

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

*На правах рукописи*

УДК 621.382.8

САРАТОКИНА  
Виктория Игоревна

**ФОРМИРОВАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ БАРЬЕРНЫХ СЛОЕВ ПРИ  
ЛОКАЛЬНОМ ОСАЖДЕНИИ МЕДИ**

АВТОРЕФЕРАТ  
магистерской диссертации на соискание степени  
магистра технических наук

по специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные  
компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Научный руководитель  
канд. техн. наук, доцент  
Черных А. Г.

Минск 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции уменьшения размеров интегральных микросхем (ИМС) с целью достижения наилучших электрических характеристик предъявляют серьезные требования к материалам, используемым в кремневых устройствах. В частности, к тонкопленочным соединениям, так как они являются ограничивающим фактором при определении производительности и надежности интегральных схем.

Многоуровневая металлизация ИМС стала в настоящее время областью интенсивных научных исследований. Алюминий и его сплавы использовались как основной межсоединительный материал для формирования металлизации ИМС, который отвечал большинству технических требований, предъявляемых к материалу металлизации с размерами элементов более 1 мкм. Однако для металлизации ИМС с субмикронными размерами элементов применение алюминия становится проблематичным из-за больших ограничений, связанных со свойствами металла и технологией его осаждения. В этом случае наиболее перспективным альтернативным решением является использование меди в качестве материала межсоединений в изделиях микроэлектроники.

Проблемой перехода к медным межсоединениям в совокупности с тенденцией к уменьшению размеров является большая диффузионная подвижность Си в различных материалах и формирование центров с высокоэнергетическими уровнями в запрещенной зоне кремния, что будет вызывать генерационно-рекомбинационные токи утечки в p-n переходах и подвергать опасности надежность биполярных и МОП транзисторов. Это вынуждает окружать медные межсоединения со всех сторон диффузионно-барьерным слоем (ДБС). Поскольку уменьшение размеров прибора приводит к утонению ДБС, то проблема эффективного блокирования диффузии меди в другие слои и области ИМС обостряется. В результате возникает необходимость поиска новых стабильных барьерных материалов. Проблемы с разработкой ДБС связаны с отсутствием научно-обоснованной методики выбора барьерного материала для конкретных практических задач. Анализ литературных данных указывает на то, что в большинстве случаев разработка материалов для ДБС велась чисто эмпирическим путём.

В связи с вышеизложенным, необходимо провести анализ материалов и процессов для формирования системы металлизации ИМС субмикронного уровня.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования**

Медная металлизация признана ведущими фирмами-изготовителями ИМС как процесс, способный обеспечить изготовление ИМС с проектными нормами меньше 130 нм. Основными преимуществами меди в сравнении с алюминием являются более низкое сопротивление, стойкость к электромиграции, увеличение скорости переключения элементов ИМС. Однако существуют проблемы применения медной металлизации. Главной проблемой является то, что из-за диффузии медь проникает в кремний и легко реагирует с силицидами. Эта проблема может быть решена с использованием диффузионно-барьерных слоев.

**Цели и задачи исследования.** Основной целью настоящей работы является выбор диффузионно-барьерного слоя при локальном осаждении меди и методики определения термической стабильности таких слоев. Исходя из этого, конкретные задачи данной работы состояли в следующем:

- провести анализ формирования и свойств диффузионно-барьерных слоев при изготовлении металлизации на основе пленок Cu;
- определить критерии оценки диффузионно-барьерных слоев;
- определить наилучший барьерный слой при помощи исследования термической стабильности диффузионно-барьерных слоев.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующее основное положение:

В результате использования TaN в качестве диффузионного барьерного слоя, установлено что температурная стабильность TaN выше по сравнению с TiN, что позволило, при локальном осаждении меди, увеличить на 20% температурную стабильность в системе Cu/барьерный слой/ Si.

### **Практическая значимость**

Практическая значимость проводимых научных исследований связана с необходимостью применения меди в качестве ключевого материала для элементов межсоединений ИМС, что возможно при внедрении технологии *Dual Damascene* и использованию стабильных диффузионно-барьерных слоев. Разработаны критерии выбора материалов, которые позволяют оценивать стабильные диффузионно-барьерные слои.

### **Личный вклад соискателя.**

Основные результаты, изложенные в работе, получены автором самостоятельно. Автор проводил анализ физико-химических свойств диффузионно-барьерных слоев, а также экспериментальные исследования характеристик тестовых структур Cu/ДБС/Si. Научному руководителю в совместных работах принадлежат предметные постановки задач, выбор направлений исследования, руководства при проведении экспериментальных исследований и анализе полученных результатов.

### **Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения и списка использованных источников, включающего 31 наименование. Общий объем диссертации составляет 60 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние многоуровневой металлизации ИМС на основе пленок меди, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цели и задачи, обоснована актуальность темы магистерской диссертации, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, практической значимости полученных результатов, публикациях автора, а также структура и объем диссертации.

