

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
"БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ"

УДК 621.382.2: 546.28

Соловьев
Ярослав Александрович

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
КРЕМНИЕВЫХ ДИОДОВ ШОТКИ С ПОВЫШЕННОЙ
ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬЮ СВОЙСТВ В СЕРИЙНОМ
ПРОИЗВОДСТВЕ**

Специальность 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2005

Работа выполнена в УП «Завод Транзистор» научно–производственного объединения «Интеграл» и в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор
Баранов Валентин Владимирович
(Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кафедра электронной техники и технологии)

доктор технических наук, старший научный сотрудник
Зеленин Виктор Алексеевич |
(Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси», лаборатория равновесных систем)

кандидат технических наук, доцент
Черных Александр Георгиевич
(Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кафедра микро- и нанoeлектроники)

Оппонирующая организация:

Государственное научное учреждение
«Институт электроники НАН Беларуси»

Защита состоится « 29 » декабря 2005 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.03 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 239–89–89.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации.

Актуальность представленных в диссертационной работе исследований обусловлена тем, что существующие технологии формирования тонкопленочных элементов современных мощных диодов Шоттки обладают низкой воспроизводимостью характеристик и не удовлетворяют возросшим требованиям к параметрам приборов данного класса. Диоды Шоттки имеют низкие уровни потерь энергии на кристалле при прямом смещении из-за отсутствия ранее традиционного для мощных полупроводниковых приборов p - n –перехода и в то же время приемлемыми значениями обратных токов для устройств силовой электроники. Кроме того, производство диодов Шоттки отличается невысокими текущими затратами, что обусловлено сравнительно небольшим числом технологических операций в базовом маршруте. Поэтому приборы данного класса относятся к перспективным и являются конкурентоспособными на местном и зарубежном рынках.

До настоящего времени целенаправленные научные исследования в данной области в Беларуси практически не велись, что сдерживало разработку в Беларуси конкурентоспособных на мировом рынке приборов такого класса. Разработка высококачественных тонкопленочных элементов позволит решить данную проблему применительно к условиям серийного производства диодов Шоттки с повышенной воспроизводимостью свойств.

Диссертация посвящена разработке новых конструктивно – технологических методов формирования тонкопленочных элементов твердотельных структур кремниевых диодов Шоттки с повышенной воспроизводимостью свойств в серийном производстве.

Связь работы с крупными научными программами, темами.

Исследования проводились в рамках научно-исследовательских работ: «Разработка научных основ и методов создания многослойных плёночных структур на основе переходных металлов для контактов на монокристаллическом кремнии» по заданию 2.04 ГПОФИ «Материал», (№ Госрегистрации 20021213); «Разработать на основе силицидов и оксидов переходных металлов наноструктурные материалы и технологию формирования на пластинах кремния тонкоплёночных покрытий и освоить их на УП «Завод Транзистор» в серийном производстве кристаллов, устойчивых к повышенным температурам сборки и эксплуатации» по заданию 1.59 ГНТП «Новые материалы и технологии» (подпрограмма «Новые материалы и защита поверхностей», раздел 1 «Новые материалы») (№ Госрегистрации 20032576); «Разработать и опробовать технологию многослойной металлизации диодов Шоттки на основе тугоплавких переходных металлов и их силицидов» по договору с УП «Завод Транзистор» (№ Госрегистрации 20001608); «Исследовать показатели качества многослойной металлизации диодов Шоттки на основе тугоплавких переходных металлов и их силицидов и оптимизировать технологию ее формирования» по договору с УП «Завод Транзистор» (№ Госрегистрации 2001361); «Исследовать показатели качества многослойной

металлизации диодов Шоттки на основе ванадия и сплава молибдена и оптимизировать технологию её формирования» по договору с УП «Завод Транзистор» (№ Госрегистрации 2002288).

Цель и задачи исследования.

Целью настоящей работы является разработка новых конструктивно-технологических методов формирования тонкопленочных элементов твердотельных структур кремниевых диодов Шоттки с повышенной воспроизводимостью свойств в серийном производстве.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие основные задачи:

- разработка методики определения параметров выпрямляющих контактов по прямой и обратной ВАХ;
- разработка методики исследования распределения механических напряжений по толщине тонких пленок молибдена и сплава молибден-рений;
- исследование состава, структуры, механических и электрофизических свойств тонких пленок молибдена и сплава молибден-рений;
- исследование контактных свойств чистых металлов, сплавов и силицидов;
- исследование влияния высокотемпературного микромонтажа на контактные свойства металлизации и защитные свойства пассивации твердотельных структур диодов Шоттки;
- разработка конструктивно – технологических методов формирования тонкопленочных элементов кремниевых диодов Шоттки с повышенной воспроизводимостью свойств для нанесения на обратную сторону кремниевых полупроводниковых приборов.

Объект и предмет исследования.

Объектом исследования являются тонкопленочные элементы твердотельных структур кремниевых диодов Шоттки, а также методы их получения.

Предмет исследования – закономерности состава, структуры, механических, электрофизических и контактных свойства тонкопленочных элементов твердотельных структур кремниевых диодов Шоттки.

Гипотеза.

Научной гипотезой является предположение о возможности активного управления структурой, механическими, электрофизическими и контактными свойствами тонкопленочных элементов путем изменения режимов формирования тонких пленок и контактов твердотельных структур диодов Шоттки.

Методология и методы проведенного исследования.

При решении поставленных задач использовались известные методы формирования твердотельных кремниевых структур для микроэлектроники, нанесение металлических слоев тонкопленочных элементов производилось магнетронным распылением и электронно-лучевым испарением, слои силицидов формировались твердофазной реакцией металлических слоев с

кремниевой подложкой при термическом воздействии, диэлектрические слои формировались термическим окислением и химическим осаждением из газовой фазы.

Состав тонкопленочных элементов исследовался электронной Оже – спектроскопией при помощи Оже – спектрометра РНІ-660 (Perkin Elmer, США), структура тонких пленок исследовалась просвечивающей электронной микроскопией в горизонтальном и вертикальном сечениях с использованием электронографического анализа на просвечивающем электронном микроскопе Н-800 (Hitachi, Япония), твердотельные структуры диодов Шоттки исследовались на растровом электронном микроскопе S-806 (Hitachi), механические напряжения измерялись на установке рентгеновской двухкристалльной топографической (УРДТ). Электрофизические и контактные свойства тонкопленочных элементов исследовались при помощи автоматизированного измерительного комплекса HP-4061 (Hewlett Packard, США). Достоверность результатов и выводов подтверждена современными методами и техническими средствами исследований, такими как методы спектроскопии, оптической и электронной микроскопии.

Научная новизна и значимость полученных результатов.

1. Установлено, что в тонких пленках молибдена, нанесенных магнетронным распылением на кремниевую подложку, при давлении аргона 0,4 – 0,6 Па, температуре подложки 350 – 450 °С и скорости нанесения 2,8 – 3,6 нм/с достигается наилучшее сочетание структурных, механических и электрофизических свойств. При этом размер зерна составляет 10 – 50 нм, механические напряжения не превышают 200 МПа, а удельное сопротивление менее 0,11 мКОм·м.

2. Установлено, что в двухслойном пассивирующем покрытии $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ при толщине слоя пентаоксида тантала 0,07 – 0,4 мкм обеспечивается наилучшая защита твердотельной структуры кремниевого диода Шоттки от деградации электрических параметров после высокотемпературного микромонтажа.

