

Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра микро- и наноэлектроники

# **БАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

Методические указания

Минск 2007

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра микро- и наноэлектроники

## БАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Методические указания и контрольные задания  
по дисциплине «Маршрутная технология интегральных  
и больших гибридных интегральных схем,  
датчики и сенсорные устройства»  
(раздел «Базовые технологические процессы интегральных схем»)  
для студентов специальности I-42 01 02 «Микро- и наноэлектроника,  
технологии и системы»  
заочной и дистанционной формы обучения

Минск 2007

УДК 621.3.049.77.002 (075)

ББК 32.844.1

М 20

Рецензент:

доцент кафедры ЭТТ БГУИР Ланин В. Л.

Составитель:

Ю. А. Родионов

Базовые технологические процессы интегральных схем. Метод. указания по дисциплине «Маршрутная технология интегральных и больших гибридных интегральных схем, датчики и сенсорные устройства» (раздел «Базовые технологические процессы интегральных схем») для студ. спец. I-42 01 02 «Микро- и наноэлектроника, технологии и системы» заочной и дистанционной формы обуч./ Сост. Ю. А. Родионов – Мн.: БГУИР, 2007. – 18с.: ил.

В методических указаниях обобщены сведения по основным технологическим процессам производства кремниевых дискретных приборов, интегральных схем и МЭМС. Рабочая программа по данной дисциплине дополнена методическими указаниями к ней, приводится перечень лабораторных работ и контрольные задания.

Предназначены для студентов заочной и дистанционной форм обучения по специальности I- 41 01 02 «Микро- и наноэлектроника, технологии и системы».

**УДК 621.3.049.77.002 (075)**

**ББК 32.844.1**

С Родионов Ю. А.

С БГУИР, 2007

**Содержание**

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ.....	5
1.1. Цель изучения дисциплины.....	5
1.2. Задачи изучения дисциплины.....	5
1.3. Место дисциплины в ряду дисциплин, изучаемых студентами специальности I-41 01 02 «Микро- и нанoeлектроника, технологии и системы».....	5
1.4. Значение дисциплины для инженеров электронной техники .....	6
2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ТЕМАМ .....	6
3. ЛИТЕРАТУРА.....	6
4. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЕЕ РАЗДЕЛАМ.....	7
4.1. Поверхностная обработка полупроводниковых материалов.....	7
4.2. Диэлектрические пленки на кремнии.....	8
4.3. Введение примесей в кремний и легирование полупроводниковых материалов.....	11
4.4. Технология литографических процессов.....	13
4.5. Металлизация.....	14
5. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	15
6. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ.....	15

## **1.ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ**

Изучение раздела «Базовые технологические процессы интегральных схем» следует вести последовательно по темам. После ознакомлений с темой и методическими указаниями необходимо подобрать литературу и законспектировать основные положения темы. Основным информационным источником для студентов заочной формы обучения является электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Базовые технологические процессы в микроэлектронике» для студентов специальности I-41 01 02. Этот комплекс имеется в электронной библиотеке кафедры «микро- и наноэлектроника» и библиотеке БГУИР и, при необходимости, выдается преподавателем на электронном носителе.

Программа дисциплины соответствует учебному плану в объеме 59,5 лекционного часа.

В процессе изучения студент выполняет одну контрольную работу. К экзамену студент допускается после зачета по контрольной работе.

### 1.1. Цель изучения дисциплины.

Целью изучения дисциплины является приобретение глубоких знаний по основным (базовым) технологическим процессам изделий микроэлектроники, которые лежат в основе производства дискретных полупроводниковых приборов, интегральных схем любого класса и назначения, микроэлектромеханических систем (МЭМС), изделий микрофотоэлектроники и т. д.

### 1.2. Задачи изучения дисциплины.

Основными задачами дисциплины является изучение технологических процессов подготовки поверхности полупроводниковой подложки к нанесению, либо созданию технологического слоя (легированного слоя, диэлектрических пленок, эпитаксиальных полупроводниковых пленок, пленок металлизации) и процессов формирования микрорельефа и топологии технологических слоев.

