На правах рукописи

Новиков Вадим Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК $A^{III}B^{V}$ И КОНТАКТОВ МЕТАЛЛ/$A^{III}B^{V}$ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

специальность 01.04.10 – физика полупроводников

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Томск – 2010

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Томский государственный университет»

Научные руководители: доктор физико-математических наук,
Ивонин Иван Варфоломеевич

кандидат физико-математических наук
Торхов Николай Анатольевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
Панин Алексей Викторович

доктор физико-математических наук,
Давыдов Валерий Николаевич

Ведущая организация: Учреждение Российской Академии Наук Институт физики полупроводников СО РАН

Защита состоится 23 декабря 2010 г. в 16 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.267.07 в ГОУ ВПО «Томский государственный университет» по адресу: 634050, г.Томск, пр.Ленина, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке ГОУ ВПО «Томский государственный университет» по адресу: 634050, г.Томск, пр.Ленина, 34 а.

Автореферат разослан 22 ноября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.267.07,
доктор физико-математических наук,
Ивонин Иван Варфоломеевич И.В.Ивонин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Развитие микроэлектроники, произошедшее за последние десятилетия, привело к уменьшению латеральных размеров исполнительных элементов интегральных микросхем до нескольких десятков нанометров. Поэтому на современном этапе развития микроэлектроники резко повышаются требования к свойствам поверхности полупроводников, например, шероховатости поверхности, её чистоте, однородности распределения примеси и т.д. на достаточно больших площадях. Это связано с тем, что свойства поверхности определяют электрофизические характеристики границы раздела. Так, например, в работе [1] показано, что именно граница раздела металл-полупроводник определяет высоту барьера и показатель идеальности выпрямляющего контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки.

В условиях промышленного производства полупроводниковых приборов практически невозможно создать идеально гладкую поверхность полупроводника. Это связано с большим числом операций, применяемых в данном производстве: травление в кислотах и щелочах, нанесение фоторезистов, металлизации, диэлектриков и т.д. Все это может привести к изменению геометрии и электрофизических свойств границы раздела на локальном и интегральном уровнях. Поэтому целесообразно проводить детальные исследования свойств поверхности полупроводника на различных стадиях технологического маршрута для выяснения особенностей формирования границ раздела приборов. Именно в этих областях структур можно найти ответ на те или иные отклонения электрофизических характеристик реальных приборов от расчетных.

Применение современных электронных микроскопов позволяет с атомарных разрешением изучать морфологию готовых поверхностей. Однако, несмотря на это, данная методика исследования мало доступна на производстве из-за повышенных требований к подготовке образцов. Наиболее перспективным методом как для исследований, так и экспресс-анализов, является атомно-силовая микроскопия. Данная методика сочетает в себе высокое разрешение, присущее электронным и сканирующим туннельным микроскопам, и при этом не требует сложной подготовки образцов для исследования и обязательной электропроводности. При этом, по

сравнению с электронными микроскопами, данная методика позволяет реконструировать трехмерную топографию выбранного участка поверхности. Сочетание в одном приборе возможности измерения нескольких типов сил взаимодействия, АСМ позволяет с нанометровым разрешением измерять наряду с морфологией электрофизические и магнитные характеристики поверхности.

Работа выполнена в рамках Темплана Томского госуниверситета (задание Федерального агентства по образованию), тема 1.13.09; проекта № 2.1.2/5649 АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (2009 – 2010 гг.), гранта РФФИ № 10-02-90737-моб_ст.

Цель работы

Целью данной работы является исследование морфологии и электронных свойств поверхности подложек n+-GaAs и эпитаксиальных пленок n-GaAs на разных стадиях стандартного технологического цикла создания диодов с барьером Шоттки, а также контактов металл/n-GaAs методом атомно-силовой микроскопии. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать влияние стандартных технологических операций на морфологию и распределение поверхностного потенциала подложек n+-GaAs и эпитаксиальных слоев n-GaAs.
2. С применением методов фрактальной геометрии определить влияние способа обработки на фактическую площадь поверхности GaAs.
3. Изучить распределение контактной разности потенциала по поверхности субмикронных металлических пленок, нанесенных на GaAs.
4. Исследовать распределение поверхностного потенциала в контактах металл-полупроводник с барьером Шоттки.

