

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

физики полупроводников и микроэлектроники

(Е.Н.Бормонтов)

31.08.2022

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.02 Основы технологии электронной компонентной базы

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

**2. Профиль подготовки/специализация:** Интегральная электроника и наноэлектроника

**3. Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** физики полупроводников и микроэлектроники

**6. Составители программы:** Машкина Екатерина Сергеевна, кандидат физико-математических наук, доцент

**7. Рекомендована:** НМС физического факультета от 14.06.2022 , протокол № 6

---

**8. Учебный год:** 2024-2025

**Семестр(ы):** 6, 7

## **9. Цели и задачи учебной дисциплины:**

*Целями освоения учебной дисциплины являются:* сформировать у обучающихся комплекс знаний в области физико-химических основ технологии электронной компонентной базы в микро- и наноэлектронике, являющихся основой для создания электронных устройств с высокой, сверхвысокой и ультравысокой степенью интеграции.

*Задачи учебной дисциплины:*

- познакомить обучающихся с основными этапами развития технологии электронной компонентной базы, особенностями современного этапа развития технологии в области твердотельной электроники;
- формирование у обучающихся комплексного подхода к проблемам размерного формирования твердотельных структур на базе используемых и перспективных материалов;
- познакомить обучающихся с основными методами экспериментальных исследований параметров и характеристик материалов, приборов и устройств электроники и наноэлектроники;
- познакомить с основными принципами технологии производства ИМС, широко используемыми технологическими операциями и методами пооперационного изготовления изделий микроэлектроники и твердотельной электроники;
- изучить методы контроля параметров технологических операций, виды причин брака и пути их устранения;
- знакомство обучающихся с современными программными средствами подготовки конструкторско-технологической документации, новыми технологиями, обеспечивающими эффективность проектов, технологических процессов;
- развитие у обучающихся навыков работы с информационными базами данных об отечественных и зарубежных электронных компонентах.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к обязательным курсам части, формируемой участниками образовательных отношений, блока Б1 «Дисциплины (модули)» и предусматривает владение методами математической физики, численными методами, знаниями по физике полупроводников и полупроводниковой технологии, программными средствами и компьютерными технологиями; дисциплина формирует знания, умения и компетенции для выполнения выпускных квалификационных работ.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки общепрофессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций А/01.5 Составление операционного маршрута изготовления изделий микроэлектроники и А/05.5 Контроль соблюдения параметров и режимов технологических операций процессов производства изделий микроэлектроники профессионального стандарта 40.058 «Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники».

Данная дисциплина является предшествующей для таких блока Б1 как «Системы автоматизированного проектирования ИС», «Основы проектирования ПЛИС». Знания, полученные при освоении дисциплины «Приборно-технологическое проектирование элементов интегральных схем», необходимы при выполнении бакалаврской выпускной квалификационной работы в области микро- и наноэлектроники.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Компетенции		Индикаторы		Планируемые результаты обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	
ПК-3	Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	ПК-3.1	Выбирает конструкционные материалы и определяет типоразмеры заготовок для изделий микроэлектроники	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- базовые технологические процессы производства изделий микроэлектроники;</li> <li>- основное технологическое оборудование и принципы его работы</li> </ul> <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работать с технологической документацией на изготовление изделий микроэлектроники</li> </ul>
		ПК-3.2	Определяет состав средств технологического оснащения для разрабатываемых процессов производства изделий микроэлектроники	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные технологические операции изготовления приборов и устройств микро- и наноэлектроники низкой и средней сложности</li> </ul> <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- составлять технологические маршруты изготовления приборов и устройств микро- и наноэлектроники низкой и средней сложности</li> </ul>
ПК-4	Готов организовать метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники	ПК-4.3	Готовит предложения по повышению точности технологических операций, предупреждению и устранению брака при изготовлении изделий микроэлектроники	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные параметры технологических процессов</li> </ul> <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- измерять, рассчитывать, контролировать основные параметры технологических операций</li> </ul>
ПК-7	Способен проводить технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники	ПК-7.1	Выбирает необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- параметры технологических процессов изготовления изделий микро- и наноэлектроники;</li> </ul> <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- разрабатывать физические и математические модели технологических процессов производства приборов и устройств микро- и наноэлектроники в соответствии с технологической документацией;</li> <li>- выбирать необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники;</li> </ul> <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами расчета режимов и</li> </ul>

