

**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 /

31 августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Технология изделий электроники и наноэлектроники»

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 мес.


Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2021

Автор программы

 Т.Г. Меньшикова

И.о. заведующего кафедрой
полупроводниковой электроники
и наноэлектроники

 А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

 А.В. Арсентьев

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины:

- изучение закономерностей протекания основных технологических операций, применяемых при изготовлении материалов и изделий электроники и нанoeлектроники.
- изучение расчетных и экспериментальных методов определения режимов технологических операций.
- изучение принципов действия основных элементов вакуумного оборудования и технологических устройств.
- формирование навыков работы на технологическом оборудовании.
- изучение типовых технологических процессов изготовления изделий электроники и нанoeлектроники.

1.2. Задачи освоения дисциплины: свободное ориентирование студентов в основных технологических операциях производства полупроводниковых приборов микро и нанoeлектроники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.06 «Технология изделий электроники и нанoeлектроники» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Технология изделий электроники и нанoeлектроники» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-4: умение работать на технологическом оборудовании, применяемом при изготовлении изделий «система в корпусе»;

ПК-6: готовность к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства микроэлектронных приборов и устройств твердотельной электроники;

ПК-7: способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения микроэлектронных приборов и устройств.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-4	знать виды неисправностей, возникающих при монтаже и сборке, и способы их устранения;
	уметь проводить анализ электрофизических параметров изделия;
	владеть навыками выполнения сборки и монтажа микросборок, полупроводниковых приборов в соответствии с технической докумен-

	тацией.
ПК-6	знать физические закономерности, лежащие в основе методов, применяемых при изготовлении материалов и изделий электроники и наноэлектроники;
	уметь определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения отдельных технологических операций;
	владеть представлениями о возможностях перспективного технологического оборудования и методах контроля и анализа характеристик полученных структур.
ПК-7	знать основные технологические методы, применяемые при изготовлении материалов и изделий электроники и наноэлектроники;
	уметь использовать для выполнения отдельных операций стандартное технологическое оборудование;
	владеть представлениями о перспективах и тенденциях развития технологии изделий электроники и наноэлектроники.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Технология изделий электроники и наноэлектроники» составляет 5 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	50	50
В том числе:		
Лекции	34	34
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
Самостоятельная работа	103	103
Курсовой проект	+	+
Часы на контроль	27	27
Вид промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость	час	180
	зач. ед.	5
		180
		5

Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		9
Аудиторные занятия (всего)	12	12
В том числе:		
Лекции	8	8

Лабораторные работы (ЛР)	4	4
Самостоятельная работа	159	159
Курсовой проект	+	+
Часы на контроль	9	9
Вид промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость	час	180
	зач. ед.	5

