

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники
и электроники
В.А. Небольсин/
_____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)

«Микроэлектроника»

Направление подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материа-
ЛОВ

Профиль Функциональные материалы

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2024

Автор программы

_____ Н.Н. Кошелева

Заведующий кафедрой
химии и химической
технологии материалов

_____ О.Б. Рудаков

Руководитель ОПОП

_____ О.Б. Рудаков

Воронеж 2024

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: формирование у студентов знаний о назначении, физических принципах и методах выполнения основных технологических процессов производства изделий микроэлектроники.

1.2. Задачи освоения дисциплины: приобретение студентами знаний об основных технологических процессах производства изделий микроэлектроники, о выборе методов и режимов проведения технологических процессов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.02 «Микроэлектроника» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Микроэлектроника» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-8: способен использовать на практике современные представления о влиянии микро- и нано-структуры материала на его свойства, взаимодействие материала с окружающей средой, механическими и физическими нагрузками;

ПК-13: способен использовать на производстве знания о традиционных и новых технологических процессах и операциях, нормативных и методических материалах о технологической подготовке производства, качестве продукции с элементами технико-экономического анализа.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-8	знать физические принципы и основные технологические процессы формирования микро- и наноструктур;
	уметь использовать в практической деятельности фундаментальные физические закономерности, определяющие структуру и свойства полупроводников;
	владеть методами анализа технологических процессов производства изделий электронной техники.
ПК-13	знать основные характеристики технологических процессов и операций;
	уметь использовать нормативные и методические материалы о технологической подготовке производства, качестве продукции с элементами технико-экономического анализа;
	владеть навыками самостоятельной работы при решении практи-

	ческих задач изготовления и эксплуатации полупроводниковых приборов.
--	--

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Микроэлектроника» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		5	6
Аудиторные занятия (всего)	124	34	90
В том числе:			
Лекции	54	18	36
Лабораторные работы (ЛР)	34	16	18
Практические занятия (ПЗ)	36		36
Самостоятельная работа	128	74	54
Вид промежуточной аттестации – зачет, зачет с оценкой, курсовой проект		зачет	ЗО, КП
Общая трудоемкость час	252	108	144
зач. ед.	7	3	4

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	Лаб. зан.	Пр.	СРС	Всего, час
1	Современное состояние и тенденции развития производства микроэлектроники	Введение. Микроэлектроника. Вводные понятия. Исторический экскурс. Полупроводниковые приборы. Гибридные интегральные схемы. Полупроводниковые интегральные схемы. Переход к низкоразмерным системам.	4	-		20	7
2	Физические основы работы приборов микроэлектроники	Основные свойства полупроводников. Процессы переноса носителей заряда в полупроводниках. Фундаментальная система уравнений физики полупроводниковых приборов. Электронно-дырочный переход, принцип действия, прямое и обратное включение. Теоретическая вольт-амперная характеристика рп перехода. Реальная вольт-амперная характеристика. Пробой рп перехода. МДП-структура. Вольт-фарадная характеристика.	8	4		20	
2	Механическая и химико-механическая обработка полупроводников в изделиях микроэлектроники	Основные задачи и виды механической обработки полупроводников. Методы резания полупроводниковых слитков на пластины и кристаллы. Сравнительная характеристика различных методов резания. Шлифование пластин. Механизмы шлифования. Основные характеристики процесса шлифования. Механизмы полирования. Роль химических процессов в полировании полупроводников. Основные характеристики процесса полирования.	6	4		34	9

