

## ОБРАЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА В ОДНОРОДНОМ КМП С ОГРАНИЧЕННОЙ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

**Р.К.МАМЕДОВ**

*Бакинский Государственный Университет  
Баку, ул. З.Халилова, 23*

İşdə göstərilmişdir ki, metal-yarımqeçirici kontaktın kontakt səthin bircins kristal ququluşa malik olsa belə, ona toxunan metal və yarımqeçiricinin sərbəst səthləri ilə məhdudlaşması nəticəsində yarımqeçiricinin kontaktaltı hissəsində əlavə elektrik sahəsi və eyni zamanda potensial çəpər yaranır.

В работе показано, что из-за ограниченности контактной поверхности реального контакта металл-полупроводник, к ней примыкающими свободными поверхностями металла и полупроводника, в приконтактной области полупроводника образуется дополнительное электрическое поле, следовательно, и потенциальный барьер, если даже контактная поверхность имеет однородную кристаллическую структуру.

In work is shown, that because of limitation of a contact surface of real contact metal - semiconductor, to it by contiguous free surfaces of metal and semiconductor, in nearsurfaces area of the semiconductor is formed an additional electrical field, hence, and potential barrier even if the contact surface has homogeneous crystal structure.

### ВВЕДЕНИЕ.

В последние годы к изучению электрофизических свойств реальных контактов металл-полупроводник (КМП), имеющих неоднородные высоты потенциального барьера вдоль границы раздела уделяется большое внимание [1-4]. Как было показано в [4], в приконтактной области полупроводника КМП из-за неоднородности локальной высоты барьера вдоль контактной поверхности образуется дополнительное электрическое поле, так называемое поле пятен, которое оказывает существенное влияние на формирование действующей высоты барьера реальных контактов. Оказывается, в приконтактной области полупроводника КМП дополнительное электрическое поле также возникает вследствие ограниченности контактной поверхности со свободными поверхностями металла и полупроводника.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Для определенности рассмотрим контакт между металлом с конкретными геометрическими размерами и постоянной работой выхода  $\Phi_M$  по всей поверхности, и полупроводником n-типа с определенными геометрическими размерами и постоянной работой выхода  $\Phi_n$  (электронным сродством  $\chi$ ) вдоль планарной поверхности, где  $\Phi_M \approx \Phi_n$ . Когда они находятся на определенном расстоянии  $\delta$  друг от друга (рис.1а), их энергетические диаграммы изображаются как на рис.1б. При соединении их с электрическим проводом (рис.1а, пунктирная линия) между ними не возникнет контактная разность потенциалов и, следовательно, не образуется контактного электрического поля.

При приведении определенной поверхности металла в тесный контакт с планарной поверхностью полупроводника (рис.1в), согласно модели Шоттки [5] для идеального КМП с неограниченной контактной поверхностью, возникающий между ними потенциальный барьер имеет незначительную величину  $\Phi_B = \Phi_M - \chi$ , а это не препятствует свободному перемещению электронов в противоположных направлениях через границу раздела металл-полупроводник. При этом КМП обладает омическими

свойствами и его энергетическая диаграмма имеет вид, представленный на рис.1г.

