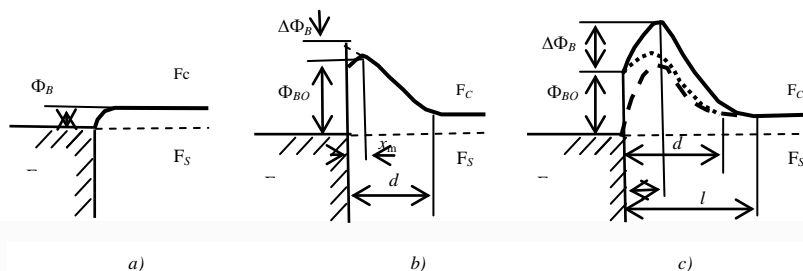


Рис.5. Энергетические диаграммы КМП с МОП канавкой без ДЭП, где $\Phi_B \leq 0$ (a) и $\Phi_B > 0$ (b), и с ДЭП (c) при отсутствии внешнего напряжения.

Прямая ветвь ВАХ ДШ при $qU \gg kT$ описывается формулой:

$$I = SAT^2 \exp\left(-\frac{\Phi_{BO}}{kT}\right) \exp\left(\frac{qU}{nkT}\right) \quad (3)$$

Образование итогового электрического поля в приконтактной области полупроводника ДШ с МОП канавкой оказывает заметное влияние как на характер формирования действующего потенциального барьера, так и на процесс токопрохождения.

В КМП с МОП канавкой, где $\Phi_B \leq 0$, под действием итогового электрического поля (рис.4a) образуется потенциального барьера с определенной высотой $\Delta\Phi_{B1}$, контакт приобретает выпрямляющими свойствами, и его энергетическая диаграмма при отсутствии внешнего напряжения имеет вид, как схематично показан на рис.5c (пунктирная кривая). При приложении прямого напряжения (плюс к металлу), направления напряженностей ДЭП E_A и внешнего электрического поля E в ОПЗ совпа-

дают и ВАХ согласно теории термоэлектронной эмиссии описывается следующей формулой:

$$I_F = SAT^2 \exp\left(-\frac{\Delta\Phi_{B1}}{kT}\right) \exp\frac{qU}{nkT} \quad (4)$$

При приложении обратного напряжения (минус к металлу), направления напряженностей ДЭП E_A и внешнего электрического поля E в ОПЗ направляются противоположно. При увеличении напряжения U до определенного значения U_C , пока E полностью не компенсирует E_A , через контакт ток практически не протекает и при дальнейшем увеличении его ($U > U_C$) ток скачкообразно появляется и начинает протекать [2].

В ДШ с МОП канавкой и шириной d ОПЗ, где $\Phi_B > 0$, в случае $l \leq d$, итоговое электрическое поле с напряженностью E_i распространяется в ОПЗ с шириной d (рис.4b). В ней образуется потенциальный барьер с высотой $(\Phi_B + \Delta\Phi_{B2})$ и максимум этого барьера смещается от поверхности металла на расстояние x_m (рис.4c, точечная кривая).

В случае $l > d$, под влиянием ДЭП с напряженностью E_A ОПЗ расширяется и становится с толщиной l (рис.4c), в которой итоговое электрическое поле с напряженностью E_i образует потенциальный барьер с высотой барьера $(\Phi_B + \Delta\Phi_B)$ и максимум этого барьера смещается от поверхности металла на относительно большое расстояние x_m . Его энергетическая диаграмма имеет вид, как это схематично представлено на рис.5c (сплошная кривая). При приложении прямого напряжения (плюс к металлу), напряженности внешнего поля E и дополнительного электрического поля E_A в ОПЗ с шириной l направляются параллельно. С ростом напряжения высота барьера уменьшается на величину qU для электронов, эмитированных из полупроводника в металл (рис.6a). В то же время сама высота барьера увеличивается на величину $\beta_1 qU$, т.е.

$$\Delta\Phi_B = \Delta\Phi_{B0} + \beta_1 qU, \quad \text{где } \beta_1 < 1. \quad (5)$$