3. Установлено, что в металлизации обратной стороны полупроводниковых приборов с припоеобразующей многослойной структурой Sn/Pb/Sn максимальный выход годных достигается при суммарной толщине слое более 8,0 мкм. При отношении толщины слоя свинца к суммарной толщине слоев олова более 4,4 температура плавления припоеобразующей припойной структуры превышает 295 °С, что позволяет производить присоединение внешних выводов термокомпрессионной микросваркой.

4. Разработана новая методика исследования распределения остаточных механических напряжений по толщине пленок молибдена и его сплавов, основанная на зависимости скорости травления материала пленки от величины механических напряжений.

5. Разработана экспресс – методика определения электрофизических параметров контактов Шоттки, основанная на расчете численными методами параметров модели ВАХ, позволяющая вычислять по прямой и обратной ветвям ВАХ высоту барьера Шоттки, коэффициент неидеальности,

последовательное сопротивление, толщину промежуточного слоя с учетом неоднородностей на границе металл–кремний.

Практическая значимость полученных результатов.

1. Разработана конструкция магнетронного распылительного устройства с прямым охлаждением мишени, что позволило разработать и внедрить технологические процессы нанесения тонких пленок титана, ванадия, тантала, сплава никель–ванадий для формирования тонкопленочных элементов в серийном производстве широкой гаммы диодов Шоттки, MOSFET и биполярных транзисторов малой средней и большой мощности, интегральных микросхем стабилизаторов напряжения.

2. Разработан технологический процесс нанесения тонких пленок молибдена с оптимальным сочетанием механических, электрофизических и структурных свойств, который может использоваться для серийного производства диодов Шоттки с молибденовым барьером.

3. Разработана конструкция мощного диода Шоттки с молибденовым барьером, а также способ его изготовления, которые могут быть использованы для серийного производства диодов Шоттки с прямым током от 1,0 до 50 А и обратным напряжением до 150 В.

4. Разработаны металлизация обратной стороны полупроводниковых приборов, содержащая припоеобразующую многослойную структуру Sn/Pb/Sn, и способ ее нанесения, которые позволяют упростить технологический процесс микромонтажа кристаллов и увеличить выход годных изделий электронной техники за счет исключения припойной прокладки, вводимой между кристаллом и подложкодержателем полупроводникового прибора.

5. Разработана конструкция диода Шоттки с двухслойным пассивирующим покрытием $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ с толщиной слоя пентаоксида тантала 0,07 – 0,4 мкм, что позволяет обеспечить защиту твердотельной структуры кремниевого диода Шоттки от деградации электрических параметров после высокотемпературного микромонтажа.

По результатам проведенных исследований и выполнения последующего целенаправленного комплекса работ по усовершенствованию маршрутной технологии диодов Шоттки с молибденовым барьером выход годных был увеличен на 16 %. На УП «Завод Транзистор» объем производства диодов Шоттки с величиной прямых токов 1,0 – 50 А и обратных напряжений 20 – 100 В в 2001–2004 составил более 500 млн. штук на сумму 7,5 млн. долл. США.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Автор защищает:

1. Разработанную новую методику исследования распределения остаточных механических напряжений по толщине пленок молибдена и его сплавов, основанную на зависимости скорости травления материала пленки от величины механических напряжений.

2. Разработанную экспресс – методику определения электрофизических параметров контактов Шоттки, основанную на расчете численными методами параметров модели ВАХ, позволяющую определять по прямой и обратной ветвям ВАХ высоту барьера Шоттки, коэффициент неидеальности,

последовательное сопротивление, толщину промежуточного слоя с учетом неоднородностей на границе металл–кремний.

3. Установленные закономерности структуры, механических и электрофизических свойств тонких пленок молибдена и сплава молибден - рений от параметров технологического процесса их нанесения магнетронным распылением.

4. Разработанные новые конструктивно – технологические методы формирования тонкопленочных элементов твердотельной структуры кремниевого диода Шоттки, с двухслойным пассивирующим покрытием $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ с толщиной слоя пентаоксида тантала 0,07 – 0,4 мкм, обеспечивающим наилучшую защиту твердотельной структуры диода Шоттки от деградации электрических параметров после высокотемпературного микромонтажа.

5. Разработанную конструкцию металлизации обратной стороны полупроводниковых приборов, содержащую припоеобразующей многослойной структуры Sn/Pb/Sn, а также способ ее нанесения, позволяющие упростить и удешевить технологический процесс микромонтажа кристаллов в корпус за счет исключения припойной прокладки, вводимой между кристаллом и подложкодержателем полупроводникового прибора.

Личный вклад соискателя.

Содержание диссертации отражает личный вклад соискателя. Он заключается в проведении теоретического анализа современных конструктивно-технологических методов формирования твердотельных структур и тонкопленочных элементов кремниевых диодов Шоттки, разработке математической модели ВАХ твердотельной структуры диода Шоттки, разработке методики определения параметров контактов Шоттки расчетом численными методами параметров ВАХ, подготовке и проведении экспериментов по исследованию свойств тонкопленочных элементов. Часть представленных исследований проведена в сотрудничестве со специалистами государственного центра «Белмикроанализ». Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились с научным руководителем д.т.н. В.В. Барановым, д.т.н. Л.П. Ануфриевым, к.т.н. А.С. Турцевичем.

Апробация результатов диссертации.

Основные положения диссертационной работы обсуждались и докладывались на I и II Международных научно-технических конференциях «Современные проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств» (Новополоцк, Беларусь, 2000 г., 2002 г.); VI, VII, VIII и X Международных научно-технических конференциях «Современные средства связи» (Нарочь, Беларусь, 2001 г., 2002 г., 2003 г., 2005 г.); X Республиканской научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов «Физика конденсированного состояния» (Гродно, Беларусь, 2002 г.); VII и IX Международных научно-технических конференциях «Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники» (Дивноморское, Россия 2002 г., 2004 г.), 15-м Международном симпозиуме «Тонкие пленки в оптике и

электронике» (Харьков, Украина, 2003 г.); III Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии» (Одесса, Украина, 2003 г.).

Опубликованность результатов.

По материалам диссертации опубликована 21 работа, в том числе 10 статей в научных журналах, 6 статей в сборниках материалов конференций, 4 тезисов докладов. Получен один патент Республики Беларусь на изобретение. Общее количество опубликованных по теме диссертации материалов составляет 67 страниц.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Общий объем составляет 185 страниц. Основное содержание изложено на 83 страницах. Работа включает 96 иллюстраций на 74 страницах, 19 таблиц на 15 страницах, список использованных источников из 133 наименований на 9 страницах, список публикаций автора, содержащих основные научные результаты диссертации из 21 наименования на 2 страницах, 1 приложение на 2 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В общей характеристике работы определено основное направление, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, изложены основные положения, выносимые на защиту, сформулированы научная новизна и практическая значимость полученных в работе результатов.

В первой главе проанализированы конструктивно – технологические особенности тонкопленочных элементов диодов Шоттки. Рассмотрены основные физические принципы работы контактов металл–кремний, а также основные их параметры, влияющие на процессы прохождения носителей заряда. Сформулированы требования к диодам Шоттки. Проанализированы существующие конструкции диодов Шоттки. Показано, что любые улучшения электрических параметров диодов достигаются, как правило, усложнением их конструкции и технологии изготовления, что требует дополнительных затрат на производство. Проанализированы известные маршруты изготовления диодов Шоттки. Показано, что улучшение технологичности диодов Шоттки за счет упрощения процесса изготовления и уменьшения количества циклов литографии приводит к ухудшению электрических параметров диодов Шоттки и их эксплуатационных свойств.

