

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  Небольсин В.А.  
«30» августа 2017 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины**

**«Физические основы микроэлектронных приборов  
и интегральных схем»**

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы



/ Т.В. Свистова /

Заведующий кафедрой  
Полупроводниковой элек-  
троники и нанoeлектроники



/ С. И Рембеза /

Руководитель ОПОП



/ С.И Рембеза /

Воронеж 2017

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины:** формирование знаний по особенностям разработки, теоретическим и практическим вопросам расчета и проектирования интегральных микросхем, схемотехнике различных видов микросхем, важнейшим аспектам разработки и автоматизации проектирования БИС, а также новым наиболее перспективным направлениям развития микроэлектроники.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины:**

- ознакомление с историей, достижениями и тенденциями развития микроэлектроники, многообразием различных классов интегральных микросхем (ИМС);
- изучение физических принципов работы, характеристик и параметров ИМС, моделей процессов и явлений, лежащих в основе работы ИМС;
- практическое освоение студентами задач моделирования и синтеза процессов, лежащих в основе работы ИМС;
- приобретение навыков расчета основных параметров и характеристик ИМС.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физические основы микроэлектронных приборов и интегральных схем» относится к вариативной части блока Б1 учебного плана. Индекс дисциплины Б1.В.ДВ.4.1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физические основы микроэлектронных приборов и интегральных схем» направлен на формирование следующих компетенций:

**ОПК-1:** способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;

**ОПК-2:** способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

**ОПК-5:** способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных;

**ПК-2:** способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и микроэлектроники различного функционального назначения.

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>
ОПК-1	<b>знать</b> достижения и тенденции развития микроэлектроники, многообразие различных классов интегральных микросхем
	<b>уметь</b> самостоятельно решать задачи моделирования, анализа и синтеза процессов и явлений, лежащих в основе работы ИМС;
	<b>владеть</b> навыками использования стандартной терминологии, определений, обозначений и единиц физических величин в микроэлектронике;
ОПК-2	<b>знать</b> физические и математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия микроэлектронных устройств;
	<b>уметь</b> применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы микроэлектронных устройств;
	<b>владеть</b> навыками выбора интегральных микросхем для применения в электронной аппаратуре
ОПК-5	<b>знать</b> физические принципы работы, характеристики и параметры основных типов интегральных микросхем;
	<b>уметь</b> проводить оценочные расчеты основных параметров и характеристик ИМС;
	<b>владеть</b> навыками организации и проведения измерения электрических параметров и характеристик микросхем;
ПК-2	<b>знать</b> конструкции, параметры, основные эксплуатационные характеристики и области применения микроэлектронных устройств;
	<b>уметь</b> применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования устройств микроэлектроники;
	<b>владеть</b> навыками расчета и проектирования основных классов приборов;

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Физические основы микроэлектронных приборов и интегральных схем» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	72	72
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3
		108
		3

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Основные принципы и понятия микроэлектроники.	Классификация микросхем по функциональным и конструкторско-технологическим признакам. Элементы и компоненты микросхем.	2	2	8	12
2	Активные элементы интегральных микросхем.	Структуры биполярных транзисторов полупроводниковых микросхем. Диодные структуры в микроэлектронике. Транзисторные структуры специального назначения: многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы, транзисторы с диодом Шоттки. Конструктивные особенности МДП транзисторов интегральных микросхем. Структура и принцип действия транзисторных элементов памяти постоянных запоминающих устройств. Приборы с зарядовой связью.	4	8	16	28
3	Пассивные элементы интегральных микросхем.	Полупроводниковые и пленочные резисторы. Конденсаторы и индуктивные элементы. Микрополосковые линии и элементы на их основе.	2	4	8	14
4	Современные тенденции в развитии микроэлектроники.	Закон Мура. Понятие и законы масштабирования элементов микросхем. Физические ограничения в микроэлектронике. Перспективы дальнейшего уменьшения размеров элементов интегральных микросхем. Основные проблемы миниатюризации и особенности структуры современных субмикронных МДП транзисторов. Влияние межэлементных соединений на работу микросхем. Понятие задержки импульса.	4	-	16	20
5	Конструктивно-технологические особенности элементной базы для ИМС диапазона СВЧ.	Конструктивно-технологические особенности элементной базы для ИМС диапазона СВЧ. Транзисторы с управляющим переходом металл-полупроводник. Функциональные возможности МДП и МЕР транзисторов в интегральных микросхемах.	2	-	8	10
6	Гетероструктуры в современной микроэлектронике.	Основные параметры и отличительные особенности гетеропереходов. Явления сверхинжекции и образования двумерного электронного газа в гетеропереходе. Гетеропереходные биполярные транзисторы и транзисторы с высокой подвижностью электронов: физические принципы работы и варианты конструкции. НЕМТ-структуры.	4	4	16	24
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>72</b>	<b>108</b>