В действительности, при приведении определенной поверхности металла в тесный контакт с планарной поверхностью полупроводника (рис.1д) потенциал на контактной поверхности металла (и полупроводника) уменьшается, становится равным  $\Phi_B = \Phi_M - \chi$ , а на остальной свободной поверхности металла (и полупроводника) потенциал остается неизменным и равным  $\Phi_M \approx \Phi_n$ . Значит, контактная поверхность металла (и полупроводника) с потенциалом порядка 0,1-0,2 В ограничивается со свободной поверхностью металла (полупроводника) с потенциалом порядка 4-6 В, т.е. отдельные (контактный и свободный) участки с разными локальными потенциалами поверхности металла (и полупроводника) находятся в электрическом контакте между собой. Тогда, аналогично возникновению поля пятен на эмиссионной неоднородной поверхности эмиттера в вакууме [6], из-за возникновения контактной разности потенциалов между контактной поверхностью и к ней примыкающими свободными поверхностями металла и полупроводника, в приконтактной области полупроводника образуется дополнительное электрическое поле  $E_d$ . Направление напряженности  $E_d$  этого дополнительного электрического поля, проникающего в полупроводник на глубину  $l_0$ , направляется от контактной поверхности границы раздела к свободным поверхностям металла и полупроводника через приконтактную область полупроводника, как это схематично представлено на рис.1д для достаточно узкого металлического электрода. В приконтактной области полупроводника на глубине  $l_0$  КМП, где сосредотачивается дополнительное электрическое поле, происходит перераспределение свободных электронов. Под действием дополнительного электрического поля свободные электроны накапливаются на границе раздела и в приповерхности полупроводника образуется неподвижные положительные объемные заряды, электрическим полем которых компенсируется дополнительное электрическое поле.