В задачи дисциплины входит также изучение методик контроля изделия, либо полуфабриката на всех этапах технологического процесса.

### 1.3. Место дисциплины в ряду дисциплин, изучаемых студентами специальности I-41 01 02 «Микро- и наноэлектроника, технологии и системы»

Данный курс базируется на знаниях, приобретенных студентами при изучении химии, физики, материаловедения и физики твердого тела и является одним из основополагающих курсов специальности.

### 1.4. Значение дисциплины для инженеров электронной техники.

При изучении дисциплины у студентов формируется инженерное мышление и научное мировоззрение, необходимое в производстве современных наукоемких изделий, определяющих научно-технический уровень Республики.

## **2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ТЕМАМ**

Введение – 2 лекционных часа

1. Поверхностная обработка полупроводниковых материалов - 10 лекц. ч.
2. Диэлектрические пленки на кремнии – 10 лекц. ч.
3. Введение примесей в кремний и легирование полупроводниковых материалов – 15 лекц. ч.
4. Металлизация – 7,5 лекц.ч.

## **3. ЛИТЕРАТУРА**

### *Основная*

1. ЭУМК по дисциплине «Базовые технологические процессы для студентов специальности I - 4101 02. Конспект лекций.
2. Ю.А.Родионов и др. Химическая обработка в технологии ИС. ПГУ, 2001.
3. Ю.А.Родионов. Литография в производстве интегральных микросхем. Мн.: Дизайн ПРО, 1998.

### *Дополнительная*

1. У. Моро. Микролитография. М.: Мир, 1990.
2. Курносков А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М.: Высш. шк., 1979.
3. Малышева И.А. Технология микроэлектронных устройств. М.: Энергия, 1980.

## **4. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЕЕ РАЗДЕЛАМ.**

## ВВЕДЕНИЕ

Задачи и содержание дисциплины. Основные сведения о развитии микроэлектроники, науки и производства современных и перспективных изделий. Требования, предъявляемые к современному производству и научно-техническому персоналу данного производства. Микро-наноэлектроника как основополагающая отрасль мировой цивилизации.

### 4.1. ПОВЕРХНОСТНАЯ ОБРАБОТКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Основные физико-химические свойства германия, кремния, арсенида галлия, теллура висмута. Индексы Миллера, кристаллографические плоскости. Механическая обработка полупроводниковых подложек (резка, шлифовка, полировка, химико-механическая полировка). Нарушенный слой после механической обработки. Химическая очистка поверхности – основные реактивы и технологические приемы. Методы контроля чистоты поверхности.

Классификация основных загрязнений поверхности. Химическое травление кремния. Кинетика химического травления. Основные теории растворения кремния. Зависимости скорости травления от технологических факторов. Химико-динамическая полировка. Анизотропное травление. Травление оксида и нитрида кремния. Отмывка пластин в деионизованной воде, растворах на основе перекиси водорода. Плазмохимическое травление кремния. ПХТ двуокиси и нитрида кремния.

#### **Литература**

##### *Основная*

- [1], с. 1 – 28,
- [2], с. 95 – 171.

##### *Дополнительная*

- [3], с 60 – 8. 2.

#### **Методические указания**

Обратить особое внимание на основные химические реакции травления кремния, оксида кремния и нитрида кремния.

Понять природу химического и плазмо-химического травления технологических слоев. Иметь четкое представление о теориях растворения кремния в неорганических кислотах. При изучении процессов обезжиривания, травления и отмывки обратите внимание на качество химических реактивов и

технологические режимы. Проанализируйте влияние технологических факторов на скорости травления технологических слоев. Определить основные факторы, определяющие качество химической подготовки и обработки полупроводниковых подложек. Оцените степень применимости основных средств и методик оценки качества поверхности после химических обработок.

