

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ  
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

**“УТВЕРЖДАЮ”**

Декан факультета Электроники

\_\_\_\_\_ А.Г.Васильев

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**“СОГЛАСОВАНО”**

Председатель учебно-методической  
комиссии по специальности

\_\_\_\_\_ А.Г.Васильев

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА**

по курсу **“ Математические модели технологических процессов электронной техники ”**

Специальность	200100 - Микроэлектроника и твердотельная электроника
Факультет	<b>Электроники</b>
Курс	5
Семестр	10
Лекции (часов)	51
Лабораторные работы	—
Практические занятия	17
Индивидуальные занятия с преподавателем	17
Самостоятельная работа студентов	17
<b>ВСЕГО (часов)</b>	<b>102</b>
Курсовая работа	+
Зачет	—
Экзамен	+

Утверждена на заседании кафедры  
“Физика конденсированного состояния”

Протокол № \_\_\_\_\_ от “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С.Сигов

## Цель курса

### **Студент должен знать и уметь использовать:**

- Основные модели технологических процессов микроэлектроники – травления, осаждения, диффузии, окисления, имплантации, литографии.
- Основные модели в физике поверхности – процессов адсорбции-десорбции, поверхностной диффузии

### **Студент должен иметь представление:**

- О последовательности технологических процессов в технологии ИС
- Методах диагностики плазмы и твердого тела

Курсу “ Математические модели технологических процессов электронной техники ” предшествуют дисциплины:

Математический анализ, Алгебра, Теория вероятностей, Теория функций комплексного переменного, Методы математической физики, Численные методы, Информатика, Физика, Физика твердого тела, Теоретические основы электротехники, Твердотельная электроника, Микроэлектроника, Оптическая и квантовая электроника, Технология материалов электронной техники, Микросхемотехника, Физика диэлектриков, Процессы микро- и нанотехнологии, Методы исследования материалов и структур электроники.

## Задачи курса

### **В курсе студенты осваивают:**

Математические модели и описание процессов

- Травления/осаждения
- Имплантации
- Диффузии
- Литографии
- Окисления

## Содержание курса

Программа курса

### «Математические модели технологических процессов электронной техники»

#### 1. Введение

Основные технологические процессы производства ИС

Технологические нормы по этапам до 2015 г. (ITRS)

Закон Мура

Что такое математическое моделирование технологических процессов

#### 2. Травление/осаждение (моделирование процесса)

Изотропное травление в жидкости

Анизотропное травление в плазме

Плазменные источники, применяемые в технологии – ВЧ, СВЧ, ЭЦР

Основные положения теории плазменного разряда

Основные химические реакции при травлении кремния

Модель реактивного ионного травления

Модель решеточного газа и основные положения теории адсорбции Лэнгмюра

Метод Монте Карло, функция распределения.

Способы получения заданных функций распределения методом Монте Карло

Метод кумулятивной функции, метод отбрасывания (rejection) получения заданных функций распределения

Моделирование травления микроструктур

Отражение нейтральных и заряженных частиц от поверхности профиля

Интегральное уравнение для потока нейтральных частиц в заданную точку профиля травления

Коэффициент прилипания, функция рассеяния, степень заполнения поверхности

Кинетические уравнения для описания процессов травления/осаждения

Математические методы продвижения профиля травления/осаждения

Метод струны, метод ячеек, метод характеристик

#### 3. Имплантация

Для чего используется имплантация

Основные параметры функции распределения примесей по глубине

Диффузия бора в кремнии

Каналирование

Transient enhanced diffusion (TED), boron enhanced diffusion (BED), oxidation enhanced diffusion (OED)

Мелкозалегающие p-n переходы, аморфизирующее легирование

#### 4. Дефекты

Междоузельные и вакансионные точечные дефекты в кремнии

Бор-междоузельный дефектный кластер

(311)-дефекты в кремнии

Вычисление равновесной концентрации точечных дефектов

#### 5. Диффузия

Цели и методы термического отжига. Диффузионный отжиг, быстрый термический отжиг, лазерный быстрый отжиг

Модель диффузии бора в кремнии

Основные уравнения, учитывающие TED, BED, OED

#### 6. Литография

Общие представления о процессе литографии. Позитивный, негативный резист.

Оптическая литография:

- i. Оптические расчеты, числовая апертура, функция модуляции передачи. Расчет интенсивностей
  - ii. Расчет экспонирования, уравнение для расчета плотности ингибитора
  - iii. Расчет травления фоторезиста.
- Электронно-лучевая литография  
 Расчет экспонирования  
 Функция близости  
 Расчет коррекции эффекта близости

7. Окисление

- Для чего нужно окисление: маска при имплантации и диффузии, пассивация поверхности, изоляция приборов в ИС, подзатворный диэлектрик
- Механизм роста окисла кремния  
 Модель Дила  
 Диффузионный контроль окисления  
 Кинетический контроль окисления  
 Параболический закон окисления  
 Линейный закон окисления

8. Физика поверхности

- Адсорбция  
 Кинетика и динамика адсорбции  
 Химический потенциал  
 Физическая адсорбция  
 Химическая адсорбция  
 Диффузия по поверхности

**Распределение времени по разделам:**

Часть	Часть I ( 51 час)															
Разделы	1	2	3	4	5	6	7	8								
Часы	2	7	7	7	7	7	7	7								

**Примерные темы курсовых работ:**

- Формирование тонких пленок  $TiSi_2$  салицидным методом
- Повышение диэлектрической проницаемости подзатворного диэлектрика транзисторных структур
- Модель диффузии бора в кремнии
- Ионная имплантация и методы ее описания

**Основная литература:**

1. С.М.Зи. Технология СБИС. В 2-х томах, М.Мир, 1986
2. Э.Зенгуил. Физика поверхности. М.Мир, 1990

3. Ю.П.Райзер, М.Н.Шнейдер, Н.А.Яценко. Высокочастотный емкостной разряд. М.Наука, 1995
4. В.Экштайн. Компьютерное моделирование взаимодействия частиц с поверхностью твердого тела. М.Мир, 1995

Учебную программу составил

Профессор кафедры “Физика конденсированного состояния”

Д.ф.-м.н.

Лукичев В.Ф.