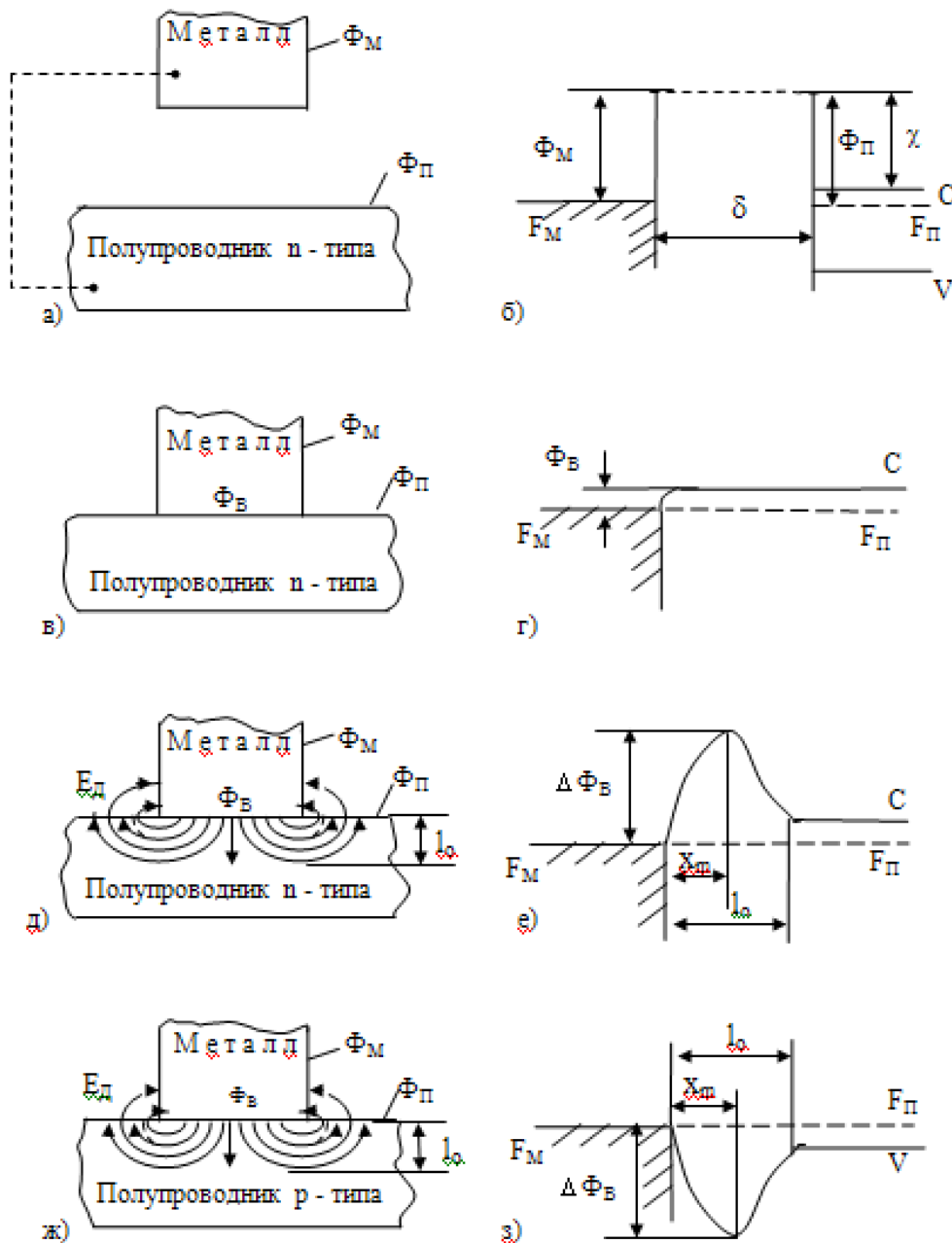


Рис.1. Схематические структуры и энергетические диаграммы омического контакта металла с полупроводником n-типа при наличии дополнительного электрического поля, обусловленного ограниченности однородной контактной площади.

В результате этого в обедненном слое полупроводника формируется потенциальный барьер с высотой  $\Delta\Phi_B$  (рис.1e), максимум которой находится на расстоянии  $x_m$  от поверхности металла.

Если полупроводник является р-типом, тогда под действием дополнительного электрического поля свободные дырки отталкиваются в глубь полупроводника и в приповерхностной области полупроводника на глубине  $l_0$  (рис.1ж), образуются неподвижные отрицательные объемные заряды, электрическим полем которых компенсируется дополнительное электрическое поле. При этом в обедненном слое полупроводника формируется потенциальный барьер с высотой  $\Delta\Phi_B$  (рис.1з).

Очевидно, что дополнительное электрическое поле для узкой контактной поверхности КМП сосредотачивается во всей приповерхностной области полупроводника. Однако для КМП с достаточно большой площадью, влияние дополнительного электрического поля окажется в периферийной приповерхностной области полупроводника. Кроме того влияния дополнительного электрического поля зависит от степени концентрации примесей полупроводника.

Для наглядности выше были рассмотрены КМП, для которых выполнялось условие  $\Phi_B = \Phi_M - \Phi_n = 0$ . Аналогичные процессы происходят и при условии  $\Phi_B = \Phi_M - \Phi_n < 0$ . Нетрудно

замечить, что в других возможных случаях, где  $\Phi_B = \Phi_M - \Phi_n > 0$ , в приповерхностном слое полупроводника наряду с дополнительным электрическим полем,

существует и электрическое поле, обусловленное контактной разностью потенциалов контактирующих поверхностей металла и полупроводника. В таких КМП потенциальный барьер образуется под действиями основного электрического поля контактной разности потенциалов контактирующих поверхностей металла и

полупроводника, и дополнительного электрического поля контактной разности потенциалов между контактной поверхностью и свободными поверхностями металла и полупроводника.