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.	СРС	Всего час
1	Основные тенденции развития микро- и нанoeлектроники в России и за рубежом	Вводные понятия. Исторический экскурс. Полупроводниковые приборы. Гибридные интегральные схемы. Полупроводниковые интегральные схемы. Переход к низкоразмерным системам	4	4	10	18
2	Материалы микро- и нанoeлектроники	Строение и свойства материалов микроэлектроники. Полупроводники и их свойства. Полупроводниковые структуры. Предпосылки перехода от микро- к нанoeлектронике. Определения мезоскопических структур, систем пониженной размерности, наночастиц, нанотехнологий, квантово-размерных структур, сложных (бинарных, третичных и т.д.) полупроводниковых монокристаллических материалов, гетероструктур и гетеропереходов, сверхрешеток, нанотрубок, магнитных мультислоев, нитевидных нанокристаллов.	4	4	10	18
3	Технологические основы микро- и нанoeлектроники	Получение электронно-дырочных структур методом диффузии. Механизмы диффузии в полупроводниковых материалах. Математическая теория диффузии. Принцип легирования методом внедрения ионов в твердое тело. Основные принципы и характеристики процесса ионного легирования. Методы изготовления маскирующих и изолирующих пленок. Минимальный топологический размер – основной показатель уровня технологии. Локальное анодное окисление.	4	4	10	18
4	Возможности, ограничения и перспективы развития литографических, плазменных и плазмохимических процессов производства	Основные цели и задачи литографических процессов. Фоторезисты и их свойства. Фотолитография и основные этапы ее проведения. Физические и технологические ограничения фотолитографии. Основы УФ-, рентгено-, электроно- и ионолитографии, их возможности и проблемы. Взаимодействие энергетических ионов с материалами. Физико-химические процессы в низкотемпературной газоразрядной плазме. Процессы травления и очистки материалов с использованием НГП. Основы ионного травления, плазмохимического травления и ионно-химического травления материалов. Перспективы использования методов в технологиях производства электронной компонентной базы. Нанолитография: электронно-лучевая фотография (ЭЛЛ), ионно-лучевая литография (ИЛЛ), нанопечать, перьевая нанолитография; - саморегулирующиеся процессы: самосборка, самоорганизация на поверхности материала и в объеме.	4	4	10	18
5	Эпитаксия. Физические явления в гетероструктурах и приборные применения гетероструктур	Физические основы методов эпитаксиального выращивания пленок. Контроль качества эпитаксиальных пленок. Эпитаксиальные методы получения наноструктур. Методы молекулярно-пучковой эпитаксии, эпитаксии из металлоорганических соединений (металлоорганическая газофазная эпитаксия) и жидкостной эпитаксии – как технологические подходы получения гетероструктур. Две концептуальные парадигмы получения наноструктур – «сверху-вниз» и «снизу-вверх» (по работам Р. Феймана и Э. Дрекслера), механизмы роста гетероструктур в нанoeлектронике (островковый, послойный и промежуточный); стадии ростового процесса; фазирование растущей полупроводниковой пленки; учет поверхностной энергии при формировании устройств нанoeлектроники	4	-	10	14

6	Получение пленок методами термовакuumного испарения и ионно-плазменного распыления	Термическое вакуумное напыление. Распыление материалов ионной бомбардировкой. Катодное, ионно-плазменное, высокочастотное, магнетронное распыление. Многослойные контактные системы. Плоские и объемные выводы, методы их формирования. Методы контроля качества омических контактов, пути повышения надежности контактных систем.	4	-	10	14
7	Микроминиатюризация изделий микроэлектроники и нанoeлектроники	Физическое масштабирование полупроводниковых структур. Физические и параметрические ограничения при масштабировании элементов интегральных схем. Объекты нанoeлектроники. Пространственные масштабы нанoeлектроники. Общая структура нанoeлектронных приборов. Электронные устройства на наноструктурах.	4	-	10	14
8	Методы получения и устройства нанoeлектроники	Методы получения наночастиц и наноматериалов: химические методы; высокочастотный индукционный нагрев; импульсные лазерные методы; термолиз и катализ. Электронные устройства на наноструктурах: квантовый интерференционный транзистор; одноэлектронный транзистор; транзистор на горячих электронах; туннельно-резонансный диод и транзистор.	2	-	10	12
9	Технологический процесс сборки полупроводниковых ИМС	Термокомпрессионная сварка. Ультразвуковая сварка. Микроконтактная сварка. Выбор материала для формирования выводов. Способы и технологии формирования шариковых/столбиковых выводов на кристаллах/корпусах для сборки методом «flip-chip». Оборудование для формирования выводов. Конструкции корпусов. Материалы, используемые для изготовления корпусов: керамика, пластмасса, металл. Защита кристаллов от внешнего воздействия. Бескорпусная и корпусная герметизация.	2	-	12	14
10	Выходной контроль сборочных операций	Электро-термотренировка. Контроль электрических параметров полупроводниковых приборов. Методы контроля герметичности корпусов.	2	-	11	13
Всего			34	16	103	153
Контроль						27
Итого						180

