

В.В. Шаталов

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕСТОВОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛЕНОЧНЫХ ТОКОПРОВОДЯЩИХ СИСТЕМ

*Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, г. Минск, 220027, Республика Беларусь*

Введение

При изготовлении современных изделий микроэлектроники (ИМЭ) или изделий электронно-оптической техники (ИЭОТ) заключительной фазой формирования структуры является создание соответствующих контактных соединений к их функциональным областям. Так, при изготовлении СБИС на основе биполярных структур необходимо обеспечить электрический контакт как минимум к 3-6 активным областям в зависимости от топологии структуры, ее функционального назначения и технологии изготовления (эмиттер, база, коллектор, инжектор для I^2L структур, подложка и т.д.). Для МОП СБИС ввиду значительного снижения числа фотолитографических операций, обусловленных отсутствием необходимости создания сложных систем межэлементной изоляции, снижается и число электрических контактов к активным областям на один вентиль до 2-4 (сток, исток, защитный диод, охрана).

Электрические контакты, как правило, невыпрямляющие (НК) или же омические, выполняют очень ответственную функцию в обеспечении работоспособности изделия и выполнения им требуемых функций.

Как правило, для ИМЭ и ИЭОТ электрические контакты к активным областям структур выполняются на базе многослойных пленочных токопроводящих систем (ПТС). Принципы их построения подробно изложены в [1]. При этом основная функциональная нагрузка в ПТС накладывается на контактный слой (КС), обеспечивающий непосредственный электрический контакт к активной области структуры, и проводящий слой (ПС), выполняющий роль высокопроводящего элемента, устойчивого к электромиграционным процессам и допускающий подсоединение внешних проволочных выводов существующими технологическими методами.

Функции этих слоев (КС и ПС) могут быть и диаметрально противоположными. Например, для быстродействующих СБИС на основе транзисторно-транзисторной логики с барьером Шотки (ТТЛШ) материал КС должен образовывать кроме НК, также выпрямляющий контакт (ВК) или барьер Шотки (БШ) с требуемой величиной высоты потенциального энергетического барьера ($\phi_b = 0,7-0,85$ эВ), фактором идеальности вольт-амперной характеристики (ВАХ) $n = 1,02-1,10$ и высокой термостабильностью. Для ПС характерно то, что кроме функции высокопроводящих межэлементных и межуровневых соединений, он может иметь и повышенное (строго заданное) электросопротивление. В этом случае на его основе формируются резисторы СВЧ-транзисторов и совмещенных СБИС, а также переключки электрически перепрограммируемых запоминающих устройств и других функциональных структур.

Теоретический анализ

Для получения полной и достоверной информации о качестве и других характеристиках ПТС необходим тщательный пооперационный контроль их основных электрофизических и структурных характеристик.

Наиболее ответственными для практики формирования ПТС электрофизическими параметрами, определяющими свойства проводящих элементов, являются: для НК – величина удельного переходного сопротивления контактов (ρ_k), коэффициент инжекции (γ_k), ВАХ контакта, термоэлектростабильность величины ρ_k и ВАХ; для ВК – высота потенциального энергетического барьера между материалом контакта и Si (ϕ_b), фактор (коэффициент) идеальности ВАХ (n), величина пробивного напряжения; для токоведущих дорожек – удельное электросопротивление материала (ρ) и его температурный коэффициент.

Традиционно контроль этих параметров осуществляется с использованием специальных тестовых ячеек или так называемых пластин-«спутников», которые формируются в одном технологическом цикле с изготовлением реальных структур. На таких контрольных тестовых элементах и осуществляется измерение основных электрофизических параметров.

Как правило, получение достоверной информации об измеряемом параметре связано с использованием нескольких методик его измерения, дополняющих друг друга, а следовательно, с целым набором тестовых ячеек. Кроме того, например, для измерения величин ρ_k , ϕ_b и исследования поведения ВАХ контактов к реальным областям полупроводниковых структур необходимо создать тестовые ячейки, имитирующие коллекторную, базовую и эмиттерную области транзистора. Таким образом, для исследования вышеуказанных параметров ПТС необходимо достаточно большое количество разрозненных тестовых ячеек с различным типом и концентрацией легирующей примеси, позволяющих производить на них контроль и измерение исследуемых параметров несколькими независимыми методами.