				параметров технологических процессов изготовления элементов микроэлектроники в соответствии с технологической документацией
		ПК-7.2	Осуществляет эксплуатацию технологического оборудования и технологической оснастки на производстве изделий микроэлектроники	<p><i>знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные параметры технологических процессов;</li> <li>- основное технологическое оборудование производства изделий микроэлектроники и принципы его работы;</li> <li>- правила эксплуатации технологического оборудования.</li> </ul> <p><i>уметь:</i></p> <p>измерять, рассчитывать, контролировать основные параметры технологических операций</p> <p><i>владеть:</i></p> <p>методами расчета технологических и электрических параметров компонентов и устройств электроники и нанoeлектроники</p>
		ПК7-3.3	Решает технологические проблемы, возникающие в процессе производства изделий микроэлектроники	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- процесс производства изделий микроэлектроники;</li> </ul> <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- решать технологические проблемы, возникающие в процессе производства изделий микроэлектроники</li> </ul> <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами расчетов режимов и параметров технологических процессов производства микроэлектроники;</li> <li>- методами математического моделирования технологических процессов с целью оптимизации параметров изделий микроэлектроники низкой и средней сложности</li> </ul>

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 8 / 288.**

**Форма промежуточной аттестации:** зачет (6 семестр), зачет с оценкой (7 семестр)

### 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			6 семестр	7 семестр
Аудиторные занятия		116	68	48
в том числе:	лекции	46	34	12
	практические	-	-	-

	лабораторные	70	34	36
Самостоятельная работа		100	112	60
Форма промежуточной аттестации			зачет	зачет с оценкой
Итого:		216	180	108

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Общие сведения о планарной технологии производства интегральных микросхем	Общая схема технологического процесса. Групповая обработка. Минимальный топологический размер (МТР) – основной показатель уровня технологии. Степень интеграции микросхем. Динамика МТР и степени интеграции, закон Мура. Перспективы развития планарной технологии.	-
1.2	Изготовление полупроводниковых пластин	Механическая обработка полупроводниковых материалов. Шлифование полупроводниковых материалов. Методы исследования структурных нарушений полупроводниковых материалов при механической обработке. Полирование полупроводниковых материалов. Физико-химические основы процесса травления. Способы травления полупроводников.	-
1.3	Способы получения <i>p-n</i> -переходов	Диффузия. Механизмы диффузии. Элементы математического описания диффузионных процессов. Способы проведения диффузионных процессов. Диффузия из газовой и паровой фазы. Диффузия из поверхностных источников. Ионная имплантация. Физические основы ионной имплантации. Каналирование ионов. Особенности технологии ионной имплантации. Отжиг ионно-легированных слоев.	Способы получения <i>p-n</i> переходов <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-2">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-2</a>  Способы получения <i>p-n</i> переходов. 4.2 Ионная имплантация <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-5">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-5</a>
1.4	Технология получения эпитаксиальных слоев	Методы эпитаксии полупроводников из газовой фазы. Легирование и автолегирование. Газофазная эпитаксия. Принципиальные схемы проведения эпитаксиальных процессов. Жидкостная эпитаксия и области ее применения. Молекулярно-лучевая эпитаксия.	Технология получения эпитаксиальных слоев  <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-5">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-5</a>