Исследования выполнены на структурах, изготовленных в ОАО «НИИ полупроводниковых приборов», г.Томск.

Научная новизна

1. Экспериментально показано, что используемые при производстве полупроводниковых приборов стандартные технологические операции способны значительно изменить как величину, так и распределение работы выхода поверхности GaAs.

2. С применением методов фрактальной геометрии показано, что фактическая площадь поверхности n-GaAs, может увеличиваться от 2 до 48 раз по отношению к ее проекции на плоскость XY в зависимости от типа химической обработки.

3. Установлено, что величина и распределение поверхностного потенциала металлических пленок субмикронной толщины во многом определяется состоянием границы раздела металл-полупроводник.

4. Впервые проведены прямые измерения электрического поля контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки. На основе экспериментальных данных предложена феноменологическая модель распределения контактной разности потенциала контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки с учетом его периферийной области. Данная модель позволила объяснить наблюдаемые изменения распределения поверхностного потенциала контактов металл-полупроводник с барьером Шоттки в зависимости от свойств поверхности и конструкции контакта.

5. Впервые с нанометровым разрешением визуализировано локальное распределение проводимости по площади и периферии контакта. Наблюдаемые различия в локальном токопрохождении через контакт обусловлены влиянием межзеренных границ и свойствами периферии контакта.

Практическая ценность

1. Методы атомно-силовой микроскопии можно эффективно использовать при разработке новых технологических процессов формирования контактов металл - полупроводник.

2. Результаты исследования контактной разности потенциалов и проводимости в структурах Me/GaAs могут быть использованы при конструировании полупроводниковых приборов и модельных расчетах их характеристик.

3. При анализе электрических характеристик контактов металл-полупроводник, например, вольт-амперных, необходимо учитывать фактическую площадь границы раздела металл-полупроводник.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Используемые при производстве полупроводниковых приборов, стандартные технологические операции приводят к значительному изменению работы выхода n-GaAs: каждый способ обработки поверхности характеризуется своим значением работы выхода GaAs.
2. Реальная площадь поверхности GaAs после химических обработок во много раз превышает расчетную, определяемую как геометрическая проекция на плоскость XY: от 2 до 48, в зависимости от типа обработки.
3. Эффективная работа выхода пленок металла субмикронной толщины, нанесенных на полупроводник, определяемая из величины контактной разности потенциала, полученной методом зонда Кельвина, включает в себя дополнительный вклад, обусловленный свойствами границы раздела металл-полупроводник.
4. Впервые проведены прямые измерения электрического поля контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки методом зонда Кельвина. На основе полученных данных предложена феноменологическая модель распределения контактной разности потенциала контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки с учетом его периферийной области.

Публикации и апробация работы

Основные результаты работы докладывались на Международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии – Крымико» (г.Севастополь, 2009, 2010гг.), Международной конференции по физике полупроводников «Полупроводники 09» (г.Томск, 2009 г.), Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы радиофизики АПР-2010» (г.Томск, 2010 г.), Российской научно студенческой конференции «Физика твердого тела» (г.Томск, 2008, 2010), 11-ой Всероссийской молодежной конференции по физике

полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и наноэлектронике (г.Санкт-Петербург, 2009 г.), 16-ой Всероссийской научной конференции студентов физиков и молодых ученых (г.Волгоград, 2010 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 статей в научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Опубликовано 12 тезисов в материалах международных и российских конференций.

Личный вклад автора. При получении результатов данной работы автором внесен существенный вклад, состоящий в участии в постановке задач, в проведении экспериментов, обработке и интерпретации результатов экспериментов.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и 3 приложений. Содержит 56 рисунков, 35 формул и 8 таблиц, библиографический список включает 70 наименований — всего 133 страницы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследуемой проблемы, сформулирована цель работы и пути её достижения, представлены выносимые на защиту положения, описана структура диссертации.

Первая глава является обзором литературных данных по теме диссертации. Описаны теоретические модели образования контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки. Уделено особое внимание электрофизическим свойствам реальных контактов с барьером Шоттки, приведены экспериментальные данные, подтверждающие справедливость теоретических представлений процессов в ограниченных и неоднородных контактах.