Классифицированы требования к тонкопленочным элементам твердотельных структур диодов Шоттки. Показана невозможность их полного удовлетворения при использовании какого – либо одного материала. Тонкопленочные элементы формируются, как правило, из отдельных идеализированных слоев конструктивно – технологически взаимосвязанных между собой. Классифицированы по функциональному назначению слои

тонкопленочных элементов для металлизации анода и катода твердотельных структур кремниевых диодов Шоттки. Проанализированы используемые материалы для каждого функционального слоя. Существующие тонкопленочные элементы современных мощных диодов Шоттки обладают низкой воспроизводимостью характеристик и не удовлетворяют возросшим требованиям к параметрам приборов данного класса. Необходима разработка новых конструктивно-технологических методов формирования высококачественных тонкопленочных элементов с повышенной воспроизводимостью свойств применительно к условиям серийного производства диодов Шоттки.

Во второй главе разработана математическая модель ВАХ барьера Шоттки с учетом конструктивных особенностей твердотельной структуры. Проанализированы конструктивно-технологические особенности твердотельной структуры кремниевых диодов Шоттки с охранным кольцом и получены аналитические выражения для математического моделирования ВАХ в условиях прямого и обратного смещений. Математическая модель предсказывает, что в условиях прямого смещения ВАХ твердотельной структуры диода Шоттки с площадью контакта металл – кремний, превосходящей суммарную площадь $p-n$ переходов, определяется ВАХ контакта металл – кремний. Вклады токов рекомбинации и инжекции неосновных носителей учитываются введением коэффициента неидеальности в выражение для ВАХ контакта металл – кремний. Математическая модель предсказывает, в условиях обратного смещения ВАХ твердотельной структуры диода Шоттки с высотой барьера менее 0,8 В определяется ВАХ контакта металл – кремний с учетом эффекта Шоттки, дополнительного статического понижения высоты барьера, лавинного умножения носителей заряда и неоднородностей контакта металл-кремний. В области максимального обратного напряжения, обратный ток контакта металл – кремний суммируется с током $p-n$ перехода, рассчитываемым с учетом лавинного умножения носителей заряда. Результаты математического моделирования использованы при разработке экспресс – методики определения электрофизических параметров контактов, основанной на расчете численными методами параметров модели ВАХ, позволяющей определять по прямой и обратной ветвям ВАХ высоту барьера Шоттки, коэффициент неидеальности, последовательное сопротивление, толщину промежуточного слоя с учетом неоднородностей на границе металл-кремний.

В третьей главе разработаны методы формирования тонкопленочных элементов в составе твердотельных структур кремниевых диодов Шоттки и методик контроля и исследования их свойств. Разработана новая методика исследования распределения остаточных механических напряжений по толщине пленок молибдена и его сплавов, основанная на зависимости скорости травления материала пленки от величины механических напряжений. Практическая реализация методики производилось в следующей последовательности:

1. Нанесение пленок на кремниевые подложки;

2. Формирование на поверхности пленки фоторезистивной маски;
3. Травление молибдена через фоторезистивную маску в травителе $\text{HNO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ при температуре 40 ± 5 °C в течение 20 – 60 секунд (до полного растворения пленки в незащищенных фоторезистом участках);
4. Снятие фоторезистивной маски в растворе диметилформамида;
5. Исследование поперечного сечения ТТС пленка – подложка и профиля края пленки методом РЭМ;
6. Сопоставление идеального и фактического профилей травления, построение кривой распределения остаточных механических напряжений (в относительных единицах) по толщине пленки.

Разработана новая экспресс – методика определения электрофизических параметров контактов Шоттки, основанная на расчете численными методами параметров модели ВАХ, которая позволяет определять по прямой и обратной ветвям ВАХ высоту барьера Шоттки, коэффициент неидеальности, последовательное сопротивление, толщину промежуточного слоя с учетом неоднородностей на границе металл – кремний. Математическая модель обратной ВАХ неоднородного контакта металл – кремний с двумя типами областей представлялась следующим выражением:

$$I_r(V_r) = M(V_r)A^{**}T^2 \left(S_{\text{Me-Si}_1} \exp\left(\frac{-q\Phi_{\text{B,EFF}1}(V_r, \alpha_1)}{kT}\right) + S_{\text{Me-Si}_2} \exp\left(\frac{-q\Phi_{\text{B,EFF}2}(V_r, \alpha_2)}{kT}\right) \right), \quad (1)$$

где I_r – обратный ток, V_r – обратное смещение, M – коэффициент лавинного умножения носителей, A^{**} – модифицированная эффективная постоянная Ричардсона, $S_{\text{Me-Si}_1}$, $S_{\text{Me-Si}_2}$ – площадь областей контакта металл – кремний первого и второго типа соответственно, $\Phi_{\text{B,EFF}1}$, $\Phi_{\text{B,EFF}2}$ – высота потенциального барьера контакта металл – кремний с учетом эффекта Шоттки и дополнительного статического понижения областей первого и второго типа соответственно, α_1 , α_2 – толщина промежуточного слоя контакта металл – кремний первого и второго типа соответственно, q – элементарный заряд, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура.

Расчет численными методами параметров модели обратной ВАХ неоднородного контакта производился в следующей последовательности:

1. Измерение обратной ветви ВАХ диода Шоттки.
2. Представление измеренной ВАХ в виде таблично заданной функции $I_{rM_i} = f(V_{rM_i})$, где I_{rM_i} – измеренное значение обратного тока при обратном смещении диода Шоттки V_{rM_i} , i – порядковый номер измерения.

3. Составление целевой функции в виде суммы квадратов относительной разности измеренных и рассчитанных по формуле (1) значений обратного тока для одних и тех же значений обратного смещения:

$$F(\Phi_{\text{B}0_1}, \alpha_1, S_2, \Phi_{\text{B}0_2}, \alpha_2) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{I_{rM_i} - I_r(V_{rM_i})}{I_{rM_i}} \right)^2. \quad (2)$$

4. Расчет численных значений параметров модели обратной ВАХ контакта металл – кремний (высота барьера Шоттки и толщина промежуточного слоя областей первого типа, высота барьера Шоттки, толщина промежуточного слоя и суммарная площадь областей второго типа) при которых (2) стремится к минимуму. Решение задачи минимизации целевой функции производилось методом Ньютона реализованного в табличном процессоре EXCEL.

Произведено обоснование и выбор методов нанесения тонких пленок для формирования тонкопленочных элементов твердотельных структур диодов Шоттки на основе металлов и сплавов с требуемыми свойствами в условиях серийного производства. Для нанесения тонких пленок молибдена, алюминия, титана, тантала, платины, ванадия, серебра, а также сплавов: алюминий – кремний, молибден – рений, никель – ванадий использовалось магнетронное распыление. Пленки олова и свинца наносили электроннолучевым испарением, пленки палладия, серебра и сплава ПСР-15 – резистивным испарением. Переходные слои силицидов формировались твердофазной реакцией металлической пленки с кремниевой подложкой при высокой температуре. Выбраны методы термического окисления (формировались слои SiO_2 и Ta_2O_5), а также химического осаждения из газовой фазы (наносились слои Si_3N_4), для формирования тонкопленочных элементов твердотельных структур диодов Шоттки на основе диэлектриков с заданными свойствами в условиях серийного производства. Разработаны методы формирования твердотельных структур диодов Шоттки с охраным кольцом и контактными слоями из ванадия, молибдена, сплава молибден – рений, дисилицида ванадия, субсилицида палладия, силицида платины, а также с двухслойной пассивацией $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ и объемным выводом. Выбраны методики контроля и исследования свойств тонкопленочных элементов твердотельных структур диодов Шоттки. Толщина пленок измерялась микроинтерферометрическим и профилометрическим методами, а также растровой электронной микроскопией. Удельное и контактное сопротивление измерялись четырехзондовым методом, механические напряжения в пленках – при помощи рентгеновского дифракционного анализа, структура тонкопленочных элементов изучалась просвечивающей электронной микроскопией, а элементный состав – электронной Оже – спектроскопией.