3	Технохимические процессы подготовки полупроводниковых подложек ИМС. Методы технологического контроля	Кинетика и термодинамика химического травления. Механизмы химического травления. Электрохимическая и химическая теории саморастворения полупроводников. Основные травители для кремния и полупроводниковых соединений. Газовое высокотемпературное травление. Ионно-плазменная обработка. Механизмы ионной, ионно-химической и плазмохимической обработки. Перспективы систем с магнетронным распылением. Контроль качества поверхности. Сведения по теории надежности изделий электронной техники. Классификация причин отказов полупроводниковых приборов и ИМС. Анализ причин отказов. Выход годных ИС. Перспективные технологические методы в производстве ИС. Тенденции развития технологических процессов микро- и нанoeлектроники.	6	4		6	15
4	Диэлектрические слои	Требования к диэлектрическим слоям в технологии электроники. Пленки диоксида кремния. Кинетика термического окисления кремния. Зависимость толщины пленки диоксида кремния от времени процесса. Физические процессы, сопровождающие окисление. Технология термического окисления в сухом кислороде. Технология термического окисления в парах воды. Окисление во влажном кислороде. Дефекты, возникающие при термическом окислении кремния. Пиролитическое осаждение диоксида кремния. Анодное окисление кремния. Методы осаждения диоксида кремния. Параметры процесса осаждения и свойства окисных пленок.	6	4		6	17
5	Эпитаксиальные структуры	Место эпитаксиальных процессов в производстве полупроводниковых приборов и ИМС. Классификация эпитаксиальных процессов. Эпитаксия кремния из газовой фазы. Основы процессов массопереноса и химической кинетики. Легирование и автолегирование. Выбор оптимальной технологии. Оценка параметров и дефекты эпитаксиальных слоев, способы контроля и устранения. Эпитаксия из газовой фазы соединений типа A^3B^5 и твердых растворов на их основе. Хлоридно-гидридный, хлоридный и МОС (МОХОПФ) методы. Гетероэпитаксия. Технология получения полупроводниковых сверхрешеток. Жидкофазная эпитаксия. Перспективы развития процесса жидкостной эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Применяемые системы и характеристики слоев. Тенденции развития эпитаксиальной технологии	6	4		6	16
6	Литографические процессы	Литография. Резисты. Разрешающая способность. Фотолитография. Фоторезисты и их основные характеристики. Основные операции фотолитографического процесса. Подготовка поверхности. Нанесение резиста. Термообработка. Совмещение и экспонирование. Виды фотомасок. Проявление фоторезиста. Термообработка. Удаление маски. Перспективные методы литографии. Глубокий УФ. Вакуумный УФ. Электронная литография. Длина волны, системы сканирования. Рентгеновская литография. Рентгеношаблоны. Ионно-лучевая литография. Синхротронное излучение. Сравнение разрешающей способности при различных литографических процессах. Предельные возможности формирования низкоразмерных элементов при помощи литографии.	6	6		6	16
7	Легирование полупроводников	Место диффузионных процессов в полупроводниковой технологии. Кинетика процесса диффузии. Механизмы диффузии. Математические основы процесса диффузии. Механические напряжения и дефекты размерного несоответствия. Технология процесса диффузии. Технологические разновидности диффузионного легирования. Дефекты диффузионных слоев, способы их обнаружения и устранения. Возможности и перспективы применения ионного легирования в производстве ИМС. Основные принципы и характеристики процесса ионного легирования. Распределение пробегов ионов в аморфной и монокристаллической мишени. Радиационные дефекты. Механизмы аморфизации поверхности. Отжиг радиационных дефектов. Термический и лазерный отжиг. Методы активации примесей. Технология ионного легирования. Локализация ионного легирования. Способы контроля имплантированных слоев.	6	4		6	18

8	Металлизация	Понятие омического контакта. Основные характеристики омических контактов и их влияние на параметры полупроводниковых приборов и ИМС. Методы получения омических контактов. Вакуумные методы. Химическое и электрохимическое осаждение. Термокомпрессия. Методика получения омических контактов в планарной технологии. Многослойные контактные системы. Применение силицидов переходных металлов в контактах ИМС. Плоские и объемные выводы и методы их формирования. Методы контроля качества омических контактов, пути повышения надежности контактных систем.	6	4		6	10
Итого			54	34	36	128	252

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Технология формирования транзисторной структуры методом диффузии
2. Технологии формирования структуры ионным легированием
3. Маскирующие свойства оксида кремния
4. Плазмохимическое травление фоторезиста
5. Термическое окисление кремния в сухом кислороде
6. Термическое окисление кремния во влажном кислороде.
7. Фотолитографический процесс в производстве полупроводниковых интегральных схем
8. Химическая очистка и травление поверхности кремния
9. Нарращивание эпитаксиальных слоев способом контролируемого охлаждения раствора-расплава
10. Анизотропное травление кремния. Получение V-образных канавок в кремниевых пластинах.

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

1. Разработка технологии кремниевого n-p-n планарно-эпитаксиального транзистора СВЧ диапазона.
2. Разработка технологии дискретного МДП-транзистора СВЧ диапазона со встроенным каналом n-типа.
3. Разработка технологии маломощного высокочастотного кремниевого тиристора.
4. Разработка технологии интегрального транзистора микросхемы ТТЛШ.
5. Разработка технологии элемента БИС "диод-транзистор" в схеме планарно-биполярной технологии.
6. Разработка технологии светодиода с красным излучением в системе "арсенид галлия – арсенид галлия – алюминий" с применением метода МЛЭ и др.

