

FİZİKA

УДК 621.382.011.222

**ИЗУЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
В КОНТАКТАХ МЕТАЛЛ - ПОЛУПРОВОДНИК
МЕТОДОМ АТОМНО – СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ****Р.К.МАМЕДОВ***Бакинский Государственный Университет*
rasimaz50@yahoo.com

Впервые установленное нами электрофизическим и термоэлектрическим методами неизвестное ранее физическое явление возникновения дополнительного электрического поля (ДЭП) в реальных контактах металл – полупроводник (КМП) недавно непосредственно измерено с помощью современной Атомно - Силовой Микроскопии и детально исследовано. Уже разработаны КМП диоды с ДЭП, имеющие абсолютно новые свойства, которые являются необходимыми для развития современной микроэлектроники и нанотехнологии.

Ключевые слова: дополнительное электрическое поле, диод Шоттки, потенциальный барьер, реальный контакт, омический контакт.

На физическом факультете Бакинского Государственного Университета в результате многолетних научно-исследовательских работ в области физики конденсированных сред, проведенных под руководством автора этой статьи, было установлено [1] неизвестное ранее физическое явление возникновения дополнительного электрического поля (ДЭП) в реальных контактах металл – полупроводник (КМП). Эта структура является основным физическим элементом практически всех видов дискретных полупроводниковых приборов и компонентов интегральных микро- и наносхем. В последние годы явление ДЭП стало важным объектом экспериментальных исследований с помощью современной Атомно - Силовой Микроскопии (АСМ) в таких известных Научных Центрах как Томский Государственный Университет и Научно – Исследовательский Институт Полупроводниковых приборов Российской Федерации.

Сущность нового явления ДЭП заключается в следующем. Согласно известной модели Шоттки [2], если определенная поверхность металла с работой выхода Φ_M непосредственно контактируется с поверхностью полупроводника n – типа с работой выхода Φ_S и $\Phi_M \approx \Phi_S$, то КМП обладает омическими свойствами и схематически изображается как на рисунке 1а. В действительности, при непосредственном контакте металла с полупроводником, работы выхода ($\sim 4-5$ эВ) их свободных по-

верхностей, примыкающих контактной поверхности остаются неизменными, а высота потенциального барьера контактной поверхности становится порядка 1 эВ. Возникновение контактной разности потенциалов между контактной поверхностью и примыкающими к ней свободными поверхностями металла и полупроводника образует ДЭП с интенсивностью E_F вокруг боковой области металла, которое при микро- и нано КМП полностью охватывает приконтактную область полупроводника, как это схематично представлено на рисунке 1(b).

АСМ изображение рельефа Au – nGaAs диодов Шоттки с диаметром 15 мкм представлено на рисунке 1с, где четко виден одиночный круглый контакт золота. АСМ изображение распределения контактной разности потенциалов (КРП) между острием иглы кантилевера (зонда) и поверхностью Au – nGaAs диода Шоттки представлено на рисунке 1 d. Видно, что КРП в области металла значительно меньше КРП свободной поверхности nGaAs за пределами контакта. По мере удаления от периметра контакта значение КРП постепенно увеличивается от минимального, равного КРП поверхности металла, до максимального, равного КРП свободной поверхности полупроводника. При этом под действием ДЭП вокруг круглого контакта наблюдается осесимметричная протяженная переходная область (ореол) шириной около 15 мкм с КРП, отличной от КРП свободной поверхности полупроводника. В интервале ширины ореола КРП меняется почти линейно.