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего час
1	Основные тенденции развития микро- и нанoeлектроники в России и за рубежом	Вводные понятия. Исторический экскурс. Полупроводниковые приборы. Гибридные интегральные схемы. Полупроводниковые интегральные схемы. Переход к низкоразмерным системам	2	-	16	18
2	Материалы микро- и нанoeлектроники	Строение и свойства материалов микроэлектроники. Полупроводники и их свойства. Полупроводниковые структуры. Предпосылки перехода от микро- к нанoeлектронике. Определения мезоскопических структур, систем пониженной размерности, наночастиц, нанотехнологий, квантово-размерных структур, сложных (бинарных, третичных и т.д.) полупроводниковых монокристаллических материалов, гетероструктур и гетеропереходов, сверхрешеток, нанотрубок, магнитных мультислоев, нитевидных нанокристаллов.	2	-	16	18
3	Технологические основы микро- и нанoeлектроники	Получение электронно-дырочных структур методом диффузии. Механизмы диффузии в полупроводниковых материалах. Математическая теория диффузии. Принцип легирования методом внедрения ионов в твердое тело. Основные принципы и характеристики процесса ионного легирования. Методы изготовления маскирующих и изолирующих пленок. Минимальный топологический размер – основной показатель уровня технологии. Локальное анодное окисление.	2	2	16	20
4	Возможности, ограничения и перспективы развития литографических, плазменных и плазмохимических процессов производства	Основные цели и задачи литографических процессов. Фоторезисты и их свойства. Фотолитография и основные этапы ее проведения. Физические и технологические ограничения фотолитографии. Основы УФ-, рентгено-, электро- и ионолитографии, их возможности и проблемы. Взаимодействие энергетических ионов с материалами. Физико-химические процессы в низкотемпературной газоразрядной плазме. Процессы травления и очистки материалов с использованием НГП. Основы ионного травления, плазмохимического травления и ионно-химического травления материалов. Перспективы использования методов в технологиях производства электронной компонентной базы. Нанолитография: электронно-лучевая фотография (ЭЛЛ), ионно-лучевая литография (ИЛЛ), нанопечать, перьевая нанолитография; - саморегулирующиеся процессы: самосборка, самоорганизация на поверхности материала и в объеме.	2	2	16	20

5	Эпитаксия. Физические явления в гетероструктурах и приборные применения гетероструктур	Физические основы методов эпитаксиального выращивания пленок. Контроль качества эпитаксиальных пленок. Эпитаксиальные методы получения наноструктур. Методы молекулярно-пучковой эпитаксии, эпитаксии из металлоорганических соединений (металлоорганическая газофазная эпитаксия) и жидкостной эпитаксии – как технологические подходы получения гетероструктур. Две концептуальные парадигмы получения наноструктур – «сверху-вниз» и «снизу-вверх» (по работам Р. Феймана и Э. Дрекслера), механизмы роста гетероструктур в нанoeлектронике (островковый, послойный и промежуточный); стадии ростового процесса; фазирование растущей полупроводниковой пленки; учет поверхностной энергии при формировании устройств нанoeлектроники	-	-	16	16
6	Получение пленок методами термовакuumного испарения и ионно-плазменного распыления	Термическое вакуумное напыление. Распыление материалов ионной бомбардировкой. Катодное, ионно-плазменное, высокочастотное, магнетронное распыление. Многослойные контактные системы. Плоские и объемные выводы, методы их формирования. Методы контроля качества омических контактов, пути повышения надежности контактных систем.	-	-	16	16
7	Микроминиатюризация изделий микроэлектроники и нанoeлектроники	Физическое масштабирование полупроводниковых структур. Физические и параметрические ограничения при масштабировании элементов интегральных схем. Объекты нанoeлектроники. Пространственные масштабы нанoeлектроники. Общая структура нанoeлектронных приборов. Электронные устройства на наноструктурах.	-	-	16	16
8	Методы получения и устройства нанoeлектроники	Методы получения наночастиц и наноматериалов: химические методы; высокочастотный индукционный нагрев; импульсные лазерные методы; термолиз и катализ. Электронные устройства на наноструктурах: квантовый интерференционный транзистор; одноэлектронный транзистор; транзистор на горячих электронах; туннельно-резонансный диод и транзистор.	-	-	16	16
9	Технологический процесс сборки полупроводниковых ИМС	Термокомпрессионная сварка. Ультразвуковая сварка. Микроконтактная сварка. Выбор материала для формирования выводов. Способы и технологии формирования шариковых/столбиковых выводов на кристаллах/корпусах для сборки методом «flip-chip». Оборудование для формирования выводов. Конструкции корпусов. Материалы, используемые для изготовления корпусов: керамика, пластмасса, металл. Защита кристаллов от внешнего воздействия. Бескорпусная и корпусная герметизация.	-	-	16	16
10	Выходной контроль сборочных операций	Электро-термотренировка. Контроль электрических параметров полупроводниковых приборов. Методы контроля герметичности корпусов.	-	-	15	15
Всего			8	4	159	171
Контроль						9
Итого						180