При этом, прямая ветвь ВАХ ДШ с МОП канавкой согласно теории термоэлектронной эмиссии выражается формулой [2]:

$$I_F = SAT^2 \exp\left(-\frac{\Phi_B + \Delta\Phi_B}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right] \approx SAT^2 \exp\left(-\frac{\Phi_{BD}}{kT}\right) \exp\frac{qU}{n_1 kT} \quad (6)$$

где

$$\Phi_{BD} = \Phi_B + \Delta\Phi_{B0} \quad \text{и} \quad n_1 = \frac{1}{1 - \beta_1} \quad (7)$$

При приложении обратного напряжения (минус к металлу), напряженности внешнего поля E и дополнительного электрического поля E_A в ОПЗ с шириной l направляются противоположно. С ростом напряжения до значения U_C внешнее электрическое поле частично компенсирует ДЭП и дополнительно накопленные электроны на границе раздела

постепенно освобождаются. Это означает, что при $U \leq U_C$, где ($l \geq d$), через контакт обратный ток не протекает (рис.6b). А при $U > U_C$, где ($l < d$), через контакт скачкообразно начинает протекать обратный ток (рис.6c). Уменьшение высота барьера с ростом напряжения выражается формулой:

$$\Delta\Phi_B = \Delta\Phi_{BO} - \beta_2 qU \quad (8)$$

Обратная ветвь ВАХ ДШ с МОП канавкой согласно теории термоэлектронной эмиссии выражается формулой [2]:

$$I_R = SAT^2 \exp\left(-\frac{\Phi_B + \Delta\Phi_{BO} - \beta_2 qU}{kT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{q(U - U_C)}{kT}\right)\right] \approx SAT^2 \exp\left(-\frac{\Phi_{BD}}{kT}\right) \exp\frac{q(U - U_C)}{n_2 kT} \quad (9),$$

где $\Phi_{BD} = \Phi_B + \Delta\Phi_{BO}$; $n_2 = \frac{1}{\beta_2}$; $I_R = 0$ при $U \leq U_C$ и $I_R \neq 0$ при $U > U_C$.

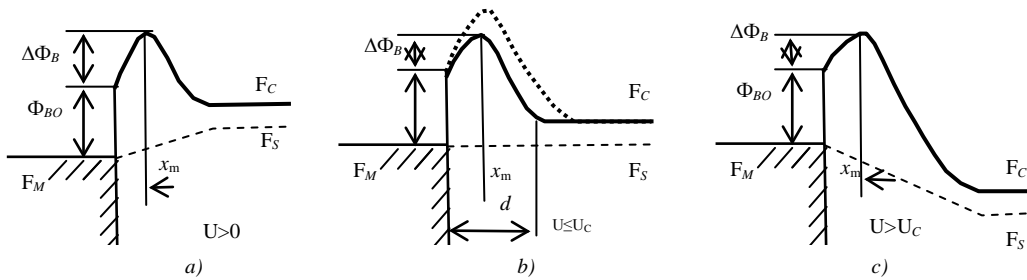


Рис.6. Энергетические диаграммы ДШ с МОП канавкой и с ДЭП при наличии внешнего напряжения в прямом направлении ($U > 0$) (a), в обратном направлении при $U \leq U_C$ (b) и при $U > U_C$ (c).

Когда ДЭП проникает в полупроводник на глубине $l \leq d$ (рис.4b), критическое напряжение становится нуль ($U_C = 0$) и через ДШ с МОП канавкой как прямые, так и обратные токи начинают протекать сразу же с ростом напряжения начиная от нуля.

Заключение

В ДШ с МОП канавкой ДЭП в целом образуется в пространстве приконтактной области полупроводника и ограничивается с металлическими электродами МОП структуры с боковой стороны. Его действующий потенциальный барьер образуется итоговым электрическим полем, сформированным в результате суперпозиции ДЭП и электрических полей ОПЗ. Зависимость напряженности итогового электрического поля от расстояния вглубь полупроводника является нелинейной и характеризуется

определенной вершиной максимума.