В четвертой главе представлены результаты исследований свойств тонкопленочных элементов и твердотельных структур диодов Шоттки. Проведены комплексные исследования и установлены экспериментальные зависимости кристаллической структуры, механических и электрофизических свойств тонких пленок молибдена и его сплавов от параметров технологического процесса их нанесения. Впервые установлено, что при давлении аргона 0,4 – 0,6 Па, температуре подложки 350 – 450 °С и скорости нанесения 2,8 – 3,6 нм/с достигается наилучшее сочетание структурных, механических и электрофизических свойств. При этом размер зерна в пленках молибдена составляет 10 – 50 нм, механические напряжения не превышают 200 МПа, а удельное сопротивление менее 0,11 мкОм·м (рис. 1).

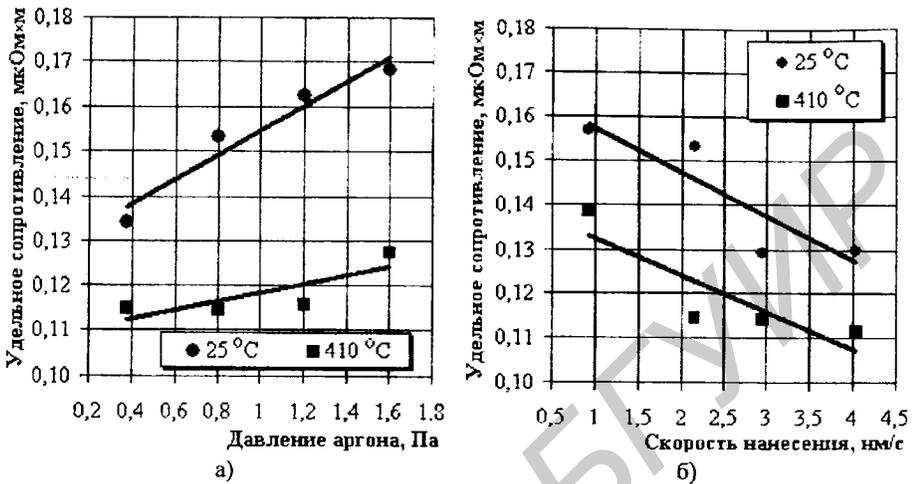


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления пленок молибдена, нанесенных магнетронным распылением: а) от давления аргона; б) от скорости нанесения

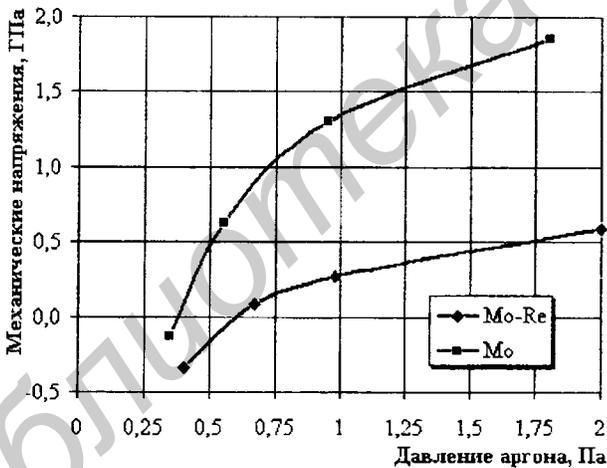


Рис. 2. Зависимость величины остаточных механических напряжений в пленках молибдена и сплава молибден-рений от давления аргона

основанной на зависимости скорости травления материала пленки от величины механических напряжений (рис. 3).

Согласно разработанной методике исследовано распределение механических напряжений в пленках молибдена и его сплавов. Показано, что пленки сплава Mo-Re отличаются более однородным распределением механических напряжений по толщине по сравнению с пленками чистого молибдена, нанесенных в одинаковых условиях (рис. 4).

Установлена адекватность разработанной экспресс – методики определения электрофизических параметров контактов, основанной на расчете численными методами параметров модели прямой и обратной ВАХ. Получено

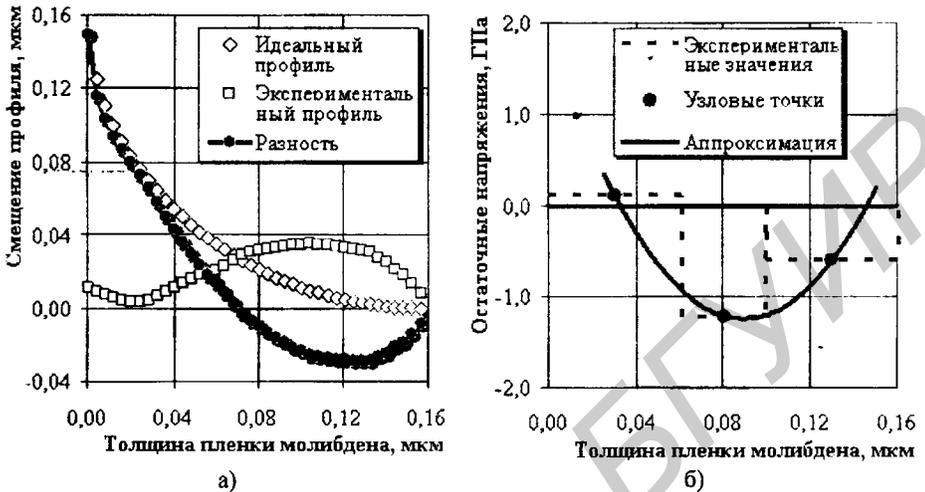


Рис. 3. Распределение остаточных напряжений в пленках молибдена: а) построенное по разности профилей травления; б) результаты эксперимента

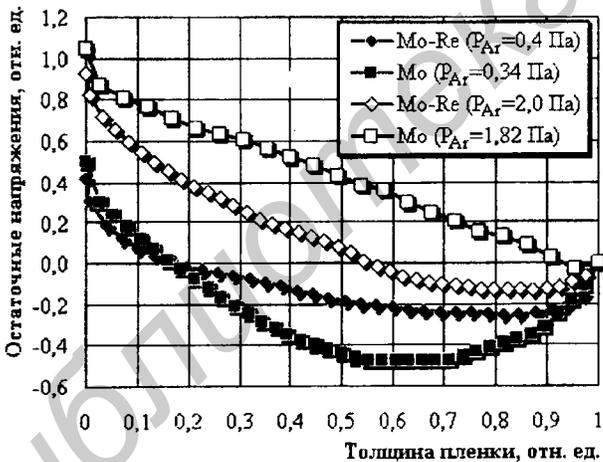


Рис. 4. Распределение остаточных механических напряжений по толщине пленок сплава Mo-Re и чистого молибдена

хорошее соответствие между результатами исследований высоты барьера Шоттки различными методиками, максимальная абсолютная разность результатов измерений составила менее 15 мВ, относительная – менее 2,5 % (рис. 5).