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Анализ параметров АСМ-изображения.
2. Плазмохимическое травление кремния и оксида кремния
3. Микросборка ИМС
4. Измерение электрических характеристик полупроводниковых изделий

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Технология изделий электроники и нанoeлектроники» предусматривает выполнение курсового проекта в 7 семестре для очной формы обучения, в 9 семестре для заочной формы обучения

Примерная тематика курсового проекта

1. Расчет скорости роста эпитаксиального слоя кремния из парогазовой фазы.
2. Расчет распределения легирующей примеси при ее диффузии в полупроводниковую пластину и временной зависимости положения р-п перехода.
3. Расчет скорости роста и толщины эпитаксиального слоя при выращивании из раствора-расплава.
4. Расчет энергетических потерь ускоренных ионов в аморфном твердом теле.
5. Расчет среднего полного пробега ускоренных ионов в аморфном твердом теле.
6. Расчет среднего нормального пробега и страгглинга нормального пробега ускоренных ионов в аморфном твердом теле.
7. Расчет распределения ионно-имплантированных примесей в однородной мишени в приближении двух параметров.
8. Разрешающая способность, погрешности, искажения и артефакты в сканирующей зондовой микроскопии.
9. Контактное и бесконтактное формирование нанорельефа поверхности подложек.
10. Модификация свойств среды в зазоре между проводящим зондом и подложкой.

Учебным планом по дисциплине «Технология изделий электроники и наноэлектроники» не предусмотрено выполнение контрольных работ.