			<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-1">ew.php?id=4109#section-1</a>
1.5	Литографические процессы в производстве интегральных микросхем	Фотолитография. Основные этапы фотолитографии. Основные фототехнические характеристики фоторезистов. Способы получения фотошаблонов. Анализ точности литографического процесса. Сопоставительный анализ предельных возможностей процессов литографии, основанных на применении ультрафиолетового, лазерного и рентгеновского излучений, электронных и ионных пучков.	Литографические процессы в производстве интегральных микросхем  <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-4">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-4</a>
1.6	Металлизация в производстве интегральных микросхем	Методы нанесения тонких пленок в вакууме: вакуум-термический, термоионный, электронно-лучевой, ионно-плазменный (с использованием разрядов на постоянном токе, а также ВЧ- и СВЧ-разрядов), с помощью автономных ионных источников. Магнетронные распылительные системы. Алюминиевая и медная металлизация. Технология Damascene.	Металлизация в производстве ИМС <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-6">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-6</a>
1.7	Диэлектрические покрытия на кремнии	Термодинамика процесса окисления кремния. Физическая модель окисления кремния. Кинетика активного и пассивного окисления полупроводников. Формирование диэлектрических пленок методом осаждения. Получение МДП-структур. Материалы затвора в субмикронных транзисторах. High-k – диэлектрики. Технология КНИ.	Диэлектрические пленки с технологии ИС <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-3">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109#section-3</a>
1.8	Сборка и испытание ИМС-структур	Основные требования к технологическим процессам сварки и пайки при сборке и монтаже интегральных микросхем. Сборка на ленточных носителях. Герметизация интегральных микросхем в корпусном и бескорпусном вариантах. Методы испытания ИМС и измерение их параметров.	-
<b>2. Лабораторные работы</b>			
2.1	Общие сведения о планарной технологии производства интегральных микросхем	1. Составление технологического маршрута изготовления прибора	-
2.2	Обработка полупроводниковых пластин	2. Жидкостное травление кремния. 3. Определение глубины нарушенного слоя после механической обработки кремниевых пластин методом косоугольного шлифа. 4. Плазмохимическое травление кремния.	Плазмохимическое травление Si <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4459#section-3">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4459#section-3</a>
2.3	Способы получения $p-n$ -переходов	5. Диффузия примеси $p$ -типа в кремнии. 6. Диффузия примеси $n$ -типа в кремнии.	Получение электронно-дырочного перехода методом диффузии <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4459#section-3">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4459#section-3</a>

			<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4459#section-1">u.ru/course/view.php?id=4459#section-1</a>
2.4	Металлизация в производстве интегральных микросхем	7. Получение пленок In на Si методом вакуумного напыления. 8. Получение пленок Pb на Si методом магнетронного распыления.	Получение тонких металлических пленок методом магнетронного распыления <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4459#section-3">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4459#section-3</a>
2.5	Диэлектрические покрытия на кремнии	9. Термическое окисление кремния.	Окисление Si <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4459#section-1">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4459#section-1</a>
2.6	Сборка и испытание ИМС-структур	10. Категории испытаний изделий электроники и наноэлектроники и расчет критерия годности.	-

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)			Всего
		Лекции	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Общие сведения о планарной технологии производства интегральных микросхем	2	6	8	16
2	Обработка полупроводниковых пластин	6	10	48	64
3	Способы получения р-п переходов	8	14	24	46
4	Технология получения эпитаксиальных слоев	6	-	42	48
5	Литографические процессы в производстве интегральных микросхем	6	-	10	16
6	Металлизация в производстве интегральных микросхем	6	14	14	34
7	Диэлектрические покрытия на кремнии	6	14	14	34
8	Сборка и испытание ИМС-структур	6	12	12	30
	Итого:	46	70	172	288

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изложение материала преподавателем необходимо вести в форме, доступной для понимания. Для улучшения усвоения учебного материала необходимо применять традиционные и современные технические средства обучения. Необходимо привлекать аудиторию к участию в обсуждении вопросов о тенденциях развития технологий твердотельной электроники при создании новых приборов и устройств, а также оценки областей их применения. Для самостоятельного изучения выбираются разделы курса, усвоение которых необходимо для выполнения лабораторных работ.