### ***Вопросы и задания для самопроверки***

1. Каковы основные кристаллографические ориентации кремниевых подложек?
2. Каковы основные коммерческие марки монокристаллического кремния для исходных подложек?
3. Поясните физическую природу механической обработки подложек.
4. Объясните структуру нарушенного слоя после механической обработки.
5. Назовите основные технологические приемы при механической обработке подложек.
6. Поясните сущность химико-механической полировки.
7. Каковы основные химические реакции травления примеси?
8. Каковы основные реакции травления диоксида и нитрида кремния?
9. Основные особенности отмывки кремниевых подложек в деионизованной воде.
10. Какова степень очистки деионизованной воды в техпроцессе отмывки.

## **4.2. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ НА КРЕМНИИ**

Термическое окисление кремния. Основные функции окисных пленок в структуре интегральных схем.

Окисление кремния при комнатной температуре (естественное окисление). Эффект тунелирования при естественном окислении.

Физический механизм роста окисла при высокой температуре. Особенности роста пленок при сухом и влажном окислении.

Структура окисла кремния. Катионы – модификаторы. Гидроксильные группы в структуре окисла. Мостиковый кислород как фактор образования немостиковых гидроксильных групп.

Модель окисления Дила-Гроува. Кинетика роста кремния. Факторы, определяющие влияние на скорость роста пленок. Влияние температуры окисления. Окисление в пирогежном паре и сухом кислороде. Влияние парциального давления окислителя. Влияние ориентации подложки на кинетику окисления. Влияние типа и концентрации примеси в подложке на скорость окисления. Оборудование для окисления кремния. Структурная схема установки окисления в технологическом цикле: сухой – влажный – сухой кислород.

Методы контроля параметров диэлектрических слоев. Контроль толщины диэлектрика. Контроль дефектности слоев. Основные технологические причины, обуславливающие пористость диэлектрического слоя. Метод



электролиза воды. Метод электрографии. Метод электронной микроскопии. Контроль заряда на границе полупроводник – диэлектрик. Быстрые и медленные состояния. Структура металл – полупроводник – диэлектрик.

Осаждение пленок диоксида кремния из силановых фаз. Схемы реакторов осаждения диоксида кремния из парогазовой смеси при пониженном и атмосферном давлении.

Осаждение нитрида кремния. Зависимость удельного сопротивления пленок нитрида кремния от соотношения кремний – водород в силановой фазе.

Перспективы развития методов осаждения диэлектрических пленок.

## **Литература**

### *Основная*

[1], с. 31-58.

### *Дополнительная*

[3], с. 145-171.

## **Методические указания**

Основные функции диэлектрических слоев в структуре кремниевых интегральных схем.

Механизм роста окисных пленок, физико-химические процессы окисла в зависимости от физических характеристик и технологических условий роста.

Окисление кремния при комнатной температуре. Обратит внимание на структуру окисла и границу раздела кремний – окисел

Изучить трехмерную структуру окисла. Выяснить роль мостикового кислорода в связи кислород – кремний. Обратит внимание на несобственные элементы, способствующие стеклообразованию и модификации окисла при окислении. При этом особое внимание уделить бору и фосфору. Изучить катионы – модификаторы (натрий, калий, свинец) и понять их влияние на электроперенос в окисле.

Изучить модель Дила – Гроува, как наиболее правдоподобную при объяснении процессов окисления кремния. Обратит внимание на основные потоки массопереноса при окислении кремния в среде сухого кислорода.

Проанализировать зависимость толщины кремния от времени. Обратит внимание на применимость линейного и параболического закона окисления. Уделить внимание факторам, определяющим общие закономерности окисления.

Разобраться с природой пирогенного окисления. Обратит внимание на роль кристаллографической ориентации поверхности кремниевой подложки при окислении.

При изучении оборудования для окисления особое внимание уделить вопросам создания ламинарного потока в газораспределительной системе. Внимательно изучить процесс увлажнения кислорода в барбатере.