По предложенной методике определена высота барьеров Шоттки для контактов: ванадий – кремний, молибден – кремний, дисилицид ванадия – кремний, субсилицид палладия – кремний, силицид платины – кремний.

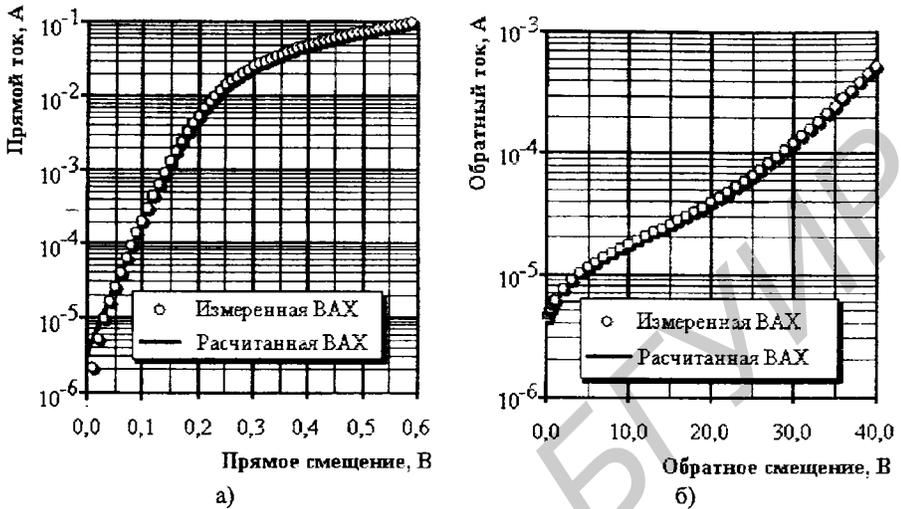


Рис. 5. Определение параметров контактов Шоттки расчетом численными методами параметров модели: а) прямой ВАХ; б) обратной ВАХ неоднородного контакта

Результаты исследования параметров контактов Шоттки

Методика исследования		Параметр	Материал контактного слоя						
			Mo	Mo-Re	V	VSi ₂	Pd ₂ Si	PtSi	
Расчет численными методами параметров	Прямой ВАХ	Высота барьера, В	0,674	0,674	0,580	0,621	0,729	0,825	
		Коэффициент неидеальности	0,97	0,96	0,96	0,97	1,03	1,09	
		Последовательное сопротивление, Ом	0,463	0,357	0,397	0,467	0,454	0,316	
	Обратной ВАХ	Одно-родный контакт	Высота барьера, В	0,661	0,666	0,571	0,614	0,716	-
			Толщина промежуточного слоя, Å	2,65	2,62	5,12	2,64	1,32	-
		Неоднородный контакт	Высота барьера, В	0,663	0,667	0,568	-	-	-
			Толщина промежуточного слоя, Å	0,67	2,96	1,79	-	-	-
			Высота барьера в области неоднородностей, В	0,624	0,676	0,524	-	-	-
			Толщина промежуточного слоя в области неоднородностей, Å	55,76	81,29	37,37	-	-	-
			Площадь неоднородностей, %	0,044	0,025	0,118	-	-	-

Разработаны новые тонкопленочные элементы твердотельной структуры кремниевго диода Шоттки с двухслойным пассивирующим покрытием SiO₂/Ta₂O₅ (рис. 6). Исследовано влияние высокотемпературного микромонтажа на контактные свойства тугоплавких металлов и защитные свойства пассивирующего покрытия твердотельных структур диодов Шоттки. Установлено, что при толщине слоя пентаоксида тантала 0,07 – 0,4 мкм, обеспечивается наилучшая защита твердотельной структуры диода Шоттки от

деградации электрических параметров после высокотемпературного микромонтажа (рис. 7).

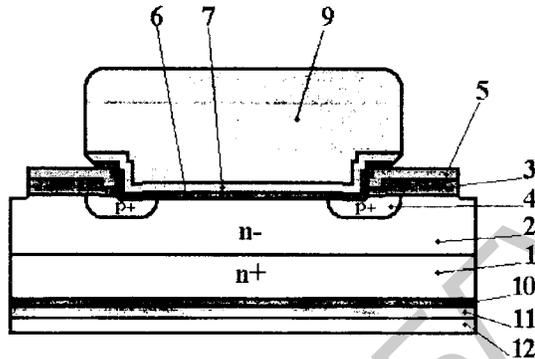


Рис. 7. Твердотельная структура кремниевого диода Шоттки с пассивацией $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ и объемным выводом: 1 – подложка; 2 – эпитаксиальный слой; 3 – слой SiO_2 ; 4 – охранное кольцо; 5 – слой Ta_2O_5 ; 6 – контактный слой (V); 7 – слой Ag; 8 – фоторезист; 9 – объемный вывод (Ag); 10 – адгезионный слой (V); 11 – монтажный слой (ПСр); 12 – барьерный слой третьего типа (Ag)

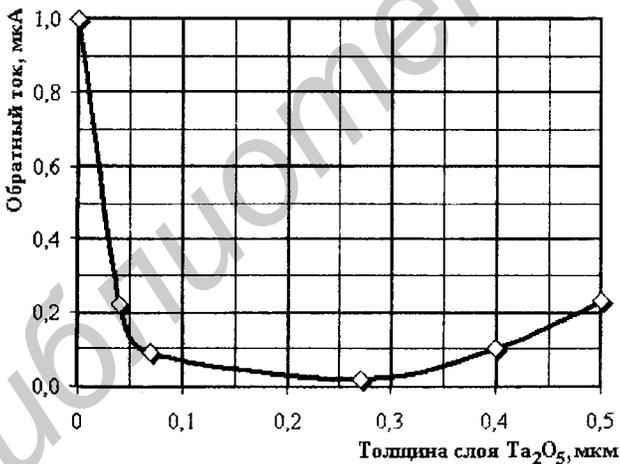


Рис. 7. Зависимость обратного тока диода Шоттки после высокотемпературного микромонтажа в корпус DO-35 от толщины слоя Ta_2O_5

Разработана новая конструкция металлизации обратной стороны на основе припоеобразующей многослойной структуры Sn/Pb/Sn, которая позволяет упростить микромонтаж кристаллов за счет исключения припойной прокладки. Экспериментально установлено, что суммарная толщина слоев припоеобразующей многослойной структуры должна быть более 8,0 мкм (рис. 8).

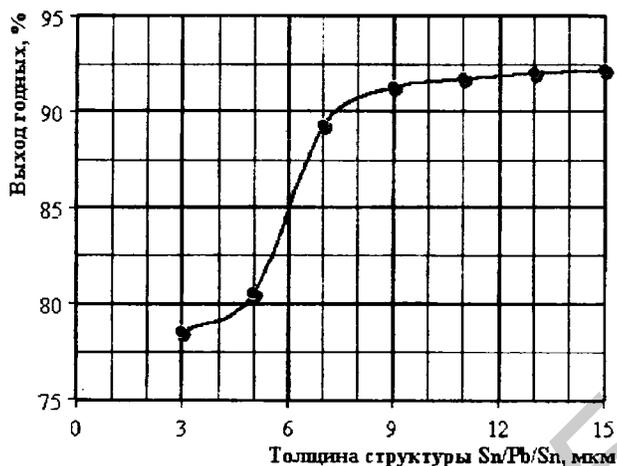


Рис. 8. Зависимость выхода годных после сборки в корпус ТО-126 от толщины припоеобразующей многослойной структуры Sn/Pb/Sn

Построен график зависимости температуры плавления припоеобразующей многослойной структуры Sn/Pb/Sn от соотношения толщин ее слоев (рис. 9). При отношении толщины слоя свинца к суммарной толщине слоев олова в припоеобразующей многослойной структуре Sn/Pb/Sn более 4,4, температура плавления ПМС составляет более 295 °С, что позволяет производить микросварку золотых выводов как термозвуковой, так и термокомпрессионной сваркой.