Основные принципы и методы построения таких ячеек и их топологические и морфологические особенности подробно изложены в [2, 3]. Общим их недостатком является ограниченная возможность получения объективной информации о свойствах и основных электрофизических характеристиках ПТС с одной структуры. Это связано с необходимостью формирования значительного числа тестовых ячеек со специфическими топологическими и технологическими особенностями для исследования конкретных параметров ПС и КС, исследования этих параметров на отдельных элементах и проведение сопоставительного анализа с целью получения полной информации о свойствах ПТС. Ввиду отсутствия интеграции технологического процесса изготовления ячеек по месту и времени, что связано с необходимостью изготовления отдельных структур независимо друг от друга, они характеризуются ощутимым разбросом параметров. Следствием этого является отсутствие однозначной корреляции между характеристиками ПТС, полученными из анализа отдельных тестовых ячеек, что затрудняет построение математических моделей, описывающих эти характеристики.

Результаты и их обсуждение

Для исследования основных электрофизических характеристик ПС и КС предлагается специальная тестовая матрица (структура) и соответствующий ей комплект фотошаблонов, позволяющая производить комплексные электрофизические исследования различных параметров КС и ПС на одной пластине, сформированной в едином технологическом цикле с реальными изделиями.

Тестовая структура представляет собой совокупность элементов, расположенных на кристалле размером $1,4 \cdot 0,9$ мм² и изолированных друг от друга с помощью обратномещенного p - n перехода. Конфигурация элементов, их геометрические размеры и взаимное расположение выбраны из условия обеспечения возможности одновременного измерения параметров элементов на кристалле с помощью зондовых устройств и удобства подсоединения выводов в корпусе, например, для проведения испытаний на надежность.

Элементы 1, 2 и 3 тестовой структуры (рис. 1) предназначены для измерения величины ρ_k КС соответственно к коллекторной, базовой и эмиттерной областям с помощью четырехзондового метода [4]. Выбор данной методики измерения величины ρ_k из всего разнообразия методов исследования обусловлен достаточно простой процедурой измерения, легкостью обработки и интерпретации результатов, возможностью измерения величины ρ_k к реальным областям ИС. Кроме того, данный метод позволяет легко построить ВАХ контактов и проводить температурные исследования.

С целью устранения погрешностей четырехзондового метода измерения величины ρ_k , вызванных шунтирующим действием контакта и сопротивлением растекания, для получения истинного значения величины ρ_k при обработке результатов измерения согласно [4] необходимо знание удельного сопротивления диффузионных областей. В связи с этим в структуру введены диффузионные резисторы 4 и 5 для измерения удельного сопротивления базового и эмиттерного слоев.

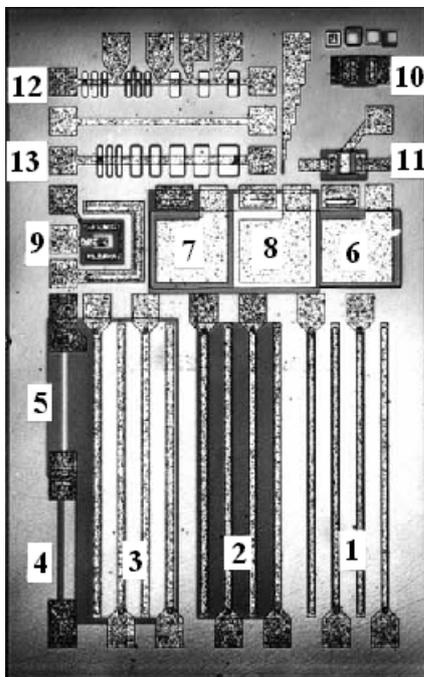


Рис. 1. Тестовая матрица для электрофизических исследований: 1, 2 и 3 – элементы для измерения величины ρ_k и снятия ВАХ контактов; 4, 5 – диффузионные резисторы; 6, 7 и 8 – МДП-конденсаторы; 9 – биполярный *n-p-n* – транзистор; 10 – диод с «полным» эмиттером; 11 – униполярный МДП – транзистор; 12, 13 – токоведущие дорожки разной ширины; 14 – элемент контроля качества фотолитографической гравировки.

МДП-конденсаторы 6, 7 и 8, сформированные соответственно на областях коллектора, базы и эмиттера, служат для определения толщины, электрической прочности окисла и профиля распределения примесей в диффузионных слоях. Кроме того, они позволяют определить характер физико-химического взаимодействия металла с тонким окислом и его влияние на электрофизические характеристики приборов. При отсутствии тонкого окисла между металлом и диффузионными слоями, элементы 6, 7 и 8 могут быть использованы для снятия вольт-фарадных характеристик (ВФХ) структур Me-Si.