Показано, что наличие периферии контакта приводит к образованию дополнительного электрического поля E_d, сосредоточенного вдоль периметра контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки (КМП с БШ) [2]. Наличие дополнительного электрического поля E_d приводит к изменению высоты барьера вдоль периферии широких и по всей площади узких контактов с БШ. Локальное или

интегральное изменение высоты барьера приводит к изменению процессов токопрохождения.

В ряде работ [3-5] экспериментально показано, что работа выхода по поверхности металлов и полупроводников распределена неоднородно. Следовательно, при образовании границы раздела данные поверхности должны образовывать контакт металл-полупроводник с неоднородно распределенной высотой барьера, что приведет к изменению электрофизических характеристик готового прибора. В работе [2] предложена теоретическая модель процессов токопрохождения при различных прикладываемых напряжениях.

Во второй главе описаны основные методы исследования поверхностей, применяемые в данной работе. В первой части главы рассмотрены основы атомно-силовой микроскопии. Подробно описаны метод зонда Кельвина для измерения поверхностного потенциала и метод измерения сопротивления растекания.

Метод зонда Кельвина основан на измерении контактной разности потенциала (КРП) между острием иглы кантилевера и локальным участком поверхности. Зная работу выхода зонда и величину, измеренной контактной разности потенциала, можно из картины распределения КРП реконструировать изменение работы выхода по заданной площади по формуле:

$$\varphi = \varphi_{\text{Р}} - \Delta\varphi, \quad (1)$$

где φ – работа выхода с поверхности образца в заданной точке, $\varphi_{\text{Р}}$ – работа выхода зонда, Δφ – величина КРП в измеряемой точке.

Наряду с измерением распределения КРП, современные атомно-силовые микроскопы позволяют изучать распределение удельного сопротивления структуры. Для этого необходимо, чтобы зонд был изготовлен из токопроводящего материала. В работе [6] показано, что сила давления зонда на поверхность влияет на измеряемую величину силы тока. Кроме влияния силы давления острия иглы на поверхность, значительный вклад в картину распределения вносит лазер АСМ (длина волны 650 нм), используемый для регистрации изгиба балки кантилевера. Дифракция данного

лазера на балке кантилевера приводит к неравномерному распределению фототока по изучаемой поверхности.

Во второй части данной главы даны общие понятия фрактальной размерности. В качестве метода определения фрактальной размерности выбран метод триангуляции. Суть методики заключается в подсчете суммарной площади (S) всех боковых граней пирамид, покрывающих поверхность. Длина основания пирамиды (δ) уменьшается вдвое на каждом последующем шаге. В результате при δ→0, S→∞. Из методов фрактальной геометрии известно, что фактическая площадь поверхности (S) соотносится с площадью ее проекции на плоскость XY (S_0) по следующему закону:

$$S = S_0 \delta^{2-D_f} \quad (2)$$

где D_f – значение фрактальной размерности, которую также называют размерностью Хаусдорфа-Безиковича. Для фрактальных объектов значение D_f строго больше их топологической размерности.

В третьей главе исследовано влияние стандартных технологических операций, применяемых в ОАО «НИИПП», на морфологию и распределение КРП по поверхности подложки n+-GaAs и эпитаксиальных слоев n-GaAs, полученным методом МОС-гидридной эпитаксии.

Экспериментально показано, что величина и распределение работы выхода по поверхности GaAs зависит от способа химической обработки. При анализе АСМ данных по распределению КРП показано, что минимальная работа выхода (3,92 эВ) эпитаксиального слоя n-GaAs соответствует входной обработке МОФИС. Максимальное значение работы выхода 4.3 эВ, соответствует исходной поверхности n-GaAs.

Применение химической обработки МОФИС приводит к растравливанию поверхности эпитаксиального слоя. В результате, основными элементами поверхности становятся холмики со средним диаметром основания d_X=45±6 нм и высотой h_X=1,73±0,45 нм. Последующее нанесение и удаление 300 нм слоя диэлектрика (SiO_2) приводит к дополнительному растравливанию поверхности – d_X=54±12 нм и h_X=1,37±0,45 нм.