Изучить методы контроля параметров диэлектрических пленок. При этом особое внимание уделить методикам контроля толщины пленок и определения заряда на границе полупроводник – диэлектрик. Особое внимание уделить вопросам контроля дефектности пленок, в частности – пористости.

Выяснить применимость разрушающих и неразрушающих методик определения качества диэлектрических пленок.

Уделить достаточное внимание изменению вольт-емкостной характеристики под воздействием фиксированного заряда.

### ***Вопросы и задания для самопроверки***

1. Каковы функции диэлектрических пленок в структуре кремниевых ИС?
2. Какова структура диоксида кремния?
3. Объяснить физику роста окисла кремния при комнатной температуре.
4. Назовите основные факторы, определяющие кинетику высокотемпературного окисления.
5. Модель окисления Дила-Гроува.
6. Пояснение влияния технологических факторов на скорость роста окисных пленок.
7. Линейный и параболический законы термического окисления.
8. Контроль толщины диэлектрических пленок интерференционным методом.
9. Контроль пористости диэлектрических пленок электролизом воды.
10. Электрографический метод контроля пористости диэлектрических пленок.
11. Контроль заряда на границе полупроводник – диэлектрик.
12. Структура установки снятия вольт- емкостных характеристик.
13. Быстрые и медленные состояния на границе раздела полупроводник – диэлектрик.
14. Структура металл – полупроводник – диэлектрик.
15. Осаждение пленок нитрида кремния из Силановых фаз.
16. Осаждение пленок оксида кремния из парогазовой смеси.
17. Особенности осаждения пленок диоксида кремния при пониженном давлении.
18. Особенности осаждения пленок диоксида кремния при атмосферном давлении.

## **4.3. ВВЕДЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ В КРЕМНИЙ И ЛЕГИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Основные технологические методы создания легированных слоев. Роль легированных слоев в структуре ИС. Термодиффузия. Основные характеристики диффузионных слоев. Механизмы диффузии примесей в твердом теле (прямой обмен местами, кольцевой обмен, перемещение по вакансиям, перемещение по междоузлиям, миграция по протяженным дефектам, эстафетная диффузия).

Коэффициент диффузии. Температурная зависимость коэффициентов диффузии основных примесей в кремнии.

Распределение примесей при диффузии. Первый и второй законы Фика. Диффузия из бесконечного источника. Диффузия из ограниченного источника. Технология проведения термодиффузионного процесса.

Основные источники донорных и акцепторных примесей.

Диффузия из твердого планарного источника. Диффузия из газовой фазы. Диффузия из твердого источника.

Контроль параметров диффузионных слоев. Измерение глубины залегания р-п-перехода. Измерение поверхностного сопротивления диффузионного слоя.

Эпитаксиальные пленки. Рост эпитаксиальных пленок. Гомоэпитаксия. Гетероэпитаксия. Основные причины образования дефектного переходного слоя.

Методы получения эпитаксиальных слоев кремния. Эпитаксия из жидкой фазы. Хлоридный метод. Силановый метод. Легирование эпитаксиальных пленок. Легирование из раствора. Легирование из газовой фазы. Основные технологические факторы, определяющие кинетику роста эпитаксиальных пленок.

Гетероэпитаксия кремния на диэлектрических подложках. Основные подложки. Легирование гетероэпитаксиальных пленок.

Перераспределение примесей при эпитаксии.

Ионное легирование. Характеристика процесса имплантации. Пробег ионов. Распределение пробега. Ядерная тормозная способность. Электронная тормозная способность.

Радиационные нарушения мишени. Эффект каналирования. Дефекты структуры в полупроводниках при ионном легировании. Устранение дефектов ионного легирования (термоотжиг, ламповый отжиг, лазерный отжиг).

Распределение внедренных ионов.

Распределение примесей в интегральных структурах. Влияние распыления полупроводника. Распределение примеси при термическом отжиге.

Оборудование для ионного легирования. Ионные источники.

## Литература

*Основная*

[1], с. 58 – 106.

*Дополнительная*

[3], с. 222 – 236 .