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-4	знать виды неисправностей, возникающих при монтаже и сборке, и способы их устранения;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы, выполнен курсовой проект	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	уметь проводить анализ электрофизических параметров изделия;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы, выполнен курсовой проект	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками выполнения сборки и монтажа микросборок, полупроводниковых приборов в соответствии с технической документацией.	Сдана теория, выполнены лабораторные работы, выполнен курсовой проект	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-6	знать физические закономерности, лежащие в основе методов, применяемых при изготовлении материалов и изделий электроники и нанoeлектроники;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы, выполнен курсовой проект	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения отдельных технологических операций;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы, выполнен курсовой проект	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть представлениями о возможностях перспективного технологического оборудования и методах контроля и анализа характеристик полученных структур.	Сдана теория, выполнены лабораторные работы, выполнен курсовой проект	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-7	знать основные технологические методы, применяемые при изготовлении материалов и изделий электроники и нанoeлектроники;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы, выполнен курсовой проект	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь использовать для выполнения отдельных операций стандартное технологическое оборудование;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы, выполнен курсовой проект	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть представлениями о перспективах и тенденциях развития технологии изделий электроники и нанoeлектроники.	Сдана теория, выполнены лабораторные работы, выполнен курсовой проект	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 в 7 семестре для очной формы обучения, в 9 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ПК-4	знать виды неисправностей, возникающих при монтаже и сборке, и способы их устранения;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь проводить анализ электрофизических параметров изделия;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	владеть навыками выполнения сборки и монтажа микросборок, полупроводниковых приборов в соответствии с технической документацией.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-6	знать физические закономерности, лежащие в основе методов, применяемых при изготовлении материалов и изделий электроники и нанoeлектроники;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения отдельных технологических операций;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть представлениями о возможностях перспективного технологического оборудования и методах контроля и анализа характеристик полученных структур.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-7	знать основные технологические методы, применяемые при изготовлении материалов и изделий электроники и нанoeлектроники;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь использовать для выполнения отдельных операций стандартное технологическое оборудование;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть представлениями о перспективах и тенденциях развития технологии изделий электроники и нанoeлектроники.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	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. Проецированным пробегом ионов в твердом теле называют:
 - а) полный путь иона;
 - б) проекция полного пути на направление первоначального движения иона (направление x);
 - в) проекция пути на направление y .
2. Максимум гауссианы распределения примеси при ионной имплантации расположен:
 - а) на поверхности;
 - б) на глубине R_p ;
 - в) на глубине $2 R$.
3. С увеличением энергии внедряемых ионов глубина залегания p - n перехода:
 - а) возрастает;

- б) не изменяется;
 - в) уменьшается.
4. С увеличением исходной концентрации внедряемой в полупроводник примеси глубина залегания p - n перехода:
- а) не изменяется;
 - б) возрастает;
 - в) уменьшается.
5. Чем отличается пробег ионов в монокристаллических мишенях от аналогичного пробега в аморфных:
- а) не отличается;
 - б) больше;
 - в) меньше.
6. Глубина залегания p - n перехода в монокристаллической подложке по сравнению с аморфной:
- а) увеличивается;
 - б) уменьшается;
 - в) не изменяется.
7. При низкотемпературном отжиге радиационных дефектов глубина залегания p - n перехода:
- а) не изменяется;
 - б) увеличивается;
 - в) уменьшается.
8. При высокотемпературном отжиге радиационных дефектов глубина залегания p - n перехода:
- а) не изменяется;
 - б) увеличивается;
 - в) уменьшается.
9. Рассеяние электронов в резисте приводит к изменению размера электронного луча:
- а) увеличивает;
 - б) уменьшает;
 - в) не изменяет.
10. Технология изготовления полупроводниковых ИС на кремниевой пластине называется:
- а) планарной;
 - б) гибридной;
 - в) тонкопленочной.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Рассчитать и построить графики температурной зависимости коэффициента диффузии в интервале температур от 300 К до точки плавления кремния: водорода, лития, железа, меди, галлия, золота, серы, серебра, кислорода.
2. Рассчитать и построить графики температурной зависимости коэффициента диффузии в интервале температур от 300 К до точки плавления