После удаления слоя SiO_2 было проведено сравнение трех типов финишной обработки. В качестве таковых были выбраны сернокислотный, солянокислый и аммиачный растворы. Из сравнения морфологии поверхности видно, что применение аммиачного раствора практически не изменяет морфологию поверхности. Сернокислотный раствор приводит к наибольшему растравливанию поверхности. В результате данной обработки поверхности размеры основных элементов поверхности равны: d_X=96±13нм и h_X=3,13±0,61нм, т.е. практически вдвое больше, чем после удаления слоя диэлектрика.

Применение сернокислотного и аммиачного растворов в качестве финишной обработки поверхности практически не изменяют величину, измеряемой работы выхода эпитаксиального n-GaAs. Применение солянокислого раствора приводит к увеличению значения работы выхода на 0,09 эВ.

Используя фрактальный подход к анализу АСМ изображений морфологии поверхности, получены зависимости $\ln(S/S_0)$ от $\ln(\delta)$ (рис.1), из которых были получены значения фрактальной размерности.

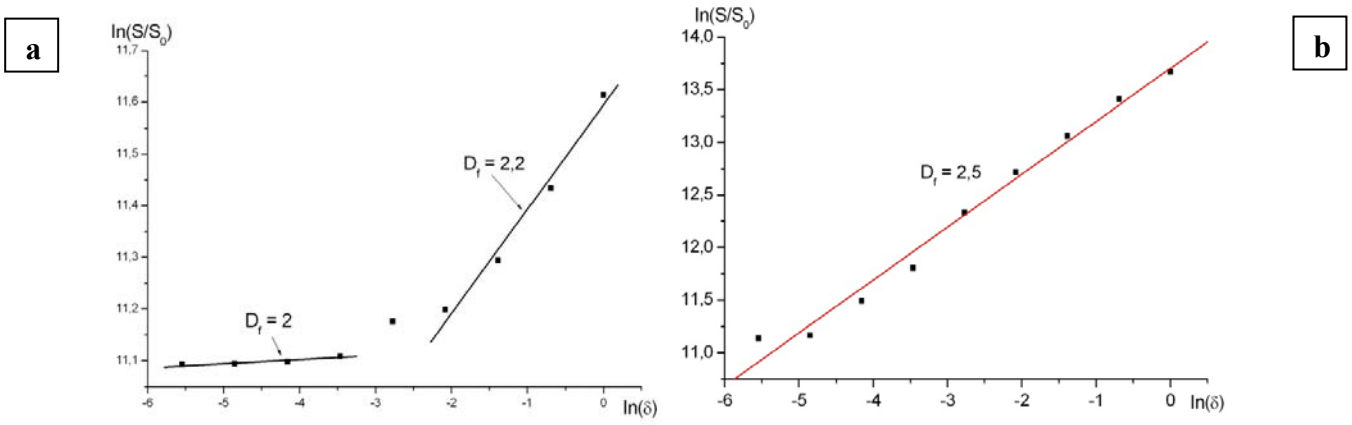

Рис.1 Зависимость $\ln(S/S_0)$ от $\ln(\delta)$ для расчета фрактальной размерности методом триангуляции для областей сканирования (a) 100x100 мкм^2 и (b) 10x10 мкм^2 исходной поверхности эпитаксиальной пленки n-GaAs

Из рис.1а видно, что при больших областях сканирования (как правило более 50x50 мкм^2) можно выделить два участка зависимости близких к линейной. При больших значениях параметра δ, значение D_f близко к 2, при уменьшении значения δ величина D_f становиться отличной от топологической. При больших увеличениях

зависимость $\ln(S/S_0)$ от $\ln(\delta)$ описывается одной линейной функцией, как показано на рис.1b.

Значения фрактальной размерности поверхности эпитаксиального слоя n-GaAs при различных областях сканирования и типах химической обработки приведены в таблице 1. Из сравнения значений D_f при различных величинах области сканирования можно определить область локального приближения. Например, после входной обработки МОФИС, при изменении области сканирования от 50x50 до 1x1 мкм^2, значение D_f слабо изменяется. Следовательно, поверхность в данных пределах увеличений можно характеризовать фрактальной размерностью равной 2,57±0,03.