### 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом.

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Физические основы микроэлектронных приборов и интегральных схем» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) и контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПКВ-1	<b>знать</b> достижения и тенденции развития микроэлектроники, многообразие различных классов интегральных микросхем	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов
	<b>уметь</b> самостоятельно решать задачи моделирования, анализа и синтеза процессов и явлений, лежащих в основе работы ИМС;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> навыками использования стандартной терминологии, определений, обозначений и единиц физических величин в микроэлектронике;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПКВ-1	<b>знать</b> физические и математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия микроэлектронных устройств;	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов
	<b>уметь</b> применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы микроэлектронных устройств;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> навыками выбора интегральных микросхем для применения в электронной аппаратуре	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПКВ-1	<b>Знать</b> физические принципы работы, характеристики и параметры основных типов интегральных микросхем;	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов
	<b>уметь</b> проводить оценочные расчеты основных параметров и характеристик ИМС;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> навыками организации и проведения измерения электрических параметров и характеристик микросхем;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПКВ-2	<b>знать</b> конструкции, параметры, основные эксплуатационные характеристики и области применения микроэлектронных устройств;	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов
	<b>уметь</b> применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и про-	Решение стандартных практических	Продемонстрирован верный ход	Задачи не решены

	ектирования устройств микроэлектроники;	задач	решения в большинстве задач	
	<b>владеть</b> навыками расчета и проектирования основных классов приборов;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПКВ-1	<b>знать</b> достижения и тенденции развития микроэлектроники, многообразие различных классов интегральных микросхем	Тест	Выполнение теста на 70 - 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>уметь</b> самостоятельно решать задачи моделирования, анализа и синтеза процессов и явлений, лежащих в основе работы ИМС;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> навыками использования стандартной терминологии, определений, обозначений и единиц физических величин в микроэлектронике;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПКВ-1	<b>знать</b> физические и математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия микроэлектронных устройств;	Тест	Выполнение теста на 70 - 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>уметь</b> применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы микроэлектронных устройств;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> навыками выбора интегральных микросхем для применения в электронной аппаратуре	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПКВ-1	<b>знать</b> физические принципы работы, характеристики и параметры основных типов интегральных микросхем;	Тест	Выполнение теста на 70 - 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>уметь</b> проводить оценочные расчеты основных параметров и характеристик ИМС;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> навыками организации и проведения измерения электрических параметров и характеристик микросхем;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПКВ-2	<b>знать</b> конструкции, параметры, основные эксплуатационные характеристики и области применения микроэлектронных устройств;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>уметь</b> применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования устройств микроэлектроники;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> навыками расчета и проектирования основных классов приборов;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## **7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

### **7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию**

1. Плотность упаковки ИМС это –

- 1) отношение числа элементов к объему микросхемы без учета выводов;
- 2) число элементов или простых компонентов на кристалле микросхемы;
- 3) число функциональных ячеек в кристалле;
- 4) отношение числа элементов к числу функциональных ячеек в кристалле.

Ответ: 2

2. Средняя интегральная микросхема (СИС)- это ИС, содержащая

1. свыше 100 до 1000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС и свыше 100 до 500 – для аналоговых (2..3 степень).
2. до 100 элементов и (или) компонентов включительно (1..2 степень).
3. свыше 1000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС и свыше 500 – для аналоговых ИС (3..4 степень).

Ответ: 1

3. В какой из перечисленных микросхем все элементы выполнены в объеме кристалла полупроводника

- 1) тонкопленочной;
- 2) гибридной;
- 3) полупроводниковой.