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
ПК-5	знать основные характеристики технологических процессов;	Сдана теория, выполнены практические задания.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проводить расчет режимов базовых технологических операций производства изделий электронной техники;	Сдана теория, выполнены практические задания	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами анализа технологических процессов производства изделий электронной техники.	Сдана теория, выполнены практические задания	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-6	знать физические принципы и основные технологические процессы формирования структур изделий электронной техники;	Сдана теория, выполнены практические задания.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь использовать в практической деятельности фундаментальные физические закономерности, определяющие структуру и свойства полупроводников;	Сдана теория, выполнены практические задания	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками самостоятельной работы при решении практических задач изготовления и эксплуатации полупроводниковых приборов.	Сдана теория, выполнены практические задания	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются во 2 семестре для очной формы обучения, во 2 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»;

«не зачтено».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-5	знать основные характеристики технологических процессов;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее

				70 %
	уметь проводить расчет режимов базовых технологических операций производства изделий электронной техники;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть методами анализа технологических процессов производства изделий электронной техники.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-6	знать физические принципы и основные технологические процессы формирования структур изделий электронной техники;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь использовать в практической деятельности фундаментальные физические закономерности, определяющие структуру и свойства полупроводников;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками самостоятельной работы при решении практических задач изготовления и эксплуатации полупроводниковых 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. Для чего используются процессы диффузии:
 1. для очистки поверхности;
 2. для создания легированных областей;
 3. для разгонки имплантированной примеси.

2. Какова температура плавления кремния?
 1. 1045 °С;
 2. 1250 °С;
 3. 1415 °С.

3. Какие дефекты оказывают влияние на диффузию собственных или примесных атомов?
 1. точечные;
 2. линейные;
 3. объемные.

4. Добавление какой примеси в полупроводник позволяет получить электронную проводимость?
 1. фосфор;
 2. кислород;
 3. индий.

5. Р-п переход образуется на границе:
 1. двух полупроводников - германия и кремния, содержащих примеси разных типов;
 2. двух областей одного полупроводника, но с разными типами примесей в каждой области;
 3. двух областей одного полупроводника и с одинаковыми типами примесей в каждой области.

6. Чистое помещение - это:
1. помещение с определенным количеством загрязняющих частиц;
 2. помещение для хранения непылящей одежды для сотрудников производства;
 3. помещение, где расположены фильтры и установки для очистки технологических сред.
7. Укажите интервал температур, допустимый для проведения технологических операций:
1. 19 - 28 °С;
 2. 20 - 24 °С;
 3. без ограничений.
8. Укажите максимально допустимый уровень относительной влажности в производственном помещении:
1. 40 %;
 2. 80 %;
 3. 60 %.
9. Какой газ наиболее часто применяют при производстве полупроводниковой электроники?
1. азот;
 2. гелий;
 3. аргон.
10. Какие жидкости наиболее часто применяется при производстве полупроводниковой электроники?
1. кислоты;
 2. щелочи;
 3. деионизованная вода.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Определить время получения пленки двуокиси кремния толщиной 1,5 мкм во влажном кислороде при температуре 1200 °С.
2. Определить время получения пленки двуокиси кремния толщиной 1,5 мкм по комбинированной технологии при температуре 1200 °С.
3. Определить время роста пленки двуокиси кремния толщиной 1 мкм во влажном кислороде при температуре 1000 °С и давлении 2,5 МПа.
4. Определить время роста пленки двуокиси кремния толщиной 1,5 мкм во влажном кислороде при температуре 1000 °С и давлении 2 МПа.
5. Определить время выращивания пленки двуокиси кремния для подзатворного диэлектрика МДП ИС толщиной 0,12 мкм при температуре 1000 °С.
6. Рассчитать количество донорной примеси фосфора, внедряемое в кремний из бесконечного источника при температуре 1000 °С за 40 мин.
7. Определить глубину залегания р - n -перехода при диффузии бора в подложку типа КЭФ0,5, если поверхностная концентрация легированной области 10^{18} см^{-3} . Диффузия проводилась из ограниченного источника при температуре 1100 °С в течении 40 мин.
8. При проведении двухстадийной диффузии фосфора в кремний получена поверхностная концентрация 10^{19} см^{-3} . Определить концентрацию примеси на глубине 2 мкм, если на глубине 0,5 мкм она составляет $7,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.
9. Фосфор внедряется в кремний типа КДБ15, создавая область n -типа с поверхностным сопротивлением $4 \text{ Ом}/\square$ и глубиной залегания р-n перехода 1,5 мкм. Определить концентрацию примеси на глубине 1 мкм, если температура диффузии 1100 °С.