Силовые и энергетические характеристики ДЭП, следовательно и итогового электрического поля, становятся зависящими от геометрических параметров конструктивных структур ДШ с МДП канавкой. Напряженность ДЭП увеличивается и глубина его проникновения в полупроводник уменьшается с уменьшением ширины контактной поверхности, глубины канавки и толщины окисла. Обратные токи утечки диода практически отсутствуют при начальных напряжениях и скачкообразно появляются при определенных напряжениях. Путем урегулирования напряженности ДЭП может быть изготовлены высококачественные и дешевые ДШ.

Токопрохождение в ДШ с МДП канавкой в прямом направлении описывается теорией термоэлектронной эмиссии как в обычных плоских ДШ, а в обратном направлении практически отсутствует при начальных напряжениях и появляется скачкообразно при определенном критическом напряжении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов, часть 1. М.: Мир, 1984, 450 с.
2. Мамедов Р.К. Контакты металл – полупроводник с электрическим полем пятен. Баку: БГУ, 2003, 231 с.
3. Валиев К.А., Пашинцев Ю.И., Петров Г.В. Применение контакта металл-полупроводник в электронике. М.: Радио и связь, 1981, 304 с.
4. Sermiento Sere. Influencia de la geometria en el voltaje de ruptura de la union metal-semiconductor. Ciencias tecnicas: Ing. Electr.autom. y comun., 1978, №2, p. 29-43
5. Yearn-Ik Choi Enhancement of Breakdown Voltages Schottky Diodes with a Tapered Window. IEEE Trans. Electron Devices, 1981, v.ED-28, №5, p.601-602
6. Gutknecht P., Strutt M.J. Thermale oxidized meza Schottky barrier diodes. IEEE Trans., 1974, v.ED-21, №2, p.172-173
7. Mehrotra M, Baliga B.J. Trench MOS barrier Schottky (TMBS) rectifier. Solid State Electron 1995, 38, 801
8. Khemka V, Ananthan A, Chow T.P. A fully planarized 4H-SiC trench MOS barrier Schottky (TMBS) rectifier. In: IEEE Int. Symp. Power Semicond. Dev. ICs, Toronto, Canada, 1999, p.165-168
9. Khemka V, Patel R., Chow T.P., Gutmann R.J. Design considerations and experimental analysisfor silicon carbide power rectifiers. Solid State Electron 1999, 43, 1945.
10. Li Wei-Yi, Ru Guo-Ping, Jiang Yu-Long, Ruan Gang Trapezoid mesa trench metal oxide semiconductor barrier Schottky rectifier: an improved Schottky rectifier with better reverse characteristics. Chin. Phys. B. 2011, Vol. 20, No. 8, p.087304
11. Max Chen, Sr. Director, Henry Kuo, Sr. Manager, Sweetman Kim, High-Voltage TMBS Diodes Challenge Planar Schottkys. Power Electronics Technology, October 2006, p.22
12. Котов В.С., Голубев Н.Ф., Токарев В.В., Борисенко В.Е. Моделирование диодов Шоттки с МОП канавочной структурой. Практическая Силовая Электроника, 2013, в.50(2), 1-7
13. Baliga B.J. Advanced Power Rectifier Concepts, Springer, 2009, 562 p.
14. Davide Chiola, Stephan Oliver, Marco Soldano Increased Efficiency and Improved Reliability in “ORing” functions using Trench Schottky Technology. International Rectifier. As presented at PCIM Europe, 2002