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса, не стесняться задавать преподавателю вопросы для углубленного понимания конкретных проблем технологии твердотельной электроники. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации и практические занятия. Нельзя оставлять неясные вопросы, следует лучше готовиться к лабораторным занятиям. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо иметь учебники из списка основной или дополнительной литературы.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых и диэлектрических приборов / Ю.М. Таиров, В.Ф. Цветков . - СПб. : Лань, 2002 .— 422 с. Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
2	Степаненко И.П. Основы микроэлектроники / И.П.Степаненко. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 488 с. Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
3	Нанотехнологии в электронике / под ред. Ю.А.Чаплыгина. – М.: Техносфера, 2005. – 448 с. Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
4	Герасименко Н.Н. Кремний - материал нанозлектроники / Н. Герасименко, Ю. Пархоменко . - М. : Техносфера, 2007 . - 351 с. Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Болтакс Б.И. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках / Б.И. Болтакс. – Л. : Наука, 1972. – 384 с.
2	Риссел Х. Ионная имплантация / Х. Риссел, И. Руге. - М. : Наука, 1983 .— 360 с.
3	Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем / А. Н. Бубенников .— М. : Высш. шк., 1989 .— 319 с.
4	Пасынков В.В. Материалы электронной техники / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин . - СПб. : Лань, 2001 . - 366 с.
5	Красников Г.Я. Система кремний-диоксид кремния субмикронных СБИС / Г.Я. Красников, Н.А. Зайцев .- М. : Техносфера, 2003 .- 383 с.



в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Источник
1	Портал Электронный университет ВГУ < <a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> >
2	ЗНБ ВГУ < <a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> >
3	Портал "Микроэлектроника" <URL: <a href="http://www.gaw.ru/">http://www.gaw.ru/</a> >
4	National Nanotechnology Initiative <URL: <a href="http://www.nano.gov">http://www.nano.gov</a> >
5	OSTEC – оборудование для микроэлектроники < <a href="http://www.ostec-micro.ru">http://www.ostec-micro.ru</a> >
6	Федеральный портал «Российское образование» <a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Математическое моделирование технологических процессов в микроэлектронике. Ч.1: Диффузия / Г.В. Быкадорова, Л.А. Битюцкая, В.А. Гольдфарб. – Воронеж: ВГУ, 1997. – 116 с.
2	Моделирование процессов внедрения и перераспределения примесей при ионной имплантации : Учебное пособие для студ., обуч. по направлению подгот. дипломир. специалистов 550700 "Электроника и микроэлектроника" / В.В. Асессоров, Г.В. Быкадоров, В.А. Гольдфарб, Л.А. Битюцкая ; Воронеж. гос. ун-т; Под ред. Е.Н. Бормонта .— Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2004 .— 202 с.
3	Технологии твердотельной электроники. Ч. 1. : Получение р-п переходов: технологии и оборудование : учебно-методическое пособие для вузов / сост. : Е.С. Машкина, Е.Н. Бормонта .— Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2013. - 47 с.
4	Литографические процессы в технологии твердотельной электроники : учебно-методическое пособие для вузов / сост. : Е.С. Машкина, Е.Н. Бормонта .— Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2013 .— 36 с.
5	Технологии твердотельной электроники : учебно-методическое пособие. Ч. 2. Эпитаксиальное наращивание / сост. : Е. С. Машкина, Е. Н. Бормонта, Т .Г. Меньшикова .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— 31 с.
6	Изучение процесса термического окисления кремния : учебно-методическое пособие / сост. : Л. Н. Владимирова, Е. С. Машкина, Е.Н. Бормонта .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— 31 с.
7	Изготовление электронно-дырочного перехода методом диффузии : учебно-методическое пособие / сост. : Л. Н. Владимирова, Е. С. Машкина, Е.Н. Бормонта .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— 31 с.
8	Получение тонких металлических пленок методом магнетронного распыления : учебно-методическое пособие / сост. : Л. Н. Владимирова, Е. С. Машкина, Е.Н. Бормонта .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— 39 с.
9	Магнетронное напыление тонких металлооксидных пленок и исследование их сенсорных свойств : учебно-методическое пособие / сост. : Л. Н. Владимирова, Е. С. Машкина, Е.Н. Бормонта .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— 41 с.
10	Определение температурной зависимости содержания SiO <sub>2</sub> в свинцовосиликатных пленках, полученных ускоренным окислением кремния : учебно-методическое пособие / сост. : Л. Н. Владимирова, Е. С. Машкина, Е.Н. Бормонта .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— 27 с.
11	Исследование процесса термического напыления тонких металлических пленок : учебно-методическое пособие / сост. : Л. Н. Владимирова, Е. С. Машкина, Б. Н. Сахаров .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2019 .— 55 с.
12	Физико-химические основы технологических процессов микро- и наноэлектроники: учебное пособие / Е.С. Машкина, Л.Н. Владимирова, Е.Н. Бормонта. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2019. – 172 с.