Таблица 1 Значения фрактальной размерности (D_f(м)) и фактической площади поверхности (S_{fact}) в зависимости от способа обработки поверхности при различных размерах области сканирования, значение параметра δ=1/256

способ обработки		размер области сканирования, мкм^2				
		100x100	44,3x44,3	26,6x26,6	4,43x4,43	1x1
	S_0, мкм^2	10000	1962,49	707,56	19,6249	1
МОФИС	D_f(м)	2,28	2,59	2,60	2,54	2,56
	S_{fact}	47239,71	51721,25	19710,94	391,97	22,32
удаление SiO_2	D_f(м)	2,55	2,55	2,32	2,65	2,43
	S_{fact}	211121,27	41432,34	4172,54	721,38	10,85
раствор H_2SO_4	D_f(м)	2,42	2,51	2,54	2,60	2,52
	S_{fact}	102674,07	33190,20	14132,30	546,70	17,88
раствор HCl	D_f(м)	2,16	2,53	2,70	2,64	2,51
	S_{fact}	24283,90	37082,98	34318,73	682,47	16,91
раствор NH_4ON	D_f(м)	2,17	2,50	2,44	2,63	2,52
	S_{fact}	25668,52	31399,84	8116,88	645,65	17,88

В процессе измерения морфологии поверхности методом АСМ поддерживали постоянным величину точек измерений (256x256). Поэтому в качестве минимального значения параметра δ брали значение 1/256. Используя формулу 2, были посчитаны значения фактической площади поверхности. Из сравнения значений S и площади

проекции поверхности на плоскость XY (таблица 1) получено, что значение фактической площади поверхности может быть в 2-48 раз больше ее проекции.

Так как площадь поверхности полупроводника может значительно изменяться в зависимости от типа химической обработки, то реальная площадь граница раздела металл-полупроводник также будет увеличиваться. Поэтому при анализе экспериментальных данных, например, вольт-амперных характеристик, необходимо учитывать величину фактической площади поверхности после финишной обработки, предшествующей нанесению барьерной металлизации.

В четвертой главе представлены результаты исследования морфологии и распределения КРП поверхности металлических пленок, толщина которых составляла 50 нм, 100 нм и 200 нм. В качестве металлов были выбраны Au, Ni, Ti, Pd. Металлизация наносилась на поверхность n-GaAs, n+-GaAs и p-GaAs, методом электрохимического осаждения из электролита или напылением из газовой фазы в вакууме.

Из сравнения АСМ изображений морфологии поверхности металлических пленок показано, что способ нанесения субмикронных металлических пленок на поверхность полупроводника оказывает значительное влияние на форму и размеры зерен металлизации. Как и ожидалось, увеличение толщины металлизации проводит к увеличению размеров зерен металла, например, при толщине золота 50 нм, электрохимически осажденного на поверхность n+-GaAs, диаметр основания зерен Au составляет 50 нм. При увеличении толщины данной пленки до 200 нм диаметр основания зерен Au увеличивается до 200 нм. Если слой золота напылен в вакууме на поверхность n+-GaAs, то при толщине металлизации 50 нм диаметр основания зерен Au составляет 170 нм, а при толщине металлизации 200 нм – 400 нм.

Распределение контактной разности потенциала по поверхности пленок Au, осажденных электрохимически или напыленных из газовой фазы в вакууме, является однородным. Из значений контактной разности потенциалов были получены значения работы выхода тонких пленок золота, которые изменялись от 5,05 эВ до 5,25 эВ, что хорошо согласуется с табличными величинами 5,1-5,13 эВ [7,8].

Электрохимическое осаждение пленки золота на поверхность p-GaAs приводит к неоднородному распределению контактной разности потенциала. При этом форма зерен золота становиться близкой к квадратной с шириной стороны 330-380 нм и высотой 15-24 нм. Значение работы выхода пленки Au осажденной электрохимически на поверхность p-GaAs, составляет 5,54 эВ что на 0,4 эВ больше табличной величины.

Аналогичным образом были изучены поверхности пленок Ni, Pd и Ti, нанесенных на n+-GaAs или n-GaAs. Исследования показали, что при нанесении субмикронной металлической пленки на n+-GaAs значения работы выхода, полученные из контактной разности потенциала хорошо согласуются с табличными значениями для данных металлов.