10. Рассчитать количество донорной примеси мышьяка, внедряемое в кремний из бесконечного источника при температуре 900 °С за 40 мин.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Три основных группы источников загрязнений в чистом производстве.
2. Основные типы загрязнения пластин.
3. Типы зон в чистом помещении
4. Понятие степени чистоты материалов
5. Допустимые значения влажности и температуры
6. Виды течения воздуха при вентиляции помещений.
7. Внутреннее и внешнее геттерирование.
8. Что такое диффузионное легирование, для чего и как оно используется
9. Зависимость распределения примеси от времени и температуры при диффузии.
10. Комбинированная технология термического окисления.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Что такое закон Мура?
2. Каковы тенденции развития современной технологии?
3. Какие требования предъявляются к современным производственным мощностям?
4. Какие типы ЧПП бывают?
5. Чистые производственные помещения. Источники возможных загрязнений ЧПП
6. Классификация чистых помещений и чистых зон по ISO 14644-1
7. Как может быть организована очистка воздуха на производстве?
8. Современные требования к одежде персонала на полупроводниковом производстве?
9. Очистка газов.
10. Примеси в газах высокой чистоты и их влияние на полупроводниковое производство.
11. Очистка воды.
12. Виды загрязнений воды и способы очистки.
13. Геттерирование
14. Реальная поверхность полупроводников.
15. Действие загрязнений полупроводниковых пластин на результат технологических операций.
16. Очистка криогенными аэрозолями поверхности полупроводников
17. Механизм очистки с помощью сверхкритических жидкостей (СКЖ) поверхности полупроводников
18. Сухие методы очистки поверхности полупроводников
19. Пассивация поверхности

20. Подготовка реальной поверхности к последующим технологическим операциям.
21. Основные этапы фотолитографического процесса.
22. Виды фоторезистов.
23. Процесс выращивания оксида кремния в среде сухого кислорода.
24. Процесс получения оксида кремния в парах воды.
25. Оборудование для проведения операции диффузии.
26. Режимы проведения диффузии.
27. Получение р-п переходов методом диффузии.
28. Распределение примеси при диффузии.
29. Диффузия из источника с постоянной поверхностной концентрацией (стадия загонки).
30. Диффузия из тонкого слоя с фиксированным количеством примеси (стадия разгонки).

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 5 баллов. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 7 до 10 баллов.

2. Оценка «не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 7 баллов.

При получении оценки «зачтено» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Введение.	ПК-5, ПК-6	Тест, решение стандартных и прикладных задач
2	Чистые производственные помещения	ПК-5, ПК-6	Тест, решение стандартных и прикладных задач
3	Источники загрязнений ЧПП	ПК-5, ПК-6	Тест, решение стандартных и прикладных задач

4	Технологические среды	ПК-5, ПК-6	Тест, решение стандартных и прикладных задач
5	Очистка газов	ПК-5, ПК-6	Тест, решение стандартных и прикладных задач
6	Очистка воды	ПК-5, ПК-6	Тест, решение стандартных и прикладных задач
7	Очистка подложек	ПК-5, ПК-6	Тест, решение стандартных и прикладных задач
8	Фотолитографические процессы.	ПК-5, ПК-6	Тест, решение стандартных и прикладных задач
9	Создание диэлектрических пленок на поверхности полупроводниковых пластин	ПК-5, ПК-6	Тест, решение стандартных и прикладных задач
10	Создание р-п переходов методом диффузии и ионной имплантации	ПК-5, ПК-6	Тест, решение стандартных и прикладных задач

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

Основная литература

1. **Липатов Г.И.** Особенности производства ИС [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Г.И. Липатов. – Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2019. – 224 с. – Гарантированный срок размещения в ЭБС до 01.03.2025 (автопродлонгация). – ISBN 978-5-7731-0800-9. URL: <http://www.iprbookshop.ru/93331.html>