- в германии: лития, меди, серебра, золота, железа, кобальта, висмута, мышьяка.
3. Рассчитать и построить графики температурной зависимости коэффициента диффузии в интервале температур от 300 К до точки плавления арсениде галлия: меди, серебра, железа, кобальта, марганца.
 4. Рассчитать и построить графики температурной зависимости коэффициента диффузии в интервале температур от 300 К до точки плавления в кремнии: фосфора, мышьяка, олова, бора, алюминия, индия, галлия.
 5. Рассчитать и построить графики температурной зависимости коэффициента диффузии в интервале температур от 300 К до точки плавления в германии: фосфора, мышьяка, олова, бора, алюминия, индия, галлия.
 6. Рассчитать и построить графики температурной зависимости коэффициента диффузии в интервале температур от 300 К до точки плавления в арсениде галлия: кадмия, германия, мышьяка, серы, селена, галлия.
 7. Рассчитать и построить температурную зависимость собственного коэффициента диффузии фосфора в кремнии в интервале температур от 700 до 1200 °С
 8. Рассчитать и построить температурную зависимость коэффициента диффузии мышьяка $D_{As}(T)$ при низких уровнях легирования в диапазоне 1000 - 1200 °С при концентрациях 10^{17} , 10^{18} , 10^{19} см⁻³.
 9. Провести сравнительный анализ гистограмм в зависимости от метода обработки АСМ-изображения.
 10. Определить характерные размеры АСМ-изображения.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Технологические особенности эпитаксиального наращивания соединений типа A^3B^5 и твердых растворов на их основе.
2. Электронолитография.
3. Напайка. Технология получения паяных соединений.
4. Ленточный монтаж.
5. Структура МОП-транзистора с двойным затвором.
6. Материалы органической электроники
7. Виды корпусов, используемых для герметизации.
8. Плазмохимическая обработка подложек.
9. Использование нитрида кремния и оксидов металлов.
10. Рост эпитаксиальных пленок из газовой фазы.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Совершенствование подложек для СБИС.

2. Ионно-плазменная обработка подложек.
3. Системы с магнетронным распылением. Контроль качества поверхности.
4. Термическое окисление кремния.
5. Контроль качества защитных пленок.
6. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
7. Технология получения полупроводниковых сверхрешеток.
8. Тенденции развития эпитаксиальной технологии.
9. Контроль качества эпитаксиальных слоев.
10. Рентгенолитография.
11. Нанолитография.
12. Основные принципы и характеристики процесса ионного легирования.
13. Разделение пластин на кристаллы.
14. Монтаж кристалла на основание корпуса.
15. Методы контроля адгезионной прочности пленок с подложной.
16. Наклейка. Проводящие и непроводящие клеи.
17. Виды дефектов паяных соединений и причины их возникновения.
18. Методы присоединения выводов.
19. Способы контроля качества проволочного монтажа.
20. Способы и технологии формирования шариковых/столбиковых выводов на кристаллах/корпусах для сборки методом «flip-chip».
21. Основные технологические методы создания углеродных наноматериалов.
22. Технологические особенности формирования КНИ-транзисторов
23. Резонансно-туннельные диоды.
24. Жидкие кристаллы. Молекулярные сверхпроводники
25. Контроль качества герметизации пластмассовых корпусов.
26. Контроль качества герметизации полых (газонаполненных) корпусов.
27. Бескорпусная герметизация кристалла.
28. Методы контроля герметичности корпусов.
29. Контроль электрических параметров после проведения сборочных операций.
30. Операция электро-термотренировки.

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 «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 3 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 3 до 5 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 8 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 9 до 10 баллов.

При получении оценок «Отлично», «Хорошо» и «Удовлетворительно» 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	Основные тенденции развития микро- и нанoeлектроники в России и за рубежом	ПК-4, ПК-6, ПК-7	Тест-билет
2	Материалы микро- и нанoeлектроники	ПК-4, ПК-6, ПК-7	Тест-билет
3	Технологические основы микро- и нанoeлектроники	ПК-4, ПК-6, ПК-7	Тест-билет
4	Возможности, ограничения и перспективы развития литографических, плазменных и плазмохимических процессов производства	ПК-4, ПК-6, ПК-7	Тест-билет
5	Эпитаксия. Физические явления в гетероструктурах и приборные применения гетероструктур	ПК-4, ПК-6, ПК-7	Тест-билет
6	Получение пленок методами термовакuumного испарения и ионно-плазменного распыления	ПК-4, ПК-6, ПК-7	Тест-билет
7	Микроминиатюризация изделий микро-электроники и нанoeлектроники	ПК-4, ПК-6, ПК-7	Тест-билет
8	Методы получения и устройства нанoeлектроники	ПК-4, ПК-6, ПК-7	Тест-билет
9	Технологический процесс сборки полупроводниковых ИМС	ПК-4, ПК-6, ПК-7	Тест-билет
10	Выходной контроль сборочных операций	ПК-4, ПК-6, ПК-7	Тест-билет

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.