### **Методические указания**

Изучению теоретических аспектов термодиффузии уделить особое внимание. Необходимо понять механизмы перемещения примесных атомов по кристаллической решетке кремния.

Обратить внимание на коэффициент диффузии примесей и распределение примесей при диффузии.

Необходимо изучить законы термодиффузии Фика, определяющие протекание процессов распределения примесей в полупроводнике.

Обратить внимание на проведение этапов технологических процессов термодиффузии. Оценить применимость разных способов проведения термодиффузии.

При изучении контроля параметров диффузионных слоев обратить внимание на контроль толщины слоя методом косого и шарового слоя.

Контроль концентрации легирующей примеси в слое определяется измерением поверхностного сопротивления, поэтому на этот метод обратить особое внимание.

Рассмотрите рост эпитаксиальных пленок на кремниевых и сапфировых подложках. При этом уделите внимание хлоридному и силановому методам.

Изучите и оцените роль технологических факторов на параметры роста эпитаксиальных пленок.

При рассмотрении процессов ионного легирования нужно изучить теорию ионных пробега в твердом теле. Очень важно изучить радиационные дефекты, возникающие в подложке при ионном облучении и научиться устранять их методами длительного температурного отжига, либо ламповым или лазерным облучением. Такой подход позволит в дальнейшем грамотно выбрать технологический прием и рассчитать его параметры.

Для грамотного выбора технологических режимов ионного легирования необходимо изучить закономерности распределения ионов в кремниевой подложке.

### ***Вопросы и задания для самопроверки***

1. В чем сущность метода ионного легирования?
2. Объясните преимущества ионного легирования перед термодиффузией.
3. Основные законы термодиффузии Фика.
4. Механизмы термодиффузии в твердом теле.
5. Диффузия из ограниченного источника.
6. Диффузия из бесконечного источника.
7. Контроль глубины залегания p-n-перехода.

8. Контроль поверхностного сопротивления.
9. Хлоридный метод получения эпитаксиальных слоев.
10. Силановый метод получения эпитаксиальных слоев.
11. Основные типы эпитаксиальных реакторов.
12. Контроль толщины эпитаксиальных слоев.
13. Структурная схема установки ионного легирования.
14. Источники слоев для установки ионного легирования.
15. Ламповый отжиг дефектов слоев.
16. Высокотемпературный отжиг дефектов слоев.
17. Лазерный отжиг дефектов слоев.

#### 4. 4. ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Классификация процессов литографии. Позитивные и негативные фоторезисты. Схема фотолитографического процесса. Взрывная (обратная) фотолитография. Основные свойства фоторезистов (светочувствительность, разрешающая способность, стойкость к воздействию агрессивных факторов).

Фотошаблоны. Техпроцесс изготовления металлизированных фотошаблонов.

Технологические операции фотолитографии.

Контактная фотолитография.

Литография в глубоком ультрафиолете. Проекционная фотолитография. Электролитография. Рентгенолитография. Электропорезисты.

#### **Литература**

##### *Основная*

[1], 107 – 138.

[3], 6 – 75.

##### *Дополнительная*

[3], 84 – 116.

#### **Методические указания**

При изучении разделов по фоторезистам особое внимание обратить на физику светопоглощения в органических фотополимерах.

Внимательно изучить основные свойства фоторезистов, определяющих качество всего фотолитографического процесса.

Изучить техпроцесс изготовления металлизированного фотошаблона, особое внимание уделяя режимам нанесения технологических слоев и процессам химической подготовки стеклянной подложки.

Оценить применимость взрывной фотолитографии применительно к вскрытию топологии на больших площадях. Обратить особое внимание на техпроцесс проекционной электронно-лучевой литографии.

### ***Вопросы и задания для самопроверки***

1. Позитивные и негативные фоторезисты.
2. Нанесение, сушка и задубливание фоторезисторов.
3. Совмещение и экспонирование рисунка при фотолитографии.
4. Особенности размерного травления.