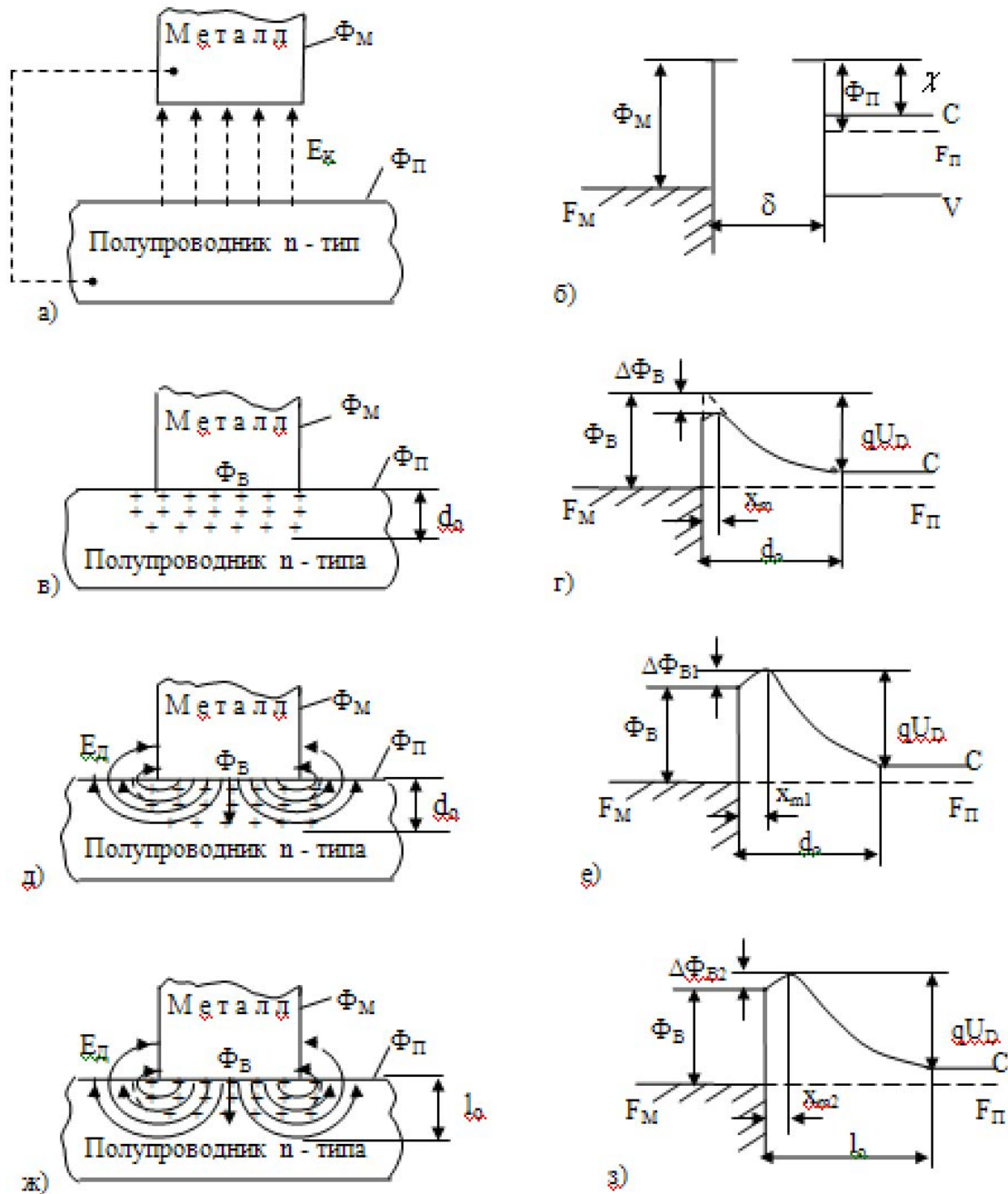


Рис.2. Схематические структуры и энергетические диаграммы выпрямляющего контакта металла с полупроводником n-типа при наличии дополнительного электрического поля, обусловленного ограниченности однородной контактной площади.

Рассмотрим контакт между металлом с определенными геометрическими размерами и одинаковой работой выхода  $\Phi_M$  по всей поверхности, и полупроводником n-типа с определенными геометрическими размерами и одинаковой работой выхода  $\Phi_P$  (электронным сродством  $\chi$ ) вдоль планарной поверхности, где  $\Phi_M > \Phi_P$ . Когда они находятся на

определенном расстоянии  $\delta$  друг от друга (рис.2а), их энергетические диаграммы изображаются как на рис.2б. При соединении их с электрическим проводом (рис.2а, пунктирная линия) между ними возникнет контактная разности потенциалов  $U_K$  и следовательно, в вакуумном зазоре с толщиной  $\delta$  образуется контактного электрического поля  $E_K$ . Напряженность контактного

поля направляется от полупроводника к металлу (рис.2а, пунктирные стрелки).