Ответ: 3

4. Большая интегральная микросхема (БИС) – это ИС, содержащая

- 1) свыше 100 до 1000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС и свыше 100 до 500 – для аналоговых (2..3 степень).
- 2) до 100 элементов и (или) компонентов включительно (1..2 степень).
- 3) свыше 1000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС и свыше 500 – для аналоговых ИС (3..4 степень).

Ответ: 3

5. В какой из перечисленных микросхем все элементы представляют собой пленки, нанесенные на диэлектрическое основание

- 1) тонкопленочной;
- 2) гибридной;
- 3) полупроводниковой.

Ответ: 1

6. Сверхбольшая интегральная микросхема (СБИС)- ИС, содержащая

- 1) свыше 1000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС и свыше 500 – для аналоговых ИС (3..4 степень).
- 2) свыше 100000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС с регулярной структурой построения, свыше 50000 – для цифровых ИС с нерегулярной структурой построения, и свыше 10000 – для аналоговых ИС (5..7 степень).
- 3) свыше 100 до 1000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС и свыше 100 до 500 – для аналоговых (2..3 степень).

Ответ: 2

7. В какой из перечисленных микросхем на диэлектрической подложке изготавливаются пленочные пассивные элементы и на поверхности устанавливаются навесные активные и пассивные компоненты

- 1) тонкопленочной;
- 2) гибридной;
- 3) полупроводниковой.

Ответ: 2

8. Степень интеграции определяется по формуле:

- 1)  $k = \exp N$ , где  $k$  – коэффициент, определяющий степень интеграции, округляемый до ближайшего большего целого числа,  $N$  – число элементов и компонентов, входящих в интегральную микросхему.
- 2)  $k = \lg N$ , где  $k$  – коэффициент, определяющий степень интеграции, округляемый до ближайшего большего целого числа,  $N$  – число элементов и компонентов, входящих в интегральную микросхему.
- 3)  $k = \ln N$ , где  $k$  – коэффициент, определяющий степень интеграции, округляемый до ближайшего большего целого числа,  $N$  – число элементов и компонентов, входящих в интегральную микросхему.

Ответ: 2

9. В отличие от аналоговых, цифровые ИМС

- 1) обрабатывают сигналы, описываемые непрерывными функциями;
- 2) предназначены для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции;
- 3) выполнены по тонкопленочной технологии.

Ответ: 2

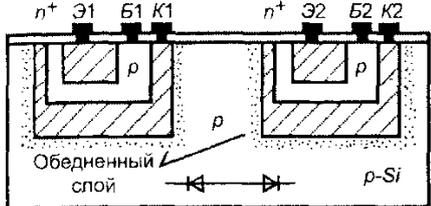
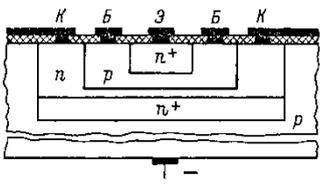
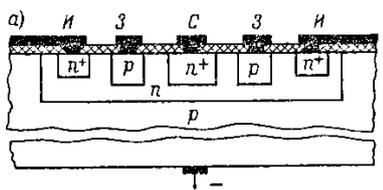
10. Малая интегральная микросхема (МИС) – это ИС, содержащая