## 17. Образовательные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение:

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ", курс «Основы технологии электронной компонентной базы: <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4109> (лекции), <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=4459> (лабораторные занятия)

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа - мультимедийный кабинет кафедры ФППиМЭ: Стационарный мультимедийный проектор AcerX125H – 1 шт., ноутбук emachines e510 – 1 шт. (MicrosoftWindows 7, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019)

Лаборатория плазменной технологии в микроэлектронике: Лабораторный макет установки радикального травления – 1шт., лабораторный макет установки плазмохимического травления – 1шт., лабораторный макет установки реактивного ионно-плазменного травления – 1 шт., микроскоп МИИ-4 – 1 шт., микроскоп МБС-1 – 1 шт., весы аналитические ВЛАО-200 – 1 шт.

Лаборатории технологических практикумов кафедры ФППиМЭ: Установка вакуумного напыления УВН-2Н – 3 шт., лабораторный макет диффузионной печи – 3 шт.; печь для термического окисления материалов «Изоприн» - 1 шт.; лабораторный макет установки для измерения удельного сопротивления полупроводников – 1 шт., микроскоп МИИ-4 – 1 шт., эллипсометр Э-3 – 1 шт.

Аудитория для самостоятельной работы студентов: Сервер на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры HPProDesk 400 G6 SFF – 9 шт., компьютеры PentiumDualCore - 2 шт., подключенные к сети Интернет и с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ (Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019)

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций:

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Общие сведения о планарной технологии производства интегральных микросхем	ПК-3	ПК-3.2 ПК-3.3	Вопросы 1, 2, 11, 12 Лабораторные работы 1, 10
2	Обработка полупроводниковых пластин	ПК-4 ПК-7	ПК-4.3 ПК-7.2	Вопросы 1, 2 Лабораторные работы 2, 3, 4
3	Способы получения р-п переходов	ПК-7	ПК-7.1 ПК-7.2 ПК-7.3	Вопросы 5-7 Лабораторные работы 5, 6
4	Технология получения эпитаксиальных слоев	ПК-7	ПКВ-3.1 ПКВ-3.2 ПКВ-3.3	Вопросы 3, 4
5	Литографические процессы в производстве интегральных микросхем	ПК-7	ПК-7.1 ПК-7.3	Вопросы 8, 9
6	Металлизация в производстве интегральных микросхем	ПК-7	ПК-7.2 ПК-7.2 ПК-7.3	Вопросы 2, 10 Лабораторные работы 7, 8

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
7	Диэлектрические покрытия на кремнии	ПК-7	ПК-7.2 ПК-7.2 ПК-7.3	Вопросы 2, 3 Лабораторная работа 9
8	Сборка и испытание ИМС-структур	ПК-3 ПК-4 ПК-7	ПК-3.2 ПК-4.3 ПК-7.3	Вопросы 1, 2, 11, 12 Лабораторные работы 1, 10
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет, дифференцированный зачет				Вопросы к зачету, комплект КИМ

## 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели:

- 1) знание базовых технологических процессов производства изделий микроэлектроники
- 2) знание основных параметров и режимы проведения технологических процессов производства изделий микроэлектроники
- 3) знание основного технологического оборудования производства изделий микроэлектроники и принципы его работы
- 4) умение работать с технологической документацией на изготовление изделий микроэлектроники и разрабатывать операционные маршруты изготовления изделий микроэлектроники низкой и средней сложности
- 5) умение измерять, рассчитывать, контролировать основные параметры технологических операций;
- 6) умение работать с основным технологическим оборудованием производства изделий микроэлектроники;
- 7) владение методами расчета технологических и электрических параметров компонентов и устройств электроники и наноэлектроники;
- 8) владение навыками проведения технологических процессов в соответствии с операционными маршрутами изготовления изделий микроэлектроники низкой и средней сложности

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### Вопросы:

1. Классифицировать и перечислить основные этапы технологии изготовления интегральных микросхем.
2. Перечислить основные и вспомогательные материалы, используемые в производстве полупроводниковых приборов и ИС.
3. Перечислить основные технологические процессы получения эпитаксиальных пленок на полупроводниковых подложках.
4. Провести сравнительный анализ различных способов эпитаксиального наращивания.
5. Перечислить особенности электронно-ионной технологии.
6. Перечислить дефекты, вносимые электронно-ионной обработкой и указать способы их устранения.