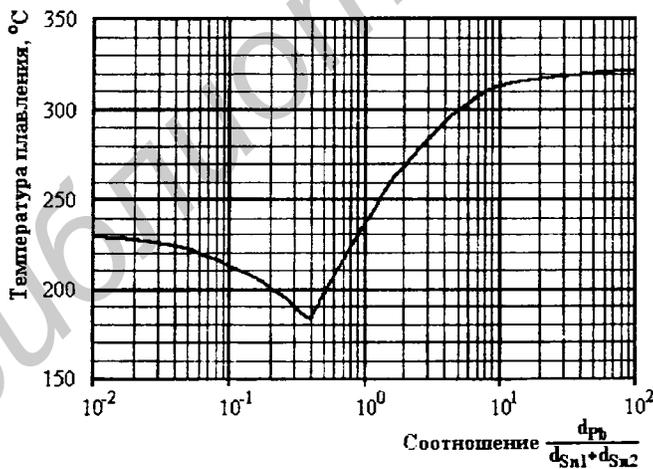


Рис. 9. Зависимость температуры плавления припоеобразующей многослойной структуры Sn/Pb/Sn от соотношения толщин слоев, где d_{Pb} — толщина слоя свинца, d_{Sn1} — толщина нижнего слоя олова, d_{Sn2} — толщина верхнего слоя олова

Для исключения из технологического процесса свинца предложена припоеобразующая многослойная структура Ag/Sn/Ag. Из построенной зависимости температуры плавления от соотношения толщин слоев данной

структуры (рис. 10) определено, что оптимальным интервалом отношения толщины слоя олова к суммарной толщине слоев серебра является 3,9 – 14,2.

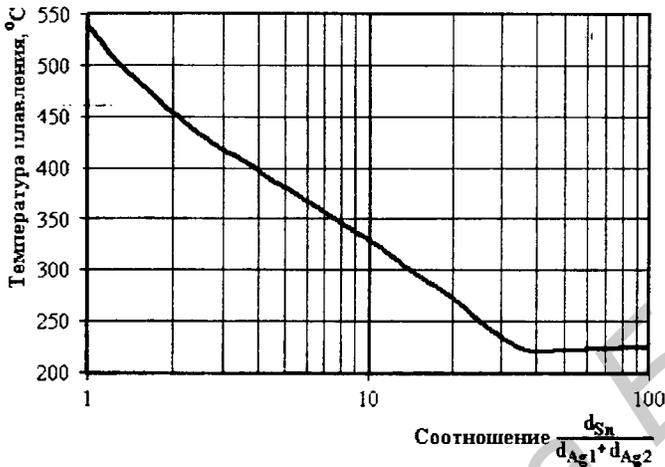


Рис. 10. Зависимость температуры плавления приспособляющей многослойной структуры Ag/Sn/Ag от отношения толщин слоев, где d_{Sn} — толщина слоя олова, d_{Ag1} — толщина нижнего слоя серебра, d_{Ag2} — толщина верхнего слоя олова

В пятой главе представлены результаты апробации и внедрения результатов исследований. Увеличен на 16 % общий выход годных диодов Шоттки с молибденовым барьером в результате проведенных исследований и совершенствования конструктивно-технологических методов формирования тонкопленочных элементов и твердотельной структуры диодов Шоттки. Разработаны и внедрены в серийное производство система металлизации на основе мягкого припоя Sn/Pb/Sn и технологический процесс ее нанесения на обратную сторону кремниевых подложек электроннолучевым испарением. Модернизировано и адаптировано к условиям серийного производства диодов Шоттки технологическое оборудование для вакуумного нанесения металлических пленок.

В приложении представлен акт о реализации научных положений и практическом использовании результатов диссертации на УП «Завод Транзистор»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны новые тонкопленочные элементы твердотельных структур кремниевых диодов Шоттки с повышенной воспроизводимостью свойств на основе контактов ванадий – кремний (высота барьера Шоттки 0,57 В), молибден – кремний и сплав молибден–рений – кремний (высота барьера Шоттки 0,66 В), дисилицид ванадия – кремний (высота барьера Шоттки 0,61 В), субсилицид палладия – кремний (высота барьера Шоттки 0,72 В), силицид платины – кремний (высота барьера Шоттки 0,82 В) [1, 2, 6, 9, 13, 15, 16, 18, 19].

2. Экспериментально установлены закономерности структуры, механических и электрофизических свойств тонких пленок молибдена и сплава молибден - рений от параметров технологического процесса их нанесения. Впервые установлено, что при давлении аргона 0,4 – 0,6 Па, температуре подложки 350 – 450 °С и скорости нанесения 2,8 – 3,6 нм/с достигается наилучшее сочетание структурных, механических и электрофизических свойств. При этом размер зерна в пленках молибдена составляет 10 – 50 нм, механические напряжения не превышают 200 МПа, а удельное сопротивление менее 0,11 мкОм·м [7, 12, 14].

3. Разработаны новые конструктивно-технологические методы формирования тонкопленочных элементов твердотельных структур кремниевых диодов Шоттки, с двухслойным пассивирующим покрытием $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ с толщиной слоя пентаоксида тантала 0,07 – 0,4 мкм, обеспечивающим наилучшую защиту твердотельной структуры диода Шоттки от деградации электрических параметров после высокотемпературного микромонтажа. [3, 11, 20, 21].

4. Разработана конструкция металлизации обратной стороны полупроводниковых приборов, содержащая припоеобразующую многослойную структуру Sn/Pb/Sn, и способ ее нанесения, позволяющие упростить и удешевить технологический процесс микромонтажа кристаллов в корпус за счет исключения припойной прокладки, вводимой между кристаллом и подложкодержателем полупроводникового прибора. Функцию припойной прокладки выполняет припоеобразующая многослойная структура Sn/Pb/Sn с отношением толщины слоя свинца к суммарной толщине слоев олова более 4,4, обуславливающим температуру плавления припоеобразующей многослойной структуры более 295 °С, что позволяет производить микросварку золотых выводов как термозвуковой, так и термокомпрессионной микросваркой [17].

5. Разработана новая методика исследования распределения остаточных механических напряжений по толщине пленок молибдена и его сплавов, основанная на зависимости скорости травления материала пленки от механических напряжений. С помощью данной методики показано, что максимум растягивающих напряжений в пленках молибдена и его сплавов находится вблизи границы с подложкой, что обусловлено разностью ТКЛР материала пленки и подложки, а также ростом температуры подложки при нанесении пленки. В то же время максимум сжимающих напряжений находится около центра, что обусловлено максимальной интенсивностью бомбардировки данной области атомами рабочего газа. С помощью данной методики также показано более однородное распределение механических напряжений в пленках сплава молибден-рений по сравнению с пленками чистого молибдена, нанесенными в идентичных условиях [4, 5].