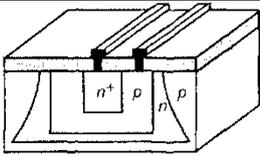
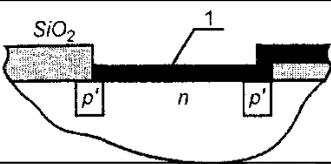
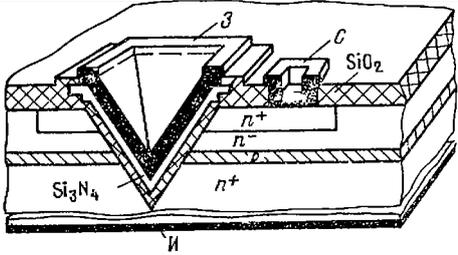
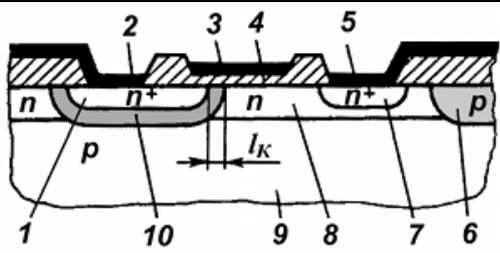
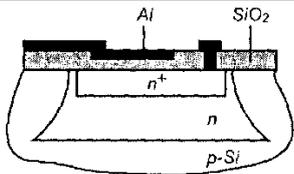
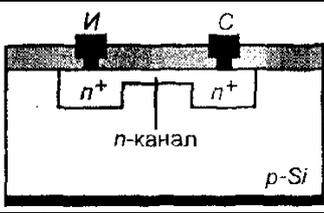
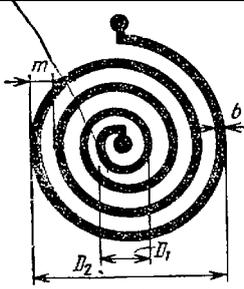
- 1) свыше 100 до 1000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС и свыше 100 до 500 – для аналоговых (2..3 степень).
- 2) до 100 элементов и (или) компонентов включительно (1...2 степень).
- 3) свыше 1000 элементов и (или) компонентов для цифровых ИС и свыше 500 – для аналоговых ИС (3...4 степень).

Ответ: 2

## 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

Определить активные и пассивные элементы интегральных микросхем

	Задание	Ответ
1		Способ изоляции транзисторных биполярных структур – изоляция $p$ - $n$ -переходом
2		Биполярный транзистор типа $n$ - $p$ - $n$
3		Полевой транзистор полупроводниковой ИС с каналом $n$ -типа

4		Конструкция интегрального биполярного диода типа: база - эмиттер (Б - Э);
5		Планарный диод Шоттки с охранном кольцом из $p^+$ -области кремния
6		V-МДП-транзистор
7		Структура эпитаксиально-планарного D-МДП-транзистора
8		Структура интегрального МОП-конденсатора
9		Структура интегрального МДП-резистора на основе исток - канал - сток
10		Структура индуктивных элементов ИМС

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Дать расшифровку маркировки интегральной микросхемы КМ 155ЛАЗ

Ответ: К - ИМС широкого применения;

М - ИМС в металлокерамическом корпусе;

1 - полупроводниковая ИМС;

55 - порядковый номер разработки данной ИМС;

- 155 - серия;
- ЛА - логический элемент И-НЕ;
- 3 - порядковый номер разработки ИМС в данной серии.

2. Дать расшифровку маркировки интегральной микросхемы 1533ИД2

- Ответ:* 1 - полупроводниковая ИМС военного назначения;  
533 - порядковый номер разработки данной ИМС;  
1533 – серия;  
ИД – дешифратор;  
2 - порядковый номер разработки ИМС в данной серии.

3. Дать расшифровку маркировки интегральной микросхемы КР228УВ1

- Ответ:* 2- гибридная ИМС  
КР - широкого применения в пластмассовом корпусе,  
28 - порядковый номер разработки данной ИМС;  
228 - серия;  
УВ - усилитель высокой частоты,  
1 - порядковый номер разработки ИМС в данной серии.

4. Для изготовления кремниевого транзистора типа *n-p-n*- используется планарно-диффузионная технология без скрытого слоя. Какие операции необходимо выполнить в рамках данного технологического цикла? Перечислите по крайней мере пять последовательных этапов. Кремниевая пластина *p*-типа имеет толщину 0,127 – 0,152 мм и удельное сопротивление 10 Ом·м. Толщина эпитаксиального слоя 0,025 мм, толщина оксидного слоя 50 нм.