Также были проведены исследования морфологии, распределения КРП и проводимости контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки на основе Pt/n-GaAs, толщина металлизации составляла 200 нм (рис.2). На рис.2 в центре матрицы КМП с БШ диаметром 10 мкм находится контакт, который в процессе измерения ВАХ был пробит. В процессе пробоя происходит изменение состояния границы раздела, что хорошо видно из ВАХ, приведенной на рис.2d. Из рис.2d видно, что ВАХ пробитого контакта соответствует омическому контакту. Из профиля КРП, приведенного на рис.2f видно, что значение КРП на поверхности пробитого контакта отличается от соседних (не пробитых) на величину порядка 180 мВ.

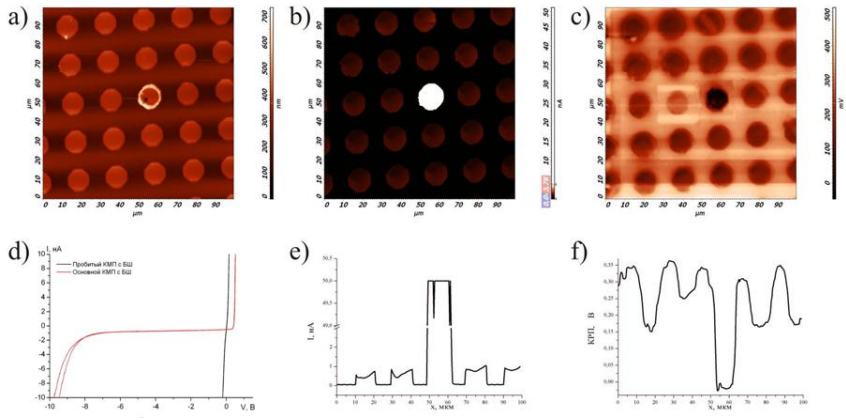

Рис.2 АСМ изображение морфологии (a), распределения проводимости при напряжении -5В (b), распределения поверхностного потенциала (c), профили проводимости(e) и КРП (f), ВАХ (d) КМП с БШ на основе Pt/n-GaAs. Толщина металлизации составляла 200 нм

Таким образом, значение работы выхода субмикронных металлических пленок, нанесенных на поверхность полупроводника, содержит дополнительный вклад, зависящий от состояния границы раздела металл-полупроводник.

<u>В пятой главе</u> показаны результаты исследования распределения КРП вдоль структуры металл-полупроводник с барьером Шоттки. Предложена феноменологическая модель распределения поверхностного потенциала в данных структурах, представленная на рис.3.

Из литературы [2] известно, что по периферии контакта должно существовать дополнительное электрическое поле E_d. Из экспериментальных данных было получено, что с обеих сторон относительно периферии контакта наблюдаются протяженные (15-40 мкм) области плавного изменения поверхностного потенциала, обозначенные на рис.3 I и II.

Область I образует вокруг контакта потенциальный ореол, т.е. область, где поверхностный потенциал линейно уменьшается по мере приближения к периферии контакта. В области II, поверхностный потенциал изменяется по экспоненциальному закону:

$$КРП_{II} = \phi_P - \phi^*_{Me} + A\exp(-\frac{x}{t}) \quad (3)$$

где φ_P – работа выхода зонда; φ^*_{Me}- работа выхода металла, содержащая дополнительный вклад, обусловленный состоянием границы раздела металл-полупроводник.

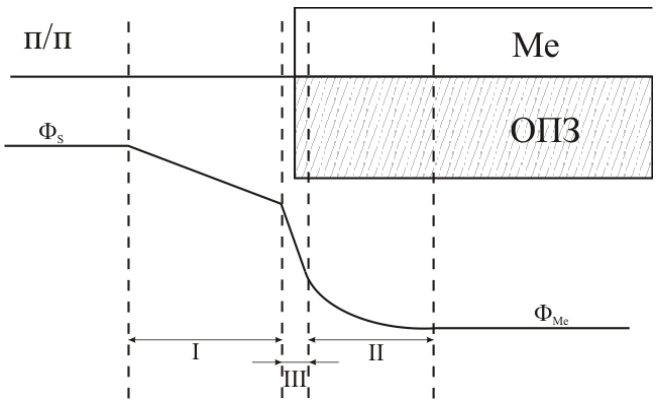

Рис.3 Схематическое изображение изменения потенциала в КМП с БШ

Также выделяется область III, которую будем называть областью резкого изменения КРП на периферии контакта. Данная область сшивает между собой области I и II. Из профилей распределения КРП было получено, что ширина данной области зависит от диаметра и толщины контакта.