2. **Коледов Л.А.** Технологии и конструкции микросхем, микропроцессов и микросборок: учеб. пособие / Л.А. Коледов. - 3-е изд., стереотип. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2009. - 400 с. - ISBN 978-5-8114-0766-8

3. **Коледов Л.А.** Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л.А. Коледов. - 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2021. - 400 с. - ISBN 978-5-8114-0766-8. URL: <https://e.lanbook.com/book/167750>

4. **Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий** [Текст] : учеб. пособие : в 2 т. Т. 2: Технологические аспекты / М.В. Акуленок, В.М. Андреев, Д.Г. Громов и др.; под общ. ред. Ю.Н. Коркишко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 252 с. - (Нанотехнологии). – ISBN 978-5-9963-0336-6 (Т. 2). - ISBN 978-5-9963-0341-0

5. **Балашов Ю.С.** Сборочные операции и их контроль в микроэлектронике: учеб. пособие / Ю. С. Балашов, В. В. Зенин, Ю. Е. Сегал. - 2-е изд., перераб. и доп. - Воронеж: ВГТУ, 2004. - 229 с. - ISBN 5-7731-0109-2

6. **Акулинин С.А.** Контрольно-измерительные операции в технологии интегрированных структур [Электронный ресурс]: учеб. пособие / С.А. Акулинин. – Электрон. текстовые, граф. дан. (4,31 Мб). – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010.

7. **Родионов Ю.А.** Технологические процессы в микро- и нанoeлектронике [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Ю.А. Родионов. – М., Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. - 352 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 12.08.2024 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-9729-0337-5. URL: <http://www.iprbookshop.ru/86656.html>

Дополнительная литература

8. **Горлов М.И.** Общие закономерности технологического процесса производства полупроводниковых изделий [Электронный ресурс]: учеб. пособие / М.И. Горлов, Е.П. Николаева. - Электрон. текстовые, граф. дан. (1,3 Мб). – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2002. – 148 с.

9. **Беляев Н.В.** Чистые производственные помещения микро- и нанoeлектроники: учеб. пособие / Н.В. Беляев. - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. - 138 с.

10. **Зенин В.В.** Монтаж кристаллов и внутренних выводов в производстве полупроводниковых изделий [Электронный ресурс]: монография / В.В. Зенин. - Электрон. текстовые, граф. дан. (11,0 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013.

11. **Зенин В.В.** Процессы сборки в технологии производства 3D-изделий микроэлектроники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.В. Зенин. – Электрон. текстовые, граф. дан. (18,2 Мб). – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011.

12. **Курносков А.И.** Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем: учеб. пособие для вузов по спец. «Полупроводники и диэлектрики» и «Полупроводниковые приборы» / А.И. Курносков, В.В. Юдин. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. - 367 с.

13. **Парфенов О.Д.** Технология микросхем: учеб. пособие : допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР / О.Д. Парфенов. – М.: Высш. шк., 1986. - 320 с.

14. **Готра З.Ю.** Технология микроэлектронных устройств: справочник / З.Ю. Готра, И.М. Николаев. – М.: Радио и связь, 1991. - 527 с. - ISBN 5-256-00699-1

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

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;

Используемые электронные библиотечные системы:

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»: <http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

Информационные справочные системы:

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru/>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Лекционная аудитория 311/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
 рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека.
 проектор BenQ MP515 DLP;
 экран ScreenMedia настенный.
 огнетушитель.

2. Дисплейный класс для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
 рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.
 компьютер-сборка каф.9;
 компьютер в составе: (H61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);

компьютер-сборка каф.7;
 компьютер-сборка каф.3;
 компьютер в составе: (H61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);
 компьютер-сборка каф.5;
 компьютер-сборка каф.4;
 компьютер-сборка каф.8;
 компьютер-сборка каф.2;
 компьютер-сборка каф.6;
 компьютер-сборка каф.10;
 комп. в сост: Сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;
 компьютер-сборка каф.1;
 экран Projecta ProScreen настенный рулонный;
 проектор BenQ MP515 DLP;
 огнетушитель.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Введение в электронику и наноэлектронику» 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 технологических операций полупроводникового производства. Занятия проводятся путем решения стандартных и прикладных задач в аудитории.

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

Контроль усвоения материала дисциплины производится тестированием. Освоение 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	Практические занятия позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности практические занятия для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим

	разделом учебника, проработать дополнительную литературу.
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"> - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решение задач на практических занятиях.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			
4			