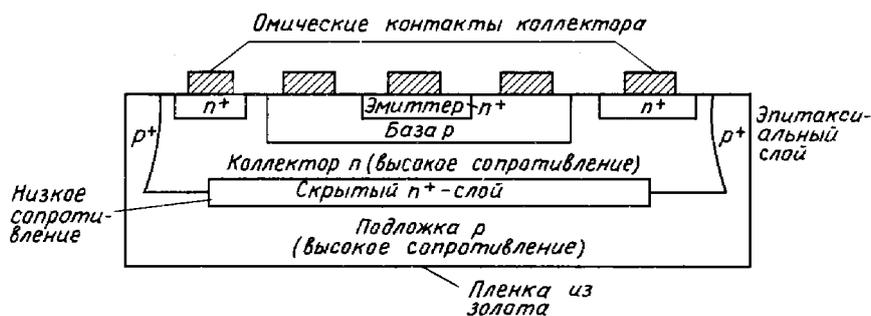
*Ответ:*

1. Исходное состояние.
2. Эпитаксиальное наращивание слоя *n*-типа с удельным сопротивлением 5 Ом·см толщиной 0,254 мм.
3. Наращивание слоя SiO<sub>2</sub> толщиной 500 нм на эпитаксиальный слой.
4. Наложение фоторезиста, маскирование и вытравливание окон в слое.
5. Легирование акцепторной примесью путем диффузии атомов бора.
6. Наращивание слоя SiO<sub>2</sub>.
7. Повторение операции 4 для подготовки базовой области.
8. Диффузия бора в базовую область.
9. Наращивание слоя.
10. Повторение операции 4 для подготовки областей эмиттера и коллектора.
11. Диффузия донорной примеси.
12. Наращивание слоя SiO<sub>2</sub>.
13. Повторение операции 4 для создания окон под контактные площадки.
14. Металлизация всей поверхности путем вакуумного распыления алюминия.
15. Повторение операции 4 для создания межсоединений. Удаление излишков алюминиевого слоя.
16. Контроль функционирования.
17. Помещение в корпус.
18. Выходной контроль.

5. Схематически изобразите конструкции планарных *n-p-n*-транзисторов, изготовленных с помощью интегральной технологии. Обозначьте на рисунках области  $n^+$ , *p* и *n*, а также выводы Э, Б и К.

*Ответ:*

Транзистор типа *n-p-n* со скрытым слоем



6. Для образования  $p$ -области базы  $p$ - $n$ -перехода используется диффузионный метод. Какова характеристика диода? Каким будет диод, если для создания  $p$ - $n$ -перехода эмиттер выполняется диффузионным способом?

*Ответ:* Характеристики таких диодов аналогичны характеристикам коллекторных переходов транзисторов. Диоды, изготовленные путем диффузии эмиттера, имеют низкое напряжение пробоя, подобно переходам база-эмиттер соответствующих транзисторов.

7. Транзистор типа  $n$ - $p$ - $n$ , изолированный оксидом кремния, имеет следующие размеры: площадь базы  $6 \times 4$  мкм, площадь эмиттера  $2 \times 4$  мкм, площадь коллекторного контакта  $2 \times 4$  мкм, глубина перехода эмиттер-база  $0,4$  мкм, глубина перехода коллектор-база  $0,3$  мкм, толщина эпитаксиального  $n$ -слоя  $2$  мкм (с учетом толщины диффузионной области снаружи скрытого слоя).

а) Вычислите концентрацию легирующей примеси в эпитаксиальном  $n$ -слое, которую следует создать, чтобы предотвратить прокол базы, если  $I_K = 2$  мА.

б) Определите, какое паразитное сопротивление вносится в цепь коллектора эпитаксиальным  $n$ -слоем, расположенным на участке до коллекторного контакта. Определите падение напряжения на этом сопротивлении при токе  $I_K = 2$  мА.

*Ответ:* а)  $N_K \geq 1,56 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>; б)  $R_K = 800$  Ом,  $U_K = 1,6$  В

8. Укажите преимущества и ограничения, свойственные МОП-транзисторам интегральных схем.

*Ответ:* Прежде всего следует отметить, что транзистор типа МОП существенно проще биполярного транзистора. Это можно видеть, проведя сопоставление:

Биполярная технология	Технология МОП
Четыре процесса диффузии.	Один процесс диффузии
Необходимо создавать изолированные островки.	Изолированные островки не обязательны
Эпитаксиальный процесс является одной из основных операций.	Эпитаксиальный процесс не обязателен
Используется от 6 до 8 фотошаблонов.	Используется 5 - 6 фотошаблонов
130 технологических операций.	38 технологических операций
10 процессов с температурой около $1000$ °С	2 процесса с температурой около $1000$ °С
Коэффициент передачи транзистора определяется параметрами процесса диффузии.	Коэффициент передачи транзистора не зависит от параметров процесса диффузии.