При фотолитографии.

5. Техпроцесс изготовления металлизированного фотошаблона.
6. Техпроцесс изготовления цветного фотошаблона.
7. Взрывная (обратная) литография.
8. Химподготовка. Подложка перед нанесением фоторезиста.
9. Фотолитография на микрозоре.
10. Проекционная фотолитография.
11. Проекционная фотолитография в глубоком ультрафиолете.
12. Электронно-лучевая литография.
13. Электронорезисты.
14. Рентгеновская литография.

## **4.5. МЕТАЛЛИЗАЦИЯ**

Основные материалы металлизации. Требования к системам металлизации ИС. Свойства пленок алюминия. Электродиффузии в пленках алюминия. Методы получения металлических пленок.

Создание омических контактов. Многослойная разводка.

### **Литература**

#### *Основная*

[1], с. 139 – 160.

#### *Дополнительная*

[3], с. 245 – 267.

### **Методические указания**

При изучении материалов металлизации особое внимание обратить на свойства алюминия – основного материала металлизации в кремниевых ИС.

Рассмотреть свойства ванадия и молибдена с точки зрения использования их в качестве металлов для создания диодов Шоттки на кремнии.

Обосновать применимость магнетронного распыления при нанесении металлизации толщиной более 0,1 мкм. При рассмотрении процессов электромиграции в металлических пленках особое внимание уделить физике электропереноса, в частности «электронному ветру».

### ***Вопросы и задания для самопроверки***

1. Свойства алюминия, обеспечивающие применимость его в качестве металлизации кремниевых ИС.
2. Основные металлы, применяемые в качестве барьерных для диодов Шоттки.
3. Принцип электронно-лучевого испарения.
4. Конструкции и принцип работы цилиндрического и плоского магнетрона.
5. Электромиграция в тонких пленках металлизации.
6. Технологические пути снижения влияния электромиграции на ухудшение качества металлизации.

### **5. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Техпроцесс высокотемпературного окисления кремния
2. Техпроцесс ионного легирования кремния бором и фосфором
3. Техпроцесс термодиффузии бора и фосфора в кремний
4. Техпроцесс газофазной эпитаксии кремниевых слоев

### **6. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

Каждый студент выполняет контрольное задание состоящее описания одного технологического процесса, либо приема и и решения двух обратных технологических задач:

1. По определению технологических режимов получения легированной методом термодиффузии пленки заданных параметров;
2. По определению технологических режимов создания легированной методом ионной имплантации пленки заданных параметров.

При этом задается:

1. тип подложки, например КЭФ – 4,5; КДБ – 40; КЭС – 0,1 и т.д.
2. требуемая толщина пленки например 0,1 мкм; 0,3 мкм; 0,18 мкм и т.д.
3. поверхностное сопротивление пленки, например 10 Ом/кв; 40 Ом/кв и т.д.

По этим исходным данным требуется определить (рассчитать) технологический режим (температуру, длительность процесса, дозу облучения и т.д.)

Такие задачи являются стандартными для специалиста в области технологии кремниевых ИС и постоянно решаются линейными технологами и разработчиками в повседневной практике. Для облегчения решения таких учебных задач для студентов приводятся типовые примеры решения реальных инженерных задач и примеры оформления отчетов по этим задачам ([1] ЭУМК по дисциплине «Базовые технологические процессы для студентов специальности I - 4101 02.»)

Каждый студент выполняет вариант контрольного задания, номер которого соответствует порядковому номеру фамилии студента в зачетной ведомости.