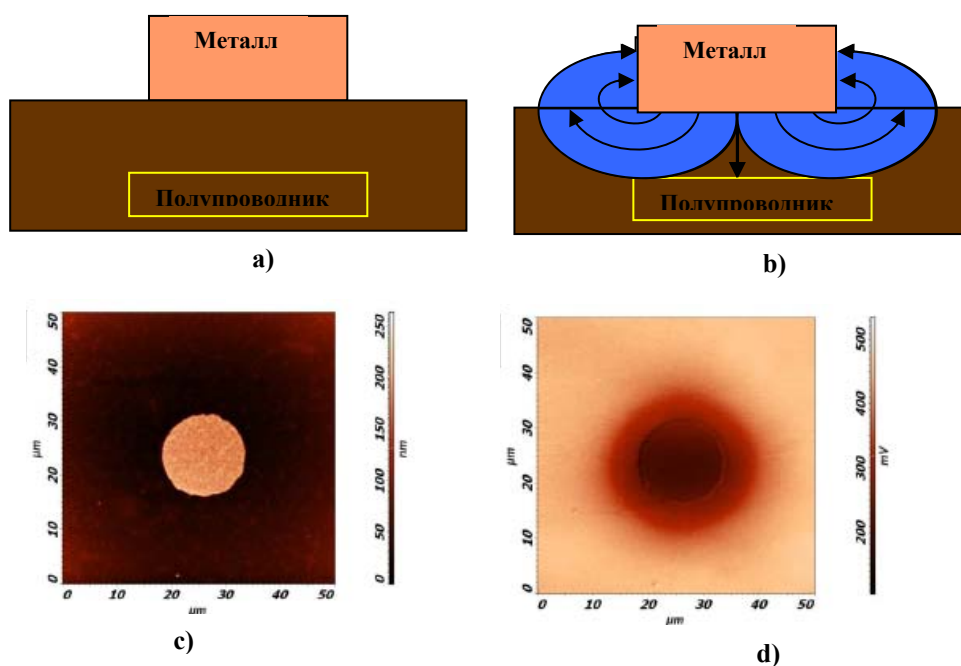


Рис. 1. Схематические изображения контакта металл – полупроводник без ДЭП (a) и с ДЭП (b). АСМ изображения рельефа (c) и распределения поверхностного потенциала (d) контакта Au - nGaAs с диаметром 15 мкм.

В монографии [2] подробно описаны исторические этапы развития физики КМП, физические основы образования ДЭП, энергетические модели формирования действующих потенциальных барьеров, механизмы и аналитические формулы токопрохождения на основе теории термоэлектронной эмиссии в присутствии ДЭП, методики определения эффективных электрофизических и геометрических параметров реальных КМП, сравнительный анализ существующих литературных материалов в интерпретациях с ДЭП процессами. Она помещена в сайтах интернета со свободным использованием:

www.elibrary.bsu.az/fizika; www.static.bsu.az; www.physics.bsu.edu.az; www.scipeople.ru; www.google.ru; www.ru.wikipedia.org; www.enci.ru; www.scholar.ru; www.nanometer.ru; www.nature.web.ru; www.rambler.ru; www.ibris-nbu.gov.ua и др.

Исследование явления возникновения ДЭП и электронных процессов связанных с ним в реальных КМП вызвало большой интерес со стороны ученых России. Уникальные научные результаты их фундаментальных исследований по ДЭП с использованием современных технологий и техники, остро необходимые для создания высококачественных, а также новых классов дискретных приборов и интегральных схем, систематически публиковались в таких научных журналах как «Физика и техника полупроводников - **2008**, 5, 546; **2010**, 5, 615; **2010**, 6, 767; **2011**, 1, 70; **2011**, 7, 965; **2011**, 8, 1041», «Поверхность: рентгеновские, синхротронные и ядерные исследования - **2009**, 6, 888; **2010**, 1, 45» и докладывались в Международных Научных Конференциях («СВЧ-техника и Телекоммуникационные технологии, - Крымико. г. Севастополь - **2009**, **2010**, **2011**», «Полупроводники – 09, Томск - **2009**», «Актуальные Проблемы Радиофизики, Томск - **2010**» и др.).

В докторской диссертации автора этой статьи на тему «Электрофизические свойства реальных КМП» (Баку-2004) [3] детально изложены физические основы явления возникновения ДЭП и обусловленные с ним электрофизические, термоэлектронные и конструктивно-технологические процессы в реальных КМП. Впоследствии всесторонние исследования образования ДЭП в реальных КМП и его особенности в зависимости от природы контактирующих материалов, конфигурации и геометрических размеров контактных структур, типа проводимости и концентрации примесей полупроводника проводились в кандидатской диссертационной работе сотрудника кафедры Физики Полупроводников Томского Государственного Университета В.А.Новикова под научным руководством д.ф.м.н., профессора И.В.Ивонина и к.ф.м.н. Н.А.Тхорика на тему «Исследование морфологии и электронных свойств поверхности пленок A^3B^5 и контактов металл / A^3B^5 методом Атомно-Силовой Микроскопии» (Томск-2010)[4]. В этой диссертации, в частности, представлены резуль-

таты непосредственного измерения ДЭП с методикой АСМ на контактах металлов (Au, Ni, Ti, Pd) с полупроводниками (n-GaAs, n⁺- GaAs, p - GaAs), феноменологическая модель распределения потенциала ДЭП вдоль свободной и контактной поверхностей, ряд новейших и важнейших научных результатов по КМП, предсказанных на основе теоретических предпосылок, изложенных в монографии [2].