МОП-прибор имеет ряд отличительных черт. Так, МОП-транзистор имеет малую площадь и, обладая высоким входным сопротивлением, потребляет малую мощность от источника сигнала. Кроме того, здесь не возникает трудностей с размещением, характерных для полевого транзистора с управляющим  $p$ - $n$ -переходом, так как затвор изолирован оксидным слоем.

Преимущества: высокое входное сопротивление, возможность самосовмещения, симметричная структура и др. Недостатки: высокое внутреннее сопротивление, малая крутизна переходной характеристики, более низкая скорость переключения и др.

9. Объясните, какой недостаток присущ прибору типа  $n$ -МОП, толщина оксидного слоя которого слишком мала.

*Ответ:* Если оксидный слой окажется чрезмерно тонким, он может не выдержать достаточно высокого напряжения. Поэтому между отдельными МОП-транзисторами приходится создавать соответствующую изоляцию.

10. Полевой МОП-транзистор с индуцированным  $n$ -каналом, изображенный на рис. 1 изготовлен на подложке с концентрацией примесей  $N_a = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Путем имплантации атомов бора концентрация доводится до  $N_a = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ; на границе канала в результате диффузии устанавливается концентрация акцепторной примеси  $N_a \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Толщина слоя подзатворного диэлектрика 0,1 мкм. Вычислите пороговое напряжение и обсудите полученный результат.

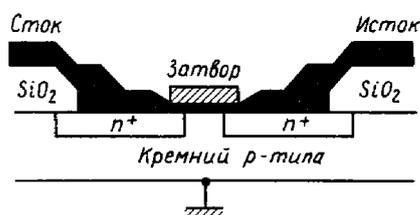


Рис. 1. Полевой МОП-транзистор с индуцированным  $n$ -каналом

*Ответ:* 1,35 В

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Микроэлектроника. Интегральная технология. Групповые методы технологии. Интегральная электроника. Функциональная электроника.
2. Приёмы интеграции при сборке изделий электронной техники.
3. Развитие электроники и микроэлектроники. Закон Мура.
4. Основные понятия микроэлектроники (интегральная схема (ИС), элемент, компонент, корпус, подложка, плата, полупроводниковая пластина, кристалл, контактная площадка, бескорпусная микросхема).
5. Степень интеграции, плотность упаковки элементов на кристалле, технологический размер.
6. Классификация ИС (по функциональному назначению, по конструктивно-технологическому исполнению; по степени интеграции)
7. Особенности полупроводниковых ИС
8. Особенности пленочных ИС
9. Особенности гибридных ИС
10. Особенности совмещенных ИС
11. Тенденции и направления развития электроники
12. Маркировка интегральных микросхем.
13. Методы изоляции элементов интегральных микросхем (изоляция обратнорасположенным  $p$ - $n$ -переходом, изоляция коллекторной диффузией; изоляции диэлектриком: КВД, КНД, КНС; комбинированный метод: метод боковой диэлектрической изоляции V-канавками).
14. Интегральные биполярные транзисторы типа  $n$ - $p$ - $n$ .

15. Интегральные биполярные транзисторы типа *p-n-p*.
16. Интегральные полевые транзисторы с управляющим *p-n*-переходом.
17. Интегральные МДП-транзисторы.
18. Комплементарные (КМОП) транзисторы.
19. Интегральные V-МДП-транзисторы.
20. Интегральные диоды на основе биполярных транзисторов.
21. Интегральные диоды на основе МДП-транзисторов.
22. Диод Шоттки. Интегральный стабилитрон.
23. Многоэмиттерные транзисторы.
24. Многоколлекторные транзисторы
25. Интегральные транзисторы с барьером Шоттки.
26. Интегральные D-МДП-транзисторы.
27. Интегральные полевые транзисторы с управляющим переходом металл-полупроводник (МЭП, ПТШ).
28. МНОП-транзистор.
29. МДП-транзистор с плавающим затвором.
30. Двухзатворный МДП-транзистор.
31. Резисторы интегральных схем (диффузионные резисторы, пинч-резисторы, ионно-легированные резисторы, МДП-резисторы, пленочные резисторы).
32. Конденсаторы (диффузионные конденсаторы, МОП-конденсаторы, пленочные конденсаторы, СВЧ-конденсаторы) и индуктивности интегральных схем.
33. Межэлементные соединения (многослойная металлизация, прокладка шин металлизации над каналами резисторов, диффузионные перемычки).
34. Электромиграция, явление «электронного ветра».
35. Конструктивно-технологические особенности элементной базы для ИМС диапазона СВЧ.
36. Основные параметры и отличительные особенности гетеропереходов.
37. Явления сверхинжекции и образования двумерного электронного газа в гетеропереходе.
38. Гетеропереходные биполярные транзисторы и транзисторы с высокой подвижностью электронов
39. НЕМТ-структуры.