6. Разработана экспресс – методика исследования электрофизических свойств контактов, основанная на расчете численными методами параметров модели ВАХ, которая позволяет определять по прямой и обратной ветвям ВАХ высоту барьера Шоттки, коэффициент неидеальности, последовательное сопротивление, толщину промежуточного слоя с учетом неоднородностей на границе металл-кремний [8, 10].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи в научных журналах

1. Баранов В.В., Глухманчук В.В., Соловьёв Я.А. Диоды Шоттки на основе сплава Mo-Re // Известия Белорусской инженерной академии. – 2001. – № 1 (11)/3. – С. 239–240.

2. Ануфриев А.П., Баранов В.В., Соловьёв Я.А., Тарасиков М.В. Диоды Шоттки на основе субсилицида палладия // Известия Белорусской инженерной академии. – 2001. – № 1 (11)/3. – С. 240–241.

3. Баранов В.В., Пономарь В.Н., Петлицкая Т.В., Соловьёв Я.А. Диоды Шоттки с многослойной пассивацией // Известия Белорусской инженерной академии. – 2002. – № 2 (14)/2. – С. 23 – 25.

4. Ануфриев А.П., Баранов В.В., Глухманчук В.В., Соловьёв Я.А., Тарасиков М.В. Влияние условий формирования на механические напряжения и анизотропию размерного травления плёнок молибдена, сформированных магнетронным распылением // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2002. – Т. 7, – №2. – С. 9 – 13.

5. Баранов В.В., Достанко А.П., Соловьёв Я.А. Распределение остаточных механических напряжений в тонких плёнках // Доклады НАН Беларуси. – 2002. – Т. 46, № 4. – С. 119 – 122.

6. Баранов В.В., Соловьёв Я.А., Тарасиков М.В., Фоменко Н.К. Диоды Шоттки на основе силицида платины // Известия Белорусской инженерной академии. – 2003. – № 1 (15)/4. – С. 89 – 91.

7. Ануфриев Л.П., Турцевич А.С., Глухманчук В.В., Соловьёв Я.А., Мильчанин О.В. Влияние условий нанесения на свойства плёнок молибдена, полученных магнетронным распылением // Вакуумная техника и технология. – 2004. – Т. 14, №1. – С. 35 – 40.

8. Соловьёв Я.А. Модель обратной вольтамперной характеристики и определение параметров контакта Шоттки с охранным кольцом // Доклады БГУИР. – 2004. – № 4. – С. 64 – 67.

9. Ануфриев Л.П., Баранов В.В., Соловьёв Я.А., Тарасиков М.В., Технология получения силицида палладия для мощных диодов Шоттки // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2005. – № 4. – С. 55 – 56.

10. Баранов В.В., Соловьёв Я.А., Кошкарёв Г.В. Определение электрофизических параметров контактов Шоттки расчетом численными методами параметров модели ВАХ // Известия Белорусской инженерной академии. – 2005. – № 1 (19)/5. – С. 101 – 104.

Материалы научных конференций

11. Баранов В.В., Соловьёв Я.А., Зеленков В.А. Диоды Шоттки с многослойным маскирующим диэлектриком. особенности моделирования // Современные проблемы проектирования и производства радиоэлектронных

средств: Сборник материалов международного научно-технического семинара. – Новополоцк: ПГУ, 2000. – С. 32 – 36.

12. Баранов В.В., Соловьёв Я.А., Холенков В.Ф. Формирование барьерных слоёв на основе сплава молибден-рений// Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы II Международной научно-технической конференции. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – С. 131 – 134.

13. Ануфриев Л.П., Баранов В.В., Глухманчук В.В., Соловьёв Я.А., Тарасиков М.В. Диоды Шоттки на основе переходных металлов и их силицидов// Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники: Труды восьмой международной научно-технической конференции. Часть 1. – Таганрог: ТРТУ, 2002. – С. 157 – 159.

14. Баранов В.В., Глухманчук В.В., Соловьёв Я.А., Тарасиков М.В. Механические напряжения в тонких плёнках на основе молибдена// Тонкие пленки в оптике и электронике: Сборник докладов 15-го международного симпозиума/ Под ред. А.Ф. Белянина, В.И. Лапшина, И.Е. Проценко, В.М. Шулаева. – Харьков: ННЦ ХФТИ, «Константа», 2003. – С. 339 – 342.

15. Ануфриев Л.П., Баранов В.В., Карпович С.Ф. Соловьёв Я.А., Тарасиков М.В. Технология мощных диодов Шоттки с многослойной металлизацией// Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники: Труды девятой международной научно-технической конференции. Часть 1. – Таганрог: ТРТУ, 2004. – С. 82 – 84.

16. Баранов В.В., Соловьёв Я.А., Ануфриев Д.Л., Тарасиков М.В. Материалы пленочных контактов диодов Шоттки// Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники: Труды девятой международной научно-технической конференции. Часть 1. – Таганрог: ТРТУ, 2004. – С. 160 – 162.

Тезисы докладов

17. Соловьёв Я.А. Многослойная металлизация для монтажа кремниевых кристаллов на выводную рамку с серебряным покрытием// Физика конденсированного состояния: Тез. докл. X Респ. науч. конф. студентов, магистрантов, аспирантов. – Гродно: ГрГУ, 2002. – С. 306 – 308.

18. Соловьёв Я.А. Исследование влияния режимов нанесения металлизации на обратные вольтамперные характеристики диодов Шоттки// Физика конденсированного состояния: Тез. докл. X Респ. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов/ Под ред. В.А. Лиопо. Гродно: – ГрГУ, 2002. – С. 308 – 310.

19. Ануфриев Л.П., Баранов В.В., Глухманчук В.В., Соловьёв Я.А., Тарасиков М.В. Технология получения мощных диодов Шоттки на основе силицида палладия// Современные информационные и электронные технологии: Труды четвертой научно-практической конференции. – Одесса, 2003. – С. 251.

20. Ануфриев Л.П., Баранов В.В., Глухманчук В.В., Соловьёв Я.А., Тарасиков М.В. Зарядовые свойства пленок SiPOS// Современные

информационные и электронные технологии: Труды четвертой научно-практической конференции. – Одесса, 2003. – С. 288.

Патент

21. Патент 7113 С2 ВУ, МПК Н 01L 29/47, 29/872. Диод Шоттки/Ануфриев Л.П., Баранов В.В., Глухманчук В.В., Соловьев Я.А., Тарасиков М.В.; ПРУП «Завод Транзистор»; Заявл. 18.06.2002; Оpubл. 30.06.2005// Афіцыйны бюлетэнь/ Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2005. – № 2. – С. 250 – 251.



РЭЗЮМЭ

Салаўеў Яраслаў Аляксандравіч. КАНСТРУКТЫЎНА-ТЭХНАЛАГІЧНЫЯ МЕТАДЫ ФАРМІРАВАННЯ ТАНКАПЛЁНАЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАЎ КРЭМНІЯВЫХ ДЫЁДАЎ ШОТКІ З ПАВЫШАНАЙ УЗНАЎЛЁННАСЦЮ ЎЛАСЦІВАСЦЯЎ У СЕРЫЙНАЙ ВЫТВОРЧАСЦІ

Ключавыя словы: дыёд Шоткі, вольтамперная характарыстыка, вышыня бар'ера, тонкія плёнкі, магнетроннае распыленне, малібдэн, механічныя напружанні, сіліцыды.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца танкаплёначныя элементы цвёрдацельных структураў кремніявых дыёдаў Шоткі, а таксама метады іх спалучэння. *Прадметам даследавання* з'яўляюцца заканамернасці саставу, структуры, механічных, электрафізічных і кантактных уласцівасцяў танкаплёначных элементаў цвёрдацельных структураў крэмніявых дыёдаў Шоткі. *Мэтаю работы* з'яўляецца распрацоўка новых канструктыўна-тэхналагічных метадаў фарміравання танкаплёначных элементаў цвёрдацельных структураў крэмніявых дыёдаў Шоткі з павышанай узнаўлённасцю ўласцівасцяў у серыйнай вытворчасці.