В **первой главе** приведен анализ технологии формирования систем металлизации ИМС. Рассматриваются технологии формирования систем металлизации ИМС на основе пленок меди. Показано, что для формирования медной системы металлизации с проектными нормами менее 0,18 мкм, используется технология *Dual Damascene*. Рассмотрены принцип действия диффузионно-барьерного слоя, материалы, которые используются в качестве барьерного слоя, описаны свойства этих материалов. Также приведены особенности методов осаждения барьерных слоев при создании медной металлизации, приведена сравнительная характеристика данных методов.

Во **второй главе** приведена классификация диффузионно-барьерных слоев по типу взаимодействия. В соответствие с тремя классами (пассивные, расходимые и заполненные) проанализированы параметры материалов. Однако материал барьерного слоя необходимо рассматривать в составе структуры системы металлизации, учитывая его взаимодействие с другими слоями. Поэтому эта классификация была уточнена с использованием физико-химического анализа причин деградации гетерогенной системы. Показано, что, исходя из наиболее общих принципов стабильности многослойных систем, существует два фактора, определяющих процесс деградации системы металлизации:

– Термодинамический фактор, который определяется движущими силами, вызванными градиентом концентрации компонентов, и тенденцией к химическому взаимодействию.

– Кинетический фактор, лимитирующий скорость взаимодействия компонентов системы под действием термодинамического фактора.

Используя такой анализ процесса деградации, приведено два основных кри-

терия выбора компонентов барьерного материала.

В **третьей главе** приведены данные о свойствах и параметрах диффузионно-барьерных слоях на основе пленок TaN. Показаны подробные характеристики барьерных слоев на основе этих пленок, их методы осаждения, механизмы отказа, температуры, при которых диффузионно-барьерные слои стабильны. Далее дается детальное описание методики проведения эксперимента. В заключение приведены результаты исследований термической стабильности, используя метод Оже-электронной спектроскопии.

В **выводах** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, основные выводы теоретической части и приведены основные результаты исследований диффузионно-барьерных слоев на основе пленок TaN.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В рамках магистерской диссертации рассмотрены технология формирования медной металлизации ИМС, принцип действия ДБС, основные материалы для барьерных слоев, а также процессы осаждения слоя меди.

Рассмотрена классификация диффузионно-барьерных слоев. Проведен анализ этой классификации с физико-химической точки зрения. Показано, что исходя из наиболее общих принципов, существует два фактора, определяющих скорость деградации СМ:

– Термодинамический фактор, существующий при любой температуре отличной от 0 К. Он определяется движущими силами, вызванными градиентом концентрации компонентов, и тенденцией к химическому взаимодействию.

– Кинетический фактор, лимитирующий реализацию взаимодействия компонентов системы под действием термодинамического фактора. В первую очередь он зависит от скорости диффузии атомов и экспоненциально зависит от температуры.

Исследована эффективность использования TaN и TiN в качестве диффузионных барьеров.

Был использован метод оценки стабильности медной металлизации ИМС с ДБС на основе пленок TaN и TiN. Методом является оценка элементного состава слоев с помощью Оже-спектрометра.

Полученные результаты исследований барьерных слоев найдут применение при изготовлении ИМС с многоуровневой системой межсоединений элементов.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А] Саратокина В. И., Назаревич Д. Н. Термическая стабильность диффузионных барьерных слоев в системах  $\text{Cu/TiN}_x/\text{Si}$  и  $\text{Cu/TaN}_x/\text{Si}$  / В. И. Саратокина, Д. Н. Назаревич // ФКС XXV: Материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2017 – с 97-99.

[2-А] Саратокина В. И., Рышко В. Н. Влияние среды на фоторезист при иммерсионном экспонировании / В. И. Саратокина, В. Н. Рышко // ФКС XXIV: Материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2016 – с 90-91.

[3-А] Саратокина В. И. Барьерные слои в системе медной металлизации интегральных микросхем / В. И. Саратокина // 10-я международная научно-техническая конференция молодых ученых и студентов: Материалы конференции. – Минск: БНТУ, 2017.

[4-А] Черных А. Г., Бегунов П. С., Саратокина В. И. Моделирование емкости в межуровневой структуре межсоединений интегральных микросхем / В. И. Саратокина // ISCIENCE.IN.UA «Актуальные научные исследования в современном мире». Выпуск 3 (23). С 128 - 132

[5-А] Саратокина В. И. Локальное осаждение меди при формировании межсоединений ИМС / В. И. Саратокина // 53-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов: Материалы конференции. – Минск: БГУ-ИР, 2017

[6-А] Саратокина В. И., Мир Д. В., Писаренко Н. С. Методы селективного осаждения меди для межсоединений в ИМС / В. И. Саратокина, Д. В. Мир, Н. С. Писаренко // ФКС XXVI: Материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2018.