Защита курсового проекта осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. **Коледов Л.А.** Технология и конструкция 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

2. **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. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-0766-8. URL: <https://e.lanbook.com/book/167750>

3. **Липатов Г.И.** Технология материалов и изделий электронной техники: учеб. пособие. Ч. 1. / Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2005. – 142 с.

4. **Липатов Г.И.** Технология материалов и изделий электронной техники: учеб. пособие. Ч. 2. / Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2006. – 172 с.

5. **Липатов Г.И.** Технология материалов и изделий электронной техники: учеб. пособие. Ч. 3. / Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. – 227 с.

6. **Липатов Г.И.** Технология материалов и изделий электронной техники: учеб. пособие. Ч. 4. / Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. – 173 с.

7. **Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий:** 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

8. **Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем:** учеб. пособие: рекомендовано Учебно-методическим объединением. Ч. 2: Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / под общ. ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 422 с. - ISBN 978-5-94774-585-6 (Ч. 2). - ISBN 978-5-94774-583-2

9. **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>

Дополнительная литература

10. **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>

11. **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

12. **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.

13. **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.

14. **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.

15. **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

16. **Черняев В.Н.** Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров / В.Н. Черняев. - 2-е изд. - М.: Радио и связь, 1987. - 463 с.

17. **Методические указания к выполнению лабораторных работ № 3, 4 по курсу «Технология материалов и изделий электронной техники» для студентов специальности 210207 «Электронное машиностроение» очной формы обучения** / Каф. технологических и автоматизированных систем электронного машиностроения; Сост. Г.И. Липатов. - Воронеж : ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. - 37 с. (№ 87-2010)

18. **Методические указания к выполнению лабораторных работ № 5 - 7 по курсу «Технология материалов и изделий электронной техники» для студентов специальности 210207 «Электронное машиностроение» очной формы обучения** / Каф. технологических и автоматизированных систем электронного машиностроения; Сост. Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. - 36 с. (№ 88-2010)

20. ГОСТ 2.105-2019. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2019. – 35 с.

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>
- официальный сайт АО «ВЗПП-Сборка» <http://www.vzpp-s.ru>.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Специализированная аудитория для чтения лекций, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, находящаяся на территории профильного предприятия АО «Воронежский завод полупроводниковых приборов – Сборка» («ВЗПП-Сборка»), расположенного по адресу: г. Воронеж, Ленинский пр., 119-а.

2. Производственное оборудование для проведения лабораторных работ, находящееся на территории профильного предприятия АО «Воронежский завод полупроводниковых приборов – Сборка» («ВЗПП-Сборка»), расположенного по адресу: г. Воронеж, Ленинский пр., 119-а.

3. Дисплейный класс для 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: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);

компьютер-сборка каф.7;

компьютер-сборка каф.3;

компьютер в составе: (Н61/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;
огнетушитель.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Технология изделий электроники и нанoeлектроники» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия, выполняется курсовой проект.

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

Лабораторные занятия направлены на приобретение практических навыков работы на технологическом оборудовании. Занятия проводятся путем выполнения лабораторных работ на профильном предприятии АО «ВЗП-Сборка».

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

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта студенты должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится тестированием, защитой курсового проекта. Освоение дисциплины оценивается на экзамене.

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.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных, 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. Са-

	<p>самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:</p> <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.
Курсовой проект	<p>При выполнении курсового проекта студенты должны научиться правильно и творчески использовать знания, полученные ими на лекциях и лабораторных занятиях.</p> <p>Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> - осуществить поиск необходимой информации по теме проекта; - систематизировать найденную информацию; - осуществить обзор литературных источников по заданной теме; - выработать умения решать прикладные задачи <p>Курсовой проект включает в себя теоретическую и расчетную части.</p>
Подготовка к промежуточной аттестации	<p>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 экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

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