Прапанована метадыка даследавання размеркавання астатковых механічных напружанняў па таўшчыне плёнак малібдэну і яго сплаваў, заснаваная на залежнасці хуткасці траўлення матэрыялу плёнкі ад велічыні механічных напружанняў.

Прапанована экспрэс – метадыка вызначэння электрафізічных параметраў кантактаў Шоткі, заснаваная на разліке лікавымі метадамі параметраў ВАХ, дазваляючая вызначаць вышыню бар'ера Шоткі, каэфіціент неідэальнасці, паслядоўнае супраціўленне, таўшчыню прамежкавага слоя з улікам неаднароднасцей на мяжы метал – крэмній.

Эксперыментальна ўстаноўлены залежнасці крышталічнай структуры, механічных і электрафізічных уласцівасцяў тонкіх пленак малібдэну і сплава малібдэн-рэній, нанясенных магнетронным распыленнем, ад параметраў тэхналагічнага працэсу. Азначаны інтэрвалы аптымальных значэнняў ціску аргону, тэмпературы падложкі, хуткасці нанясення, пры якіх дасягаецца найлепшае спалучэнне структурных, механічных і электрафізічных уласцівасцяў.

Распрацавана канструкцыя кремніявага дыёда Шоткі, з двухслойным пасівіруючым пакрыццём $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ з таўшчыняй слою пентааксиду танталу 0,07 – 0,4 мкм, забяспечваючая найлепшую ахову цвёрдацельнай структуры дыёда Шоткі ад дэградацыі электрычных параметраў апасля высокатэмпературнага мікрамантажу.

Распрацавана новая канструкцыя металізацыі адваротнага боку паўправадніковых прыбораў з утвараючай прыпой шматслойнай структурай волава – свінец – волава, а таксама спосаб яе нанясення.

Укараненне вынікаў дысертацыйнай работы на УП «Завод Транзістар» дазволіла вырашыць важную прыкладную задачу распрацоўкі і засваення крэмніявых дыёдаў Шоткі з малібдэнавым бар'ерам.

РЕЗЮМЕ

Соловьев Ярослав Александрович. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕМНИЕВЫХ ДИОДОВ ШОТТКИ С ПОВЫШЕННОЙ ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬЮ СВОЙСТВ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ключевые слова: диод Шоттки, вольтамперная характеристика, высота барьера, тонкие пленки, магнетронное распыление, молибден, механические напряжения, силициды.

Объектом исследования являются тонкопленочные элементы твердотельных структур кремниевых диодов Шоттки, а также методы их получения **Предметом исследования** являются закономерности состава, структуры, механических, электрофизических и контактных свойства тонкопленочных элементов твердотельных структур кремниевых диодов Шоттки.

Целью работы является разработка новых конструктивно – технологических методов формирования тонкопленочных элементов твердотельных структур кремниевых диодов Шоттки с повышенной воспроизводимостью свойств в серийном производстве.

Предложена методика исследования распределения остаточных механических напряжений по толщине пленок молибдена и его сплавов, основанная на зависимости скорости травления материала пленки от величины механических напряжений.

Предложена экспресс – методика определения электрофизических параметров контактов Шоттки, основанная на расчете численными методами параметров ВАХ, позволяющая определять высоту барьера Шоттки, коэффициент неидеальности, последовательное сопротивление, толщину промежуточного слоя с учетом неоднородностей на границе металл–кремний.

Экспериментально установлены зависимости кристаллической структуры, механических и электрофизических свойств тонких пленок молибдена и его сплавов, нанесенных магнетронным распылением, от параметров технологического процесса. Определены интервалы оптимальных значений давления аргона, температуры подложки, и скорости нанесения, при которых достигается наилучшее сочетание структурных, механических и электрофизических свойств. Разработана конструкция кремниевого диода Шоттки, с двухслойным пассивирующим покрытием $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ с толщиной слоя пентаоксида тантала 0,07 – 0,4 мкм, обеспечивающим наилучшую защиту твердотельной структуры диода Шоттки от деградации электрических параметров после высокотемпературного микромонтажа.

Разработана новая конструкция металлизации обратной стороны полупроводниковых приборов с припоеобразующей многослойной структурой олово – свинец – олово а также способ ее нанесения.

Внедрение результатов диссертационной работы на УП «Завод Транзистор» позволило решить важную прикладную задачу разработки и освоения кремниевых диодов Шоттки с молибденовым барьером.

SUMMARY

Solovjov Jaroslav Aleksandrovich. THIN-FILM ELEMENTS DESIGN AND FORMATION METHODS FOR SILICON SCHOTTKY DIODES WITH IMPROVED REPRODUCIBILITY OF PROPERTIES IN A BATCH PRODUCTION

Key Words: Schottky diode, voltage-current characteristic, barrier height, thin films, magnetron sputtering, molybdenum, mechanical stress, silicides.

The researches are concerned with thin-film elements for silicon Schottky diodes and its methods of formation.

The investigation subject is laws of structure, mechanical, electrophysical and contact properties of thin-film elements of solid-state structures for silicon Schottky diodes.

The purpose of work is development of new thin-film elements design and formation methods for solid-state structures of silicon Schottky diodes with the improved reproducibility of properties in a batch production.

The technique of research of residual stress distribution on thickness molybdenum and its alloys films, based on dependence of material film etch rate on a residual stress value is offered.

The technique of Schottky contacts electrophysical parameters determination, based on calculation by numerical methods of parameters of model voltage-current characteristic is offered. The developed technique allows to define Schottky barrier height, ideality factor, serial resistance, intermediate layer thickness taking into account nonuniformities on metal - silicon interface from direct and reverse branches of voltage-current characteristic.

Dependences of crystal structure, mechanical and electrophysical properties of thin molybdenum and its alloys films from technological process parameters of their deposition are experimentally established. Intervals of optimum values of argon pressure, substrate temperature, and magnetron discharge power are determined, at which the best combination of structural, mechanical and electrophysical properties is provided: the grain size in molybdenum films is 10 - 50 nanometers, residual stress do not exceed 200 MPa, and specific resistance less than $0,11 \mu\Omega \cdot m$.

The design of silicon Schottky diode, with two-layer passivation coverage $\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ with thickness of a layer tantalum pentaoxide 0,07 - 0,4 microns, providing the best protection of solid-state structure of Schottky diode against electric parameters degradation after high-temperature microinstallation is developed.

New design of backside metallization for semiconductor devices with forming solder multilayered structure tin - lead - tin and also a method of its deposition is developed.

Introduction dissertation results in UE Transistor Plant makes it possible to solve important applied task of design and assimilation of silicon Schottky diodes with molybdenum barrier.

СОЛОВЬЕВ ЯРОСЛАВ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**КОНСТРУКТИВНО–ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
КРЕМНИЕВЫХ ДИОДОВ ШОТТКИ С ПОВЫШЕННОЙ
ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬЮ СВОЙСТВ В СЕРИЙНОМ
ПРОИЗВОДСТВЕ**

Специальность 05.27.01 – «Твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на
квантовых эффектах»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать	22.11.2005.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.		Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,5.	Тираж 60 экз.		Заказ 721.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0131518 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6.