Явление возникновения ДЭП в реальных КМП позволяет открывать новые научные направления в области физики полупроводников и полупроводниковых приборов, твердого тела, тонких пленок, поверхности, нанофизики, микроэлектроники, фотоэлектроники, биоэлектроники, наноэлектроники и др. Это явление позволяет более глубоко и детально интерпретировать процессы, происходящие в реальных контактных структурах конденсированных сред.

Явление ДЭП может привести к открытию нового источника энергии и в тоже время является научной основой для повышения качества и расширения функциональных возможностей многочисленных дискретных полупроводниковых приборов, микросхем и наносхем на основе КМП структур. Данные структуры составляют элементную базу всех видов приборов и установок современной электронной техники. Уже разработан [5] КМП преобразователь световой энергии в электрическую, где ток фотоэдс превышает темновой ток более чем в 1000 раз. Между тем в аналогичном КМП преобразователе без ДЭП ток фотоэдс превышает темновой ток всего около 10 раз. Кроме того, недавно выявлены [6] новые свойства КМП с ДЭП, в которых обратный ток полностью отсутствует при начальных напряжениях и скачкообразно растет при дальнейшем увеличении напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мамедов Р.К. Двухбарьерная физическая модель реальных контактов металл-полупроводник, Вестник Бакинского Университета: серия физ. мат. наук, 2001, № 2, с. 84-94. http://static.bsu.az/w10/pdf/mamedov_maq.pdf
2. Мамедов Р.К. Контакты металл - полупроводник с электрическим полем пятен, Баку: БГУ, 2003, 231 с. <http://static.bsu.az/w10/pdf/mrg-kitab.pdf>
3. Мамедов Р.К. Электрофизические свойства реальных контактов металл – полупроводник, Автореферат докторской диссертации, Баку: БГУ, 2004, 60 с. http://static.bsu.az/w10/pdf/mamedov_afr.pdf
4. Новиков В.А. Исследование морфологии и электронных свойств поверхности пленок А^{III}В^V и контактов металл/А^{III}В^V методом атомно-силовой микроскопии, Автореферат кандидатской диссертации, Томск: ТГУ, 2010, 18 с. <http://sun.tsu.ru/mminfo/2010/000396199/000396199.pdf>
5. Торхов Н.А. Влияние фотоэдс на токопрохождение в контактах металл – полупроводник с барьером Шоттки, ФТП, 2011, т.45, в.7, с.965 -973 <http://journals.ioffe.ru/ftp>
6. Mamedov R.K., Yeganeh M.A. Current Trans and Formation of Energy Structures in Narrow Schottky diodes, J. Microelectronics Reliability, 2012, v.52, №2, p418-424. www.journals.elsevier.com/microelectronics-reliability.

METAL – YARIMKEÇİRİCİ KONTAKTLARDAKI ƏLAVƏ ELEKTRİK SAHƏSİNİN ATOM - QÜVVƏ MİKROSKOPU VASİTƏSİLƏ TƏDQIQI

R.Q.MƏMMƏDOV

XÜLASƏ

Bizim ilk dəfə olaraq real metal – yarımkeçirici kontaktlarda (MYK) elektrofiziki və termoelektrik metodlarla aşkar etdiyimiz əlavə elektrik sahəsi (ƏES) son illərdə Rusiyanın Elmi Mərkəzlərində atom qüvvə mikroskopu ilə bilavasitə ölçülmüş və ətraflı tədqiq edilmişdir. Müasir mikroelektronika və nanotexnologiya üçün çox ehtiyac duyulan yeni xassələrə malik ƏES-li MYK diodlar artıq işlənilib hazırlanmışdır.

Açar sözlər: əlavə elektrik sahəsi, Şottki diodu, potensial çəpər, real kontakt, omik kontakt.

STUDY OF ADDITIONAL ELECTRIC FIELD IN METAL - SEMICONDUCTOR CONTACTS BY ATOMIC - FORCE MICROSCOPY

R.K.MAMEDOV

SUMMARY

The additional electric field (AEF) in real metal - semiconductor contacts (MSC) discovered by us for the first time with electrophysical and thermoelectric methods has recently been directly measured by means of atomic - force microscopy and precisely investigated in Science Centers of Russia. MSC diodes with AEF having absolutely new properties which are very necessary for the development of modern microelectronics and nanotechnology are already developed.

Keywords: additional electric field, Shottky diode, potential barrier, real contact, ohmic contact.

Поступила в редакцию: 10.03.2011 г.

Подписано к печати: 19.12.2011 г.