

Министерство образования Республики Беларусь  
Учебно-методическое объединение вузов Республики Беларусь  
по естественнонаучному образованию

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра образования  
Республики Беларусь

 А.И. Жук

Регистрационный № ТД- б. 180 /тип.

ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Типовая учебная программа  
для высших учебных заведений по специальности  
1-31 04 01 Физика (по направлениям)  
(1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность))

СОГЛАСОВАНО

Председатель Учебно-методического  
объединения вузов Республики  
Беларусь по естественнонаучному  
образованию

 В.В. Самохвал

  
24.10.2008

СОГЛАСОВАНО

Начальник управления высшего и  
среднего специального образования  
Министерства образования  
Республики Беларусь

 Ю.И. Миксюк

14.04.2009

Первый проректор Государственного  
учреждения образования «Республи-  
канский институт высшей школы»

 И.В. Казакова

02.04.2009

Эксперт-нормоконтролер

 С.М. Артемьева

02.04.2009

 А.Ф. Сидорова

Минск 2008

**СОСТАВИТЕЛЬ :**

**В.С. Просолович**— доцент кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**Кафедра** экспериментальной и теоретической физики Учреждения образования «Белорусский национальный технический университет»;

**Ф.П. Коршунов** - заведующий лабораторией радиационных воздействий Государственного научного учреждения «Объединенный институт физики твердого тела и полупроводников» Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:**

Кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники физического факультета Белорусского государственного университета

(протокол № 2 от 20 февраля 2008 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 3 от 27 марта 2008 г.);

Научно-методическим советом по физике учебно-методического объединения высших учебных заведений Республики Беларусь по естественнонаучному образованию

(протокол № 3 от 28 марта 2008 г.).

Ответственный за выпуск: В.С. Просолович

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Центральное место в проблеме производства и качества продукции занимают технологические процессы, которые в настоящее время определяют развитие любой отрасли промышленности и страны в целом. Для Республики Беларусь, у которой отсутствует возможность экономического роста за счет использования природных ресурсов, одним из перспективных способов повышения национального валового продукта является разработка и совершенствование технологических процессов и внедрение их в производство.

В данной дисциплине рассмотрены физические принципы и явления, лежащие в основе современных технологий, применяемых в микроэлектронике, как наиболее наукоемкой отрасли производства. Рассматриваются основные технологии изготовления дискретных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Анализируются основные закономерности зависимости эксплуатационных параметров приборов от свойств используемых материалов и технологии изготовления. В результате изучения дисциплины студент должен знать принципы эпитаксии, имплантации, литографии микросхем, методы и средства контроля параметров тонких пленок, уметь анализировать достоинства и недостатки основных современных технологий микроэлектроники.

Общее количество часов - 42; аудиторное количество часов - 30, из них: лекции - 26, семинары - 4.

### ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Название темы	Лекции	Семинары	Всего
1.	Современные технологии в микроэлектронике	2		2
2.	Ионно-лучевая технология твердых тел	6	2	8
3.	Получение структур методом диффузии	4		4
4.	Физические основы катодного распыления	2		2
5.	Нанесение диэлектрических и проводящих пленок	4		4
6.	Физические основы эпитаксии	4	2	6
7.	Литография	4		4
	Итого	26	4	30

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

**1. Современные технологии в микроэлектронике.** Технология микроэлектроники, как область науки и техники. Развитие технологии производства изделий электронной техники в историческом аспекте.

**2. Ионно-лучевая технология твердых тел.** Понятие ионной имплантации и ее основные параметры. Упругие взаимодействия ионов с твердым телом. Функция экранирования. Дифференциальное сечение упругого рассеяния. График зависимости ядерной тормозной способности от энергии ионов. Неупругое рассеивание ионов. Соотношение потерь энергии ионов при упругом и неупругом рассеивании. Пробеги ионов в твердом теле. Функция вероятности распределения ионов по глубине. Влияние условий имплантации (дозы, энергии, температуры, плотности ионного тока) на образование радиационных дефектов. Электрическая активация имплантированных ионов при отжиге. Технологические особенности процессов ионной имплантации. Принцип действия и конструкция ионно-лучевого ускорителя. Вещества - источники ионов. Режимы ионной имплантации.

**3. Получение структур методом диффузии.** Теория диффузии. Диффузия внутрь с поверхности постоянной концентрации, диффузия из ограниченного источника. Распределение примесей при диффузии. Технологические приемы получения диффузионных структур. Методы расчета диффузионных структур. Определение режимов диффузии.

**4. Физические основы катодного распыления.** Параметры распыления. Методы ионного распыления. Технологические особенности ионно-плазменного распыления. Плазмохимическое распыление. ВЧ- распыление. Магнетронное распыление.

**5. Нанесение диэлектрических и проводящих пленок.** Требования, предъявляемые к защитным диэлектрическим пленкам. Кинетика термического окисления кремния. Термическое окисление кремния в парах воды. Термическое окисление кремния в сухом кислороде. Термическое окисление кремния в сухом кислороде. Термическое окисление кремния во влажном кислороде. Анодное окисление. Свойства окисных пленок. Структурные дефекты, пористость, скорость травления. Процессы осаждения пленок. Методы осаждения пленок. Термическое испарение в вакууме. Электронно-лучевое напыление. Плазмохимическое осаждение окисленных пленок. Нанесение металлических пленок. Методы и средства контроля параметров пленок.