Из феноменологической модели, приведенной на рис.3 можно сделать вывод о том, что диаметр контактов и их взаимное расположение должно оказывать значительное влияние на величину КРП в центре контакта и на поверхности полупроводника между ними, как показано на рис.4. Из рис.4 видно, что при расстоянии между контактами $L>l_{кр}$, где $l_{кр}$ равно удвоенной ширине потенциального ореола, значение КРП меду контактами соответствует таковому для свободной поверхности полупроводника. Если уменьшать расстояние между контактами, потенциальные ореолы начнут взаимодействовать, что приведет к изменению величины КРП. Аналогичная ситуация развивается при уменьшении латеральных размеров контакта, как показано на рис.4. Таким образом, при $L\rightarrow 0$, КРП в области между контактами $\varphi_S\rightarrow\varphi_{Me*}$, т.е. к КРП в области металлизации и наоборот, при $d\rightarrow 0$, $\varphi_{Me*}\rightarrow\varphi_S$. Данные предположения из анализа модели распределения потенциала в структурах КМП с БШ подтверждаются экспериментально.

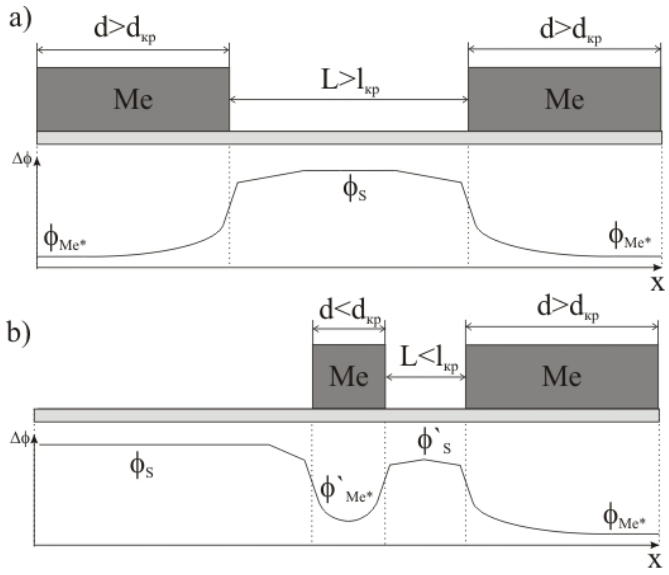

Рис.4 Схематическое изображение взаимодействия областей I и II на профиль КРП

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ РАБОТЫ

1. Экспериментально показано, что используемые при производстве полупроводниковых приборов стандартные технологические операции способны значительно изменить величину и распределение работы выхода GaAs.

2. На основе анализа топографии эпитаксиального n-GaAs после ряда химических обработок показано, что фактическая площадь поверхности может быть намного (от 2 до 48 раз) больше площади ее проекции на плоскость XY. Данный факт необходимо учитывать при анализе экспериментальных данных, например, вольт-амперных характеристик диодов с барьером Шоттки.

3. Установлено, что величина и распределение поверхностного потенциала тонких (субмикронных) металлических пленок во многом определяется состоянием границы раздела металл-полупроводник. Экспериментально измеряемая контактная разность потенциалов отличается от расчетной на величину, связанную с зарядовым состоянием границы раздела.

4. Впервые проведены прямые измерения электрического поля контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки. На основе полученных данных предложена феноменологическая модель распределения контактной разности потенциала контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки с учетом его периферийной области. Данная модель позволила объяснить наблюдаемые изменения распределения поверхностного потенциала контактов металл-полупроводник с барьером Шоттки в зависимости от свойств поверхности и конструкции контакта.