При приведении определенной поверхности металла в тесный контакт с планарной поверхностью полупроводника (рис.2в), согласно модели Шоттки для идеального КМП, в приконтактной поверхности полупроводника образуется обедненный слой с глубиной  $d_0$  и в нем потенциальный барьер с высотой  $\Phi_B$ , максимум которой находится на расстоянии  $x_m$ .

КМП обладает выпрямляющими свойствами и его энергетическая диаграмма имеет вид, представленный на рис.2г, при учете уменьшения высоты потенциального барьера на величину  $\Delta\Phi_B$  под действием силы изображения.

В действительности при приведении определенной поверхности металла в тесный контакт с планарной поверхностью полупроводника (рис.2д) потенциал на контактной поверхности металла (и полупроводника) уменьшается, становится равным  $\Phi_B = \Phi_M - \chi$ , а на остальной свободной поверхности металла (и полупроводника) потенциал остается неизменным и равным  $\Phi_M$  и  $\Phi_P$ . Значит, контактная поверхность металла (и полупроводника) с потенциалом порядка 1В ограничивается со свободной поверхностью металла (полупроводника) с потенциалом порядка 4-6 В, т.е. отдельные (контактные и свободные) участки с разными локальными потенциалами поверхности металла (и полупроводника) находятся в электрическом контакте между собой. Тогда, аналогично возникновению поля пятен на эмиссионной неоднородной поверхности эмиттера в вакууме, из-за возникновения контактной разности потенциалов между контактной и к ней примыкающими свободными поверхностями металла и полупроводника, в приконтактной области полупроводника образуется дополнительное электрическое

поле  $E_d$ . Напряженность  $E_d$  этого дополнительного электрического поля, проникающего в полупроводник на глубину  $l_0$ , направлена от контактной поверхности границы раздела к свободным поверхностям металла и полупроводника, как это схематично представлено на рис.2д для достаточно узкого металлического электрода при условии  $l_0 \leq d_0$ .

Если дополнительное электрическое поле в целом сосредотачивается в обедненном слое, т.е.  $l_0 \leq d_0$ , тогда поскольку, напряженность дополнительного поля направлена противоположно направлению напряженности электрического поля положительных объемных зарядов, то высота барьера увеличивается на величину  $\Delta\Phi_{B1}$  (рис.2е).

Когда дополнительное электрическое поле сосредотачивается в приконтактной области полупроводника на глубину  $l_0 > d_0$ , за глубиной  $d_0$ , куда проникает дополнительное электрическое поле, происходит перераспределение свободных электронов. Под действием дополнительного электрического поля свободные электроны за пределом  $d_0$  направляются на границу раздела и в приповерхности полупроводника образуются неподвижные положительные объемные заряды, т.е. обедненный слой, на глубине  $l_0$  (рис.2ж). При этом увеличение высоты барьера становится  $\Delta\Phi_{B2} < \Delta\Phi_{B1}$  (рис.2з).

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.**

Таким образом, в реальных КМП из-за ограниченности контактной поверхности со свободными поверхностями металла и полупроводника, в активной приконтактной области полупроводника возникает дополнительное электрическое поле.

- 
- [1]. *Р.К. Мамедов* Прикладная физика,(Москва), 2002, №4, с.143
- [2]. *Ş.Karataş, Ş.Altıntal*, Solid – State Electronics, 2005, № 49, p.1052
- [3]. *R.T. Tung* Mater. Sci. Eng. 2001, R 35, 1-138
- [4]. *Р.К. Мамедов* Контакты металл-полупроводник с электрическим полем пятен, Баку, 2003, 231 с.
- [5]. *С.Зи* Физика полупроводниковых приборов. Кн. 1, Москва, 1984, 455 с.
- [6]. *Л.Н.Добрецов, М.В. Гомоюнова* Эмиссионная Электроника, Москва, Наука, 1966, 564 с.

*Daxil olunub: 01.07.2007*