7. Рассчитать глубину залегания  $p$ - $n$ -перехода при имплантации ионов различных энергий.
8. Перечислить основные этапы литографического процесса.
9. Перечислить перспективные способы формирования топологии ИМС-структур.
10. Определить толщину напыляемой металлической пленки эллипсометрическим методом.
11. Перечислить основные этапы сборки полупроводниковых приборов и ИС.
12. Перечислить методы и категории испытаний полупроводниковых приборов и ИС.

#### **Перечень лабораторных работ:**

- Лабораторная работа 1. Составление технологического маршрута изготовления прибора
- Лабораторная работа 2. Жидкостное травление кремния.
- Лабораторная работа 3. Определение глубины нарушенного слоя после механической обработки кремниевых пластин методом косо́го шлифа.
- Лабораторная работа 4. Плазмохимическое травление кремния.
- Лабораторная работа 5. Диффузия примеси  $p$ -типа в кремнии.
- Лабораторная работа 6. Диффузия примеси  $n$ -типа в кремнии.
- Лабораторная работа 7. Получение пленок In на Si методом вакуумного напыления.
- Лабораторная работа 8. Получение пленок Pb на Si методом магнетронного распыления.
- Лабораторная работа 9. Термическое окисление кремния.
- Лабораторная работа 10. Категории испытаний изделий электроники и наноэлектроники и расчет критерия годности.

## **20.2 Промежуточная аттестация**

#### **Перечень вопросов к зачету:**

1. Классификация и основные этапы технологии изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.
2. Механическая обработка полупроводниковых пластин: шлифование и полирование.
3. Травление полупроводников и полупроводниковых соединений.
4. Получение  $p$ - $n$  переходов методом диффузии. Распределение примеси при диффузии.
5. Диффузия из источника с постоянной поверхностной концентрацией (стадия загонки). Диффузия из тонкого слоя с фиксированным количеством примеси (стадия разгонки).
6. Способы проведения диффузионных процессов.
7. Физические основы ионной имплантации. Эффект каналирования ионов.
8. Дефекты, вносимые электронно-ионной обработкой, способы их устранения.
9. Способы получения эпитаксиальных пленок.
10. Методы эпитаксиального наращивания кремния, германия и арсенида галлия.
11. Современные способы литографических процессов.
12. Основные этапы фотолитографического процесса. Виды фоторезистов. Способы получения фотошаблонов.
13. Получение металлических пленок методом конденсации в вакууме.
14. Получение металлических пленок методами катодного и ионно-плазменного распыления.
15. Создание омических контактов. Контакты с подслоем золота и титана.
16. Создание тонкопленочных резисторов и конденсаторов.
17. Формирование диэлектрических пленок методом окисления и осаждения.

## **Перечень вопросов к дифференцированному зачету (комплект КИМ):**

### **Контрольно-измерительный материал № 1**

1. Классификация и основные этапы технологии изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.
2. Современные способы литографических процессов.

### **Контрольно-измерительный материал № 2**

1. Механическая обработка полупроводниковых пластин: шлифование и полирование.
2. Основные этапы фотолитографического процесса. Виды фоторезистов. Способы получения фотошаблонов.

### **Контрольно-измерительный материал № 3**

1. Формирование диэлектрических пленок методом окисления и осаждения.
2. Получение металлических пленок методом конденсации в вакууме.

### **Контрольно-измерительный материал № 4**

1. Травление полупроводников и полупроводниковых соединений.
2. Получение металлических пленок методами катодного и ионно-плазменного распыления.

### **Контрольно-измерительный материал № 5**

1. Получение p-n переходов методом диффузии. Распределение примеси при диффузии.
2. Создание омических контактов. Контакты с подслоем золота и титана.