5. Впервые с нанометровым разрешением визуализировано локальное распределение проводимости по площади и периферии контакта. Наблюдаемые различия в локальном токопрохождении через контакт обусловлены влиянием межзеренных границ и свойствами периферии контакта.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ В:

1. В.Г.Божков, Н.А.Торхов, И.В.Ивонин, В.А.Новиков. Исследование свойств поверхности арсенида галлия методом атомно-силовой микроскопии. //ФТП, 2008, т.42, вып.5, С.546-554
2. Н.А.Торхов, В.Г.Божков, И.В.Ивонин, В.А.Новиков. Определение фрактальной размерности поверхности эпитаксиального n-GaAs в локальном пределе. //ФТП, 2009, т.43, вып.1, С.38-47
3. Н.А.Торхов, В.А.Новиков. Фрактальная геометрия поверхностного потенциала электрохимически осажденных пленок платины и палладия. //ФТП, 2009, т.43, вып.8, С.1109-1116
4. Н.А.Торхов, В.Г.Божков, И.В.Ивонин, В.А.Новиков. Исследование распределения потенциала на локально металлизированной поверхности n-GaAs методом атомно-силовой микроскопии. //Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2009, №11, С.57-66
5. N.A.Torkhov, V.G.Bozhkov, I.V.Ivonin, V.A.Novikov. Determination of the Fractal Dimension for the Epitaxial n-GaAs Surface in the Local Limit. //Semiconductor structures, interfaces, and surfaces, 2009, V.43, №1, P.33-41
6. Божков В.Г., Торхов Н.А., Ивонин И.В., Новиков В.А. Исследование процесса токопрохождения в контактах металл-полупроводник с барьером Шоттки методом атомно-силовой микроскопии. //19-я Международная конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» Севастополь, 2009. С.535-536
7. Торхов Н.А., Божков В.Г., Новиков В.А., Ивонин И.В. Фрактальная геометрия рельефа и потенциалов поверхностей эпитаксиального арсенида галлия и барьерной металлизации. //19-я Международная конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» Севастополь, 2009. С.550-551
8. Новиков В.А. Исследование фрактального характера рельефа и распределения поверхностного потенциала GaAs с барьерой металлизацией. //11-я Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и наноэлектронике, Санкт-Петербург, 2009. С.29

9. Божков В.Г., Торхов Н.А., Ивонин И.В., Новиков В.А. Механизмы включения контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки. // IX Российская конференция по физике полупроводников «Полупроводники 2009» Новосибирск – Томск, 2009. С.333
10. Новиков В.А. Фракталы в физике полупроводников. //XII Российская научно студенческая конференция «Физика твердого тела» Томск, 2010. С.203-207
11. Новиков В.А., Назарчук Ю.Н. Измерение эффективной работы выхода с поверхности Au, осажденного на GaAs, методом зонда Кельвина. // XII Российская научно студенческая конференция «Физика твердого тела» Томск, 2010. С.244-248

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shin Yih-Cheng, Callegari A., Muracami M., Wilkie E.L., Hovel H.J., Parcs C.C., Childs K.D. Interfacial microstructute of tungsten silicide Schottky contacts to ntype GaAs. //J. Appl. Phys., 1988, v.64, №4, P.2113-2121
2. Мамедов Р.К. Контакты металл-полупроводник с электрическим полем пятен. – Баку, БГУ, 2003, С.231
3. Gaillard N., et al., Characterization of electrical and crystallographic properties of metal layers at deca-nanometer scale using Kelvin probe force microscope. //Microelectronic engineering, 2006, 83, P.2169-2174
4. Takahashi T., Kawamukai T. Phase detection of electrostatic force by AFM with a conductive tip. //Ultramicroscopy, 2000, 82, P.63-68
5. Glatzel Th., et al., Kelvin probe force microscopy on III-V semiconductors: the effect of surface defects on the local work function. //Materials Science and Engineering, 2003, B102, P.138-142
6. Wolf P. De, Snauwaert J., Clarysse T., Vandervorst W., and Hellemans L. Characterization of a point-contact on silicon using force microscopy-supported resistance measurements //Appl. Phys. Lett., 1995, 66 (12), P.1530-1532
7. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. М., Энергия, 1973, С.656
8. Периодическая система химических элементов [http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/]