15. Голубев Н., Токарев В., Шпаковский С. Применение субмикронной технологии – путь к созданию высокоэффективных диодов Шоттки. Силовая Электроника, 2005, №4, с.4-7
16. Торхов Н.А., Божков В.Г., Ивонин И.В., Новиков В.А. Исследование распределения потенциала на локально металлизированной поверхности nGaAs методом Атомно – Силовой Микроскопии. Поверхность: рентгеноские, синхротронные и нейтронные исследования. 2009, № 1, с.57-66
17. Торхов Н.А. Влияние периферии контактов металл – полупроводник с барьером Шоттки на их электрофизические характеристики. ФТП, 2011, т.45, в.1, с.70-86.
18. Торхов Н.А. Влияние фотоэдс на токопрохождение в контактах металл – полупроводник с барьером Шоттки. ФТП, 2011, т.45, в.7, с.965 –973
19. Mamedov R.K., Yeganeh M.A. Current Transport and Formation of Energy Structures in Narrow Schottky Diodes. J. Microelectronics Reliability, 2012, v.52, №2, p 418 – 424
20. Mamedov R.K. Features of the potential barrier and current flow in the narrow Schottky diodes. Superlattices and Microstructures, 2013 v.60, p. 300–310
21. Мамедов Р.К. Особенности дополнительного электрического поля в реальных контактах металл – полупроводник., Вестник Бакинского Университета: серия физ.мат. наук. 2013, № 4, с. 128–163.
22. Николаевич М.О., Иванович Б.Л., Федорович К.А., Александрович Н.В., Сергеевич С.А., Торхов Н.А. Моделирование электростатической системы контакта Шоттки. Актуальные проблемы современной науки в 21 веке. Сборник материалов 2-й международной научно-практической конференции. Махачкала, 2013, с. 36-40

MOY QANOVLU ŞOTTKI DİODLARINDA (TMBS diode) ƏLAVƏ ELEKTRİK SAHƏSİ

R.Q.MƏMMƏDOV

XÜLASƏ

MOY qanovlu Şottki diodlarında (TMBS diode) əlavə elektrik sahəsi (ƏES) bütövlüklə MOY strukturunun metal elektrodları ilə məhdudlanır və potensial çəpər, ƏES və HFY-in elektrik sahələrinin superpozisiyası nəticəsində yaranan yekun elektrik sahəsi ilə formalaşır. Yekun sahənin gərginliyinin yarımkeçiricinin daxilinə doğru məsafədən asılılığı qeyri-xəttidir və maksimum piki ilə xarakterizə olunur. Kontakt səthinin eninin, qanovun dərinliyinin və oksidin qalınlığının azalması ilə ƏES gərginliyi artır və onun yarımkeçiriciyə daxilolma dərinliyi azalır. Əks gərginliyin ilkin qiymətlərində cərəyan praktiki olaraq axmır və o, gərginliyin müəyyən qiymətində sıçrayışla özünü bürüzə verir. ƏES-nin gərginliyinin HFY-də tənzimlənməsi üsulu ilə yüksək keyfiyyətli və ucuz ŞD hazırlana bilər.

Açar sözlər: metal-yarımkeçirici kontakt, Şottki diodu, Şottki çəpəri, MOS qanovlu ŞD, əlavə elektrik sahəsi, TMBS diod, yarımkeçirici çevricilər.

ADDITIONAL ELECTRIC FIELD IN TRENCH MOS BARRIER SCHOTTKY DIODE

R.G. MAMMADOV

SUMMARY

In Trench MOS Barrier Schottky diode, the additional electric field (AEF) is on the whole limited with metal electrodes of MOS structures, and the potential barrier forms by total electric field formed as a result of the superposition of the AEF and the electric field of RVC. The dependence of the intensity of this field in the distance of the depth of the semiconductor is non-linear and is characterized by a peak maximum. The AEF tension increases and the depth of its penetration into the semiconductor decreases with a decrease in the width of the contact surface, the trench depth and the oxide thickness. The reverse leakage current of the diode is practically absent in the initial voltage and appears abruptly at a certain voltage. By resolving the AEF intensity high quality and cheap Schottky diodes can be prepared.

Key words: metal – semiconductor contact, Schottky diode, Schottky barrier, trench MOS barrier SD, additional electric field, TMBS diode, semiconductor converters.

Поступила в редакцию: 28.10.2014 г.

Подписано к печати: 24.11.2014 г.