Сопоставительный анализ ВАХ и ВФХ контактов с Si различного типа проводимости и уровня легирования позволяет с достаточно высокой точностью определить величину ϕ_b [5].

Биполярный *n-p-n*-транзистор 9 предназначенный для определения коэффициента усиления транзистора по току (β), контроля пробивных напряжений переходов, позволяет выяснить влияние материала КС и технологии его формирования на параметры активных элементов. С этой же целью в структуре формируется диод 10 с «беспромывочным» вариантом эмиттера («полный эмиттер»).

Униполярный МДП-транзистор 11 со встроенным каналом служит для измерения поверхностной концентрации ионизированных примесей и заряда в окисле, а также может быть использован для установления корреляции между характеристиками материала затвора и параметрами транзистора.

Дорожки 12 и 13 разной ширины позволяют определить удельное сопротивление материала проводящего слоя, исследовать процессы электромиграции при повышенных уровнях энергии на плоском и ступенчатом рельефе SiO_2 , а также оценить толщину нанесенной пленки.

Качество проведения процесса фотолитографической гравировки контролируется на ступенчатом элементе 14 с минимальной шириной 2 мкм. Адаптация данного комплекта фотошаблонов

применительно к проекционной печати на установках 584А, 5840 позволит контролировать минимальный размер линий на уровне 0,4–1,0 мкм в зависимости от используемого резиста.

Технология создания тестовой матрицы

Технологический процесс изготовления тестовых матриц с использованием разработанного комплекта фотошаблонов (рис. 2) включает следующий ряд технологических операций:

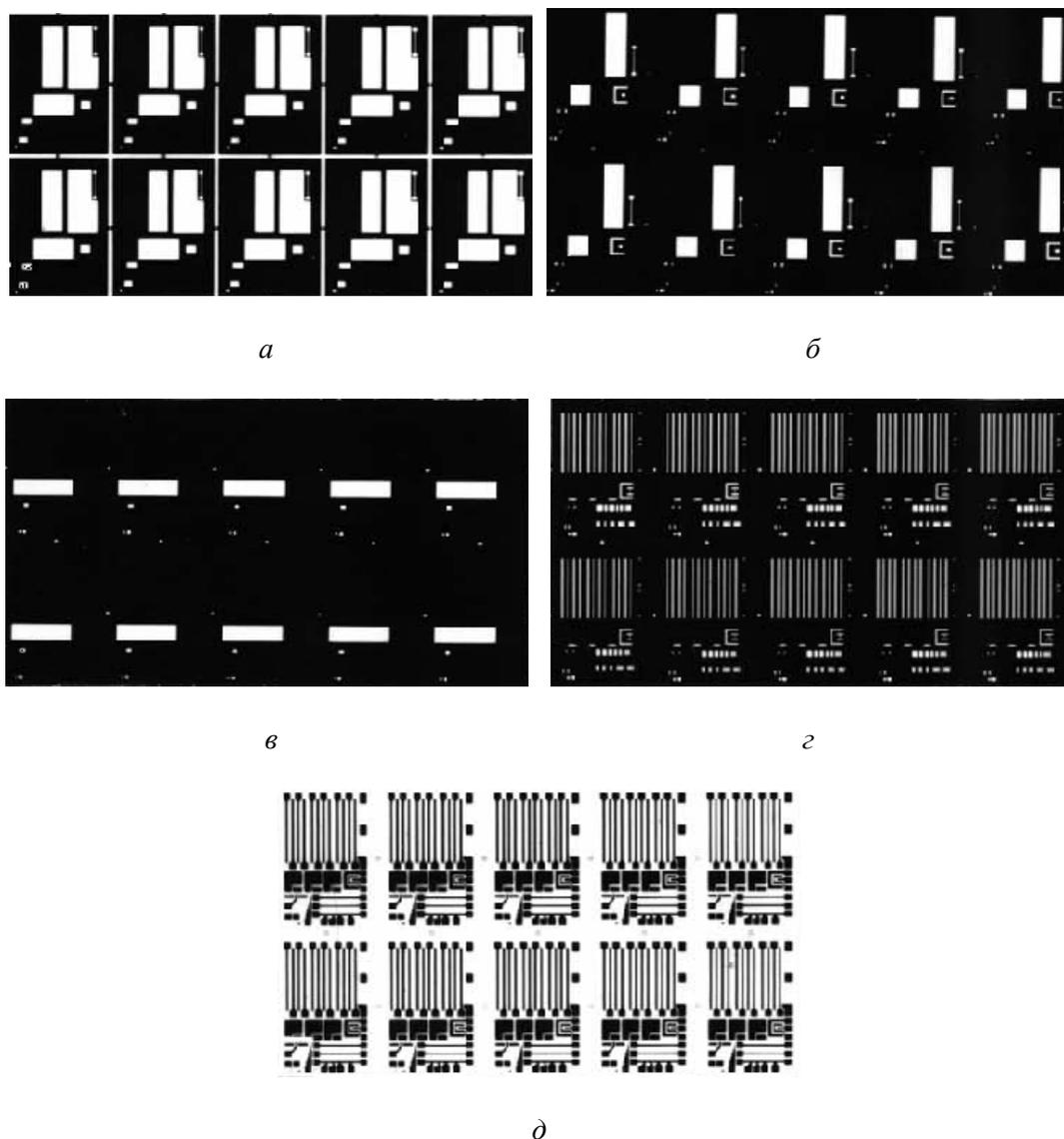


Рис. 2. Участки комплекта фотошаблонов для создания тестовой структуры:
а – базовая область; б – эмиттерная область; в – тонкий оксид;
г – контакты; д – металлизация (ПТС).

- химическая обработка партии пластин 100 КЭФ 1,5;
- высокотемпературное окисление при 1000 °С в течение 60 минут в среде влажного кислорода с добавлением HCl (15 л/ч), толщина SiO₂ – 0,45 мкм;
- фотолитография «база», толщина пленки фоторезиста ФП-РН-0,8 мкм;
- травление диоксида кремния в травителе HF+H₂O с последующей промывкой в деионизованной воде;
- удаление фоторезиста в H₂SO₄ + NH₄NO₃ с последующей промывкой и сушкой;
- ионное легирование бора, $D = 20$ мкКл/см², $E = 100$ кэВ;
- термическая обработка (отжиг базы) при 900 °С, в проточной среде O₂ (100 л/ч), 10 минут;

- фотолитография «эмиттер»;
- травление SiO₂ и снятие фоторезиста;
- ионное легирование фосфора, $D = 650 \text{ мкКл/см}^2$, $E = 30 \text{ кэВ}$;
- термическая обработка (отжиг эмиттера) при 1000 °С в течение 10 минут в среде N₂;
- травление SiO₂, удаление фоторезиста и химическая обработка;
- окисление для создания тонкого оксида при 1000 °С в сухом O₂ + HCl, с последующим отжигом в среде N₂ при 1000 °С в течение 15 минут. Толщина SiO₂ 42±2 нм;
- осаждение SiO₂ методом пиролитического осаждения $d_{\text{SiO}_2} = 0,35 \text{ мкм}$;
- фотолитография «контакты»;
- травление SiO₂ и снятие фоторезиста;
- нанесение металла (ПТС);
- фотолитография «металлизация»;
- травление металла и снятие фоторезиста, отжиг;
- контроль параметров;

Заключение

Апробация разработанной тестовой матрицы при производстве ряда структур СБИС с различными системами металлизации показала достаточно высокую эффективность ее использования как в экспертных оценках, так и в условиях реального производства. В частности, в условиях серийного производства она позволяет:

- определить оптимальное значение параметров ПТС, обеспечивающих максимальный процент выхода годных;
- производить и контролировать (при возможности устранять – реставрировать) брак на этапе, предшествующем процессу формирования ПТС;
- данные электрофизических и структурных характеристик ПТС могут быть использованы для статистической обработки и последующей коррекции параметров технологического процесса их формирования для обеспечения максимального процента выхода годных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Достанко А.П., Баранов В.В., Шаталов В.В.* Пленочные токопроводящие системы СБИС. Минск, 1989.
2. *Достанко А.П., Баранов В.В., Ивкин В.М.* Испытание на надежность проводящих элементов интегральных схем // Материалы 7-ой Отраслевой НТК, Каунас, 1979.
3. *Лацевский Р.А., Рабкина Н.В.* Использование тестовых структур для анализа причин брака и оценки надежности БИС // Обзоры по электронной технике: Микроэлектроника. Вып. 4. М., 1980.
4. *Чистяков Д.Д., Баранов В.В., Достанко А.П.* Анализ методов определения величины переходного сопротивления невыпрямляющих контактов // Обзор по электронной технике, 1978, вып. 7 (143).
5. *Зи С.М.* Физика полупроводниковых приборов. М., 1973.

Поступила 13.03.2000

Summary

The drop-in and geometry design photomask for testing metallization of VLSI was constructed on base experimental investigation of construction and technology especially of array testing.