### **7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену**

Не предусмотрено учебным планом.

### **7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 20 баллов.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Основные принципы и понятия микроэлектроники.	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-2	Тест, зачет, устный опрос
2	Активные элементы интегральных микросхем.	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-2	Тест, зачет, устный опрос
3	Пассивные элементы интегральных микросхем.	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-2	Тест, зачет, устный опрос
4	Современные тенденции в развитии микроэлектроники.	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-2	Тест, зачет, устный опрос
5	Конструктивно-технологические особенности элементной базы для ИМС диапазона СВЧ.	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-2	Тест, зачет, устный опрос
6	Гетероструктуры в современной микроэлектронике.	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-2	Тест, зачет, устный опрос

### 7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## 8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
<b>Основная литература</b>				
1	Смирнов, Ю.А. Соколов С.В., Титов Е.В.	Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2013. — 496 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=12948">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=12948</a>	2013. Электрон. ресурс	1,0
2	Свистова, Т.В.	Микроэлектроника : Учеб. пособие - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2011. - 129 с.	2011, печат.	0,61
3	Ефимов И.Е., Козырь И.Я.	Основы микроэлектроники: [Электронный ресурс]: учебник. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2008. — 384 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=709">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=709</a>	2014. Электрон. ресурс	1,0
4	Коледов Л.А.	Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок [Электронный ресурс] : учебное пособие. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2009. — 400 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=192">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=192</a>	2014. Электрон. ресурс	1,0
5	Свистова Т.В.	Основы микроэлектроники: учеб. Пособие [Электронный ресурс]. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017.	2017. Электрон. ресурс	1,0
<b>Дополнительная литература</b>				
1	Щука А.А.	Электроника: учеб. пособие / под ред. проф. А.С. Сигова. - СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.	2005. Печат	0,28
2	Коваленко, А.А. Петропавловский	Основы микроэлектроники : учеб. пособие. - М. : Академия, 2006. - 240 с. -	2006, печат.	0,57
3	Прянишников В.А.	Электроника : Полный курс лекций - СПб. : Корона-Принт, 2004. - 416с.	2004, печат.	0,31
4	Степаненко И.П.	Основы микроэлектроники : учеб. пособие для вузов - М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001. - 488с.	2001, печат.	0,09

## **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

Методические указания к выполнению лабораторных работ представлены на сайте: <http://cchgeu.ru/>

Системные программные средства: Microsoft Windows, Microsoft Vista

Прикладные программные средства: Microsoft Office 2010 Pro, Fire-Fox, LabVIEW, Elektronik Workbench.

Интернет-ресурсы

Электронная версия «Журнал Технической Физики» [www.ioffe.ru/jtf](http://www.ioffe.ru/jtf).

Электронная версия «Успехи физических наук» [www.ufn.ru](http://www.ufn.ru).

Научная электронная библиотека [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru).

Электронная версия «Journal Nuclear of Science and Technology» [www.aesj.or.jp](http://www.aesj.or.jp).

Электронная версия «Indian Journal of Science and Technology» [www.indjst.org](http://www.indjst.org).

Cornell University Library <http://xxx.lanl.gov>.

Journal of International Scientific Publications [www.science-journals.eu](http://www.science-journals.eu).

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой

2. Оборудование: стенды ЛЭСО-3, компьютеры.

## **10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Физические основы микроэлектронных приборов и интегральных схем» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета параметров технологических процессов лучевых и плазменных технологий. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1		31.08.2018	
2		31.08.2019	
3		31.08.2020	