### **Контрольно-измерительный материал № 6**

1. High-k – диэлектрики. Технология КНИ.
2. Создание тонкопленочных резисторов и конденсаторов.

### **Контрольно-измерительный материал № 7**

1. Диффузия из источника с постоянной поверхностной концентрацией (стадия загонки). Диффузия из тонкого слоя с фиксированным количеством примеси (стадия разгонки).
2. МДП-технология.

### **Контрольно-измерительный материал № 8**

1. Способы проведения диффузионных процессов.
2. Технологический процесс создания комплиментарной пары МОП-транзисторов.

### **Контрольно-измерительный материал № 9**

1. Способы получения эпитаксиальных пленок.
2. Основные этапы сборки полупроводниковых приборов и ИС.

### **Контрольно-измерительный материал № 10**

1. Методы эпитаксиального наращивания кремния, германия и арсенида галлия.

## 2. Категории и виды испытаний полупроводниковых приборов и ИС.

### Контрольно-измерительный материал № 11

1. Физические основы ионной имплантации. Эффект каналирования ионов.
2. Конструктивное оформление микросхем различных классов.

### Контрольно-измерительный материал № 12

1. Дефекты, вносимые электронно-ионной обработкой, способы их устранения.
2. Общие и частные технические условия на испытания полупроводниковых приборов и ИС.

Для оценивания результатов обучения на зачете с оценкой используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям. Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом технологии производства изделий электронной техники, способен работать с технологической документацией и составить технологический маршрут изготовления изделий микроэлектроники, умеет работать с основным технологическим оборудованием, способен применять полученные знания для решения расчета, измерения и контроля основных параметров технологических процессов	Повышенный уровень	Отлично
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся владеет понятийным аппаратом технологии производства изделий электронной техники, способен работать с технологической документацией и составить технологический маршрут изготовления изделий микроэлектроники, допускает ошибки при расчете, измерение и контроле основных параметров технологических процессов.	Базовый уровень	Хорошо
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум(трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Обучающийся владеет частично понятийным аппаратом технологии производства изделий электронной техники, фрагментарно способен работать с технологической документацией и составить технологический маршрут изготовления изделий микроэлектроники, не умеет корректно рассчитать, измерить и контролировать основные параметры технологических процессов, не умеет работать с основным технологическим оборудованием	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания в области технологии производства изделий	–	Неудовлетворительно

электронной техники, не умеет составлять технологический маршрут изготовления изделий электронной техники, не умеет работать с основным технологическим оборудованием, допускает грубые ошибки в расчетах и измерении основных технологических параметров процессов, не способен контролировать технологические параметры процесса		
--	--	--

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в формах: *устного опроса (индивидуальный опрос); выполнение лабораторных работ*. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний, позволяющие оценить степень сформированности умений, навыков, и опыт деятельности в условиях производства изделий электронной техники.

При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
*шифр и наименование направления/специальности*

Дисциплина: Б1.В.02 Основы технологии электронной компонентной базы  
*код и наименование дисциплины*

Профиль подготовки: Интегральная электроника и наноэлектроника  
*в соответствии с Учебным планом*

Форма обучения: очная

Учебный год: 2021-2022

Ответственный исполнитель -

Зав.кафедрой ФППиМЭ \_\_\_\_\_ (Е.Н. Бормонтов) 31.08.2020  
*должность, подразделение* *подпись* *расшифровка подписи*  
Исполнители:

Доцент каф. ФППиМЭ \_\_\_\_\_ (Е.С. Машкина) 31.08.2020  
*должность, подразделение* *подпись* *расшифровка подписи*

СОГЛАСОВАНО:

Куратор ОПОП ВО  
направления 11.03.04 \_\_\_\_\_ (Г.В.Быкадорова) 31.08.2020  
*подпись* *расшифровка подписи*

Зав.отделом  
обслуживания ЗНБ \_\_\_\_\_ (Белодедова Н.В.) 31.08.2020  
*подпись* *расшифровка подписи*

Рекомендована НМС физического факультета  
*(наименование факультета, структурного подразделения)*  
протокол № 6 от 26.06.2020