Решение задач можно заказать [www.reshezadachi.ru](http://www.reshezadachi.ru)

## 1. Описать технологический процесс

1. Механическая резка слитка на пластины и шлифовка пластин
2. Химико-механическая полировка пластин
3. Обезжиривание поверхности пластин
4. Полирующее химическое травление пластин
5. Отмывка пластин после химобработок
6. Плазмохимическое травление
7. Высокотемпературное окисление кремния в сухом кислороде
8. Высокотемпературное окисление кремния в цикле сухой- влажный- сухой кислород
9. Пирогенное окисление кремния
10. Механизмы термодиффузии в твердом теле
11. Основные законы термодиффузии в твердом теле
12. Основные технологические приемы проведения термодиффузии
13. Технологический контроль диффузионного слоя
14. Основные положения теории ионного легирования
15. Эффект каналирования при ионном легировании
16. Структура и принцип работы установки ионного легирования
17. Технологический контроль имплантированных слоев
18. Фотолитография на микрозоре
19. Проекционная фотолитография в глубоком ультрафиолете
20. Электронно-лучевая литография
21. Рентгеновская литография
22. Магнетронное распыление металлов
23. Электронно-лучевое распыление металлов
24. Ионно-лучевое распыление металлов
25. Многослойная металлизация
26. Электромиграция в тонких пленках металлизации



## 2. Решить обратную задачу по термодиффузии

Номер варианта	Тип подложки	Внедряемая примесь	Толщина диф. слоя	Поверхностное сопротивление Ом/кв	Процесс
1	КЭФ-4,5	В	0,1	40	2 стадии
2	КЭФ-4,5	В	0,2	50	2 стадии
3	КЭФ-10	В	0,3	60	2 стадии
4	КЭФ-10	В	0,11	35	2 стадии
5	КЭФ-20	В	0,12	48	2 стадии
6	КЭФ-20	В	0,13	50	2 стадии
7	КЭФ-40	В	0,14	41	2 стадии
8	КЭФ-40	В	0,2	60	2 стадии
9	КДБ-10	Р	0,1	40	2 стадии
10	КДБ-10	Р	0,18	41	2 стадии
11	КДБ-10	Р	0,15	38	2 стадии
12	КДБ-20	Р	0,1	52	2 стадии
13	КДБ-20	As	0,2	45	2 стадии
14	КДБ-20	As	0,15	40	2 стадии
15	КДБ-40	As	0,25	38	2 стадии
16	КДБ-40	As	0,11	51	2 стадии
17	КДБ-40	As	0,15	44	2 стадии
18	КЭС-01	В	0,1	40	2 стадии
19	КЭС-01	В	0,2	35	2 стадии
20	КЭС-01	В	0,15	40	2 стадии

## 3. Решить обратную задачу по ионному легированию

Номер варианта	Тип подложки	Примесь	Глубина имплантации	Поверхностное сопротивление Ом/кв
1	КЭФ-4,5	В	0,1	38
2	КЭФ-4,5	В	0,11	39
3	КЭФ-10	В	0,12	40
4	КЭФ-10	В	0,13	41
5	КЭФ-20	В	0,14	42
6	КЭФ-20	В	0,15	43
7	КДБ-10	Р	0,1	44
8	КДБ-10	Р	0,12	45
9	КДБ-10	AS	0,11	38

10	КДБ-40	AS	0,13	40
11	КДБ-40	AS	0,14	41
12	КДБ-40	P	0,15	38
13	КДБ-40	P	0,1	39
14	КДБ-40	P	0,11	40
15	КДБ-20	P	0,15	42
16	КДБ-20	P	0,14	38
17	КДБ-20	P	0,12	40
18	КЭС-0,1	B	0,1	40
19	КЭС-0,1	B	0,11	41
20	КЭС-0,1	B	0,12	42

Св. план 2007, поз.

Учебное издание

# **БАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

Методические указания  
для студентов специальности I-41 01 02  
«Микро- и нанoeлектроника, технологии и системы»  
заочной и дистанционной форм обучения

Составитель:

**Родионов Юрий Анатольевич**

Редактор  
Корректор

---

Подписано в печать 2007. Формат 60x84 1/16 Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать ризографическая. Усл. Печ. л.  
Уч.- изд. л. Тираж экз. Заказ

---

Издатель и полиграфическое исполнение. Учреждение образование  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131518 от 30.04.2004

220013, Минск, П. Бровки,6