**6. Физические основы эпитаксии.** Общие сведения об эпитаксии. Прямые процессы. Непрямые процессы. Основные методы эпитаксиального наращивания. Химическое осаждение из паровой фазы. Испарение в вакууме. Жидкофазная эпитаксия. Модель эпитаксиального роста пленок. Влияние параметров процесса эпитаксии на скорость роста пленок. Автолегирование. Влияние диффузионных процессов на распределение примеси в

пленке. Использование эпитаксии при изготовлении приборных структур, структуры активных приборов. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Гетероэпитаксия. Дефекты в эпитаксиальных слоях. Определение параметров эпитаксиальных слоев.

**7. Литография.** Основные процессы фотолитографии. Фоторезисты. Фотохимические процессы, происходящие в фоторезистах под действием света. Параметры фоторезистов. Фотошаблоны и их свойства. Проекционная фотолитография. Электронно-лучевая литография. Резисты в электронно-лучевой литографии. Экспонирование в электронно-лучевой литографии. Особенности и свойства рентгенолитографии и ионнографии.

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Рекомендуемые формы контроля знаний**

#### Контрольная работа:

1. Основные факторы, действующие на имплантированные слои при лазерном отжиге.

#### Коллоквиумы:

1. Синтез соединений с помощью ионного внедрения.
2. Использование окислов в кремниевых интегральных схемах.

#### Рефераты

1. Технологический маршрут и основные операции изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.
2. Требования, предъявляемые к материалам полупроводниковой электроники, их классификация.
3. Резка полупроводниковых материалов на пластины, обработка пластин.
4. Контроль качества механической обработки пластин.
5. Виды загрязнений полупроводниковых подложек и их отмывка.
6. Получение полупроводниковых структур методом сплавления.
7. Технологические особенности эпитаксии кремния и германия.
8. Основные методы легирования эпитаксиальных структур.
9. Методы осаждения пленок нитрида кремния.
10. Промышленное изготовление фотошаблонов.
11. Технологические приемы получения диффузионных структур.
12. Диффузионные процессы при изготовлении интегральных микросхем.
13. Методы расчета ионно-имплантированных структур.
14. Использование процессов ионной имплантации в полупроводниковой технологии.
15. Изготовление межэлементных соединений и контактов.
16. Пассивные элементы интегральных микросхем.
17. Лазерная технология в полупроводниковой электронике.
18. Методы контроля радиационных нарушений в материалах электронной техники.

19. Методы защиты поверхности р-п-переходов.
20. Особенности процессов сборки полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.
21. Конструкция корпусов полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.
22. Особенности технологии изготовления интегральных микросхем.

### **Рекомендуемая литература**

#### **Основная**

1. Чистяков, Ю.Д. Физико-химические основы технологии в микроэлектронике / Ю.Д. Чистяков, Ю.П. Райнова - М.: Металлургия, 1979 - 526 с.
2. Броудай, И. Физические основы микроэлектроники / И. Броудай, Дж. Мерей. - М.: Мир, 1986. - 494 с.
3. Аброян, И.А. Физические основы электронной и ионной технологии / И.А. Аброян, А.Н. Андронов, А.И. Титов. - М.: Высшая школа, 1984. - 320 с.
4. Курносков, А.И. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем / А.И. Курносков, В.В. Юдин. - М.: Высшая школа, 1986. - 368 с.
5. Оджаев, В.Б. Современные методы исследования конденсированных состояний / В.Б. Оджаев, И.А. Карпович, Д.В. Свиридов, В.В. Понарядов. - Минск : БГУ, 2003. - 84 с.
6. Технология СБИС: в 2 т./ под ред. С. Зи. - М.: Мир, 1986. - Т.1. - 404 с; Т.2. - 454 с.

#### **Дополнительная**

1. Черняев, В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров / В.Н. Черняев. - М.: Радио, 1987. - 464 с.
2. Парфенов, О.Д. Технология микросхем / О.Д. Парфенов. - М.: Высшая школа, 1986. - 318 с.
3. Пичугин, И.Г. Технология полупроводниковых приборов / И.Г. Пичугин, Ю.М. Таиров. - М.: Высшая школа, 1984. - 288 с.
4. Тилл, У. Интегральные схемы: Материалы, приборы, изготовление / У. Тилл, Дж. Лаксон. - М.: Мир, 1985. - 504 с.
5. Тарауи, Я. Основы технологии СБИС. / Я. Тарауи. - М.: Радио и связь, 1985. - 294 с.
6. Комаров, Ф.Ф. Дефекты структуры в ионно-имплантированном кремнии / Ф.Ф. Комаров, А.П. Новиков, В.С. Соловьев, С.Ю. Ширяев. - Минск: Университетское, 1990. - 318 с.
7. Бринкевич, Д.И. Редкоземельные элементы в монокристаллическом кремнии / Д.И. Бринкевич, С.А. Вабищевич, В.С. Просолович, Ю.Н. Ян-

- ковский. - Новополюцк: ПГУ, 2003. - 204 с.
8. Малышева, И,А. Технология производства интегральных микросхем / И.А. Малышева. - М.: Радио и связь, 1991. - 344 с.
  9. Пасынков, В.В. Материалы электронной техники / В.В. Пасынков, В.С. Сорокин. - СПб.: Лань, 2003. - 368 с.