

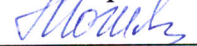
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Институт технологий и инженерной механики  
Кафедра микро- и нанoeлектроники

УТВЕРЖДАЮ

директор института технологий и  
инженерной механики

 Могильная Е.П.  
«18» 04 2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
«ПРОЦЕССЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИИ»

По направлению подготовки: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль «Электронные приборы и устройства»

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Процессы микро- и нанотехнологии» по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и микроэлектроника. – 41 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Процессы микро- и нанотехнологии» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и микроэлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19.09.2017 года № 927.

СОСТАВИТЕЛИ:

к.т.н., доцент Войтенко В.А.

к.т.н., доцент Войтенко Г.О.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры микро- и микроэлектроники «14» 09 2023 г., протокол № 9.

Заведующий кафедрой

микро- и микроэлектроники  Войтенко В. А.

Переутверждена: «  »    202   г., протокол №   .

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики «18» 04 2023 г., протокол № 3.

Председатель учебно-методической

комиссии института технологий и инженерной механики  С. Н. Ясуник

© Войтенко В.А., Войтенко Г.О., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

## 1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель дисциплины – изучение технологии электронных приборов и интегральных микросхем; основных наноматериалов, которые могут быть использованы в электронике и технологии их получения.

Задачи: ознакомление студентов с экспериментальными данными и теоретическими основами технологических методов диффузии, литографии, ионной имплантации, термического испарения, катодного распыления; изготовления межэлементных соединений и пассивных элементов, защитных пленок; сборки полупроводниковых приборов и интегральных микросхем; наблюдения и формирования наноструктур.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП ВО. Требования к условиям освоения содержания дисциплины

Дисциплина «Процессы микро- и нанотехнологии» относится к циклу профессиональных дисциплин.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знания основ специальности, физики и химии, технологических основ электроники; умения проводить измерения физических величин и обработку результатов измерений.

Содержание дисциплины основано на знаниях дисциплин «Основы отраслевых знаний», «Технологические основы электроники», «Специальные разделы физики (физика электронных и полупроводниковых приборов)», «Специальные разделы химии (химические основы технологии электронных средств)» и служит основой для освоения дисциплин «Проектирование интегральных микросхем», «Квантовая и оптическая электроника», «Физика низкоразмерных систем и процессы микро- и нанотехнологии».

## 3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ПК-5. Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	ПК-5.1. Знает принципы учета видов и объемов производственных работ. ПК-5.2. Умеет осуществлять регламентное обслуживание оборудования. ПК-5.3. Владеет навыками настройки высокотехнологичного оборудования в соответствии с правилами настройки и эксплуатации.	Знать: принципы учета видов и объемов производственных работ при выполнении фотолитографического процесса, ионных процессов, ионно-плазменного травления материалов, технологии изоляции компонентов интегральных наноструктур, формировании наноструктур токо- и

	<p>ПК-5.4. Владеет навыками выбора материалов и компонентов электроники.</p>	<p>светопроводящих систем, многотигельного и однотогильного испарения сплавов, технологии катодного распыления материалов, технологии получения ионно-легированных слоев;</p> <p>Уметь: осуществлять регламентное обслуживание технологического оборудования применяемого при производстве приборов и устройств электроники и наноэлектроники;</p> <p>Владеть: навыками расчета режимов диффузии, ионного легирования, травления; навыками настройки высокотехнологичного оборудования в соответствии с правилами настройки и эксплуатации; навыками работы с базами данных и электронными библиотеками при выборе материалов и компонентов электроники.</p>
<p>ПК-7. Способен осуществлять технологическое сопровождение производства изделий электроники и наноэлектроники</p>	<p>ПК-7.1. Знает методическую базу измерений параметров технологических процессов и тестирования изделий электроники и наноэлектроники.</p> <p>ПК-7.2. Умеет осуществлять поверку, настройку и калибровку изделий электроники и наноэлектроники.</p> <p>ПК-7.3. Владеет навыками метрологического сопровождения производства изделий электроники и наноэлектроники.</p>	<p>Знать: методическую базу измерений параметров технологических процессов и тестирования изделий электроники и наноэлектроники при изготовлении интегральных микросхем, контроле диффузионных слоев; методы контроля режимов ионной имплантации; методы контроля параметров термического испарения; методы контроля в технологии производства светодиодов; методы контроля структуры наноматериалов и нанокристаллических порошков; методы проверки, контроля и поверки технологического оборудования для реализации методов получения материалов и приборов электроники;</p>

		методическую базу и технологическое оборудование для производства интегральных микросхем;
		Уметь: осуществлять поверку, настройку и калибровку изделий электроники и наноэлектроники. задавать режимы работы установки для термического испарения в вакууме; проводить контроль параметров структур; проводить контроль диффузии примесей в подложку в вакуумной системе;
		Владеть: навыками метрологического сопровождения производства изделий электроники и наноэлектроники при использовании установки для термического испарения в вакууме, нанесении защитных слоев, анализе структуры поверхностного слоя полученного материала при помощи микроскопа.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### 4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
<b>Общая учебная нагрузка (всего)</b>	<b>252</b> (7 зач. ед)	<b>252</b> (7 зач. ед)
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b> <b>в том числе:</b>	<b>120</b>	<b>28</b>
Лекции	72	12
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	24	8
Лабораторные работы	24	8
Курсовой проект	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса ( <i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i> )	-	-

<b>Самостоятельная работа студента (всего)</b>		<b>132</b>	<b>224</b>
Форма аттестации	Семестр 7	экзамен	экзамен
	Семестр 8	зачет	зачет

## 4.2. Содержание разделов дисциплины

### Семестр 5

#### **Тема 1. Особенности производства интегральных микросхем. Литография в электронном производстве.**

Предмет и задачи курса «Процессы микро- и нанотехнологии». Место курса в процессе подготовки специалистов. Состояние и перспективы развития полупроводникового приборостроения, микро- и наноэлектроники. История возникновения и развития наноматериалов и нанотехнологий.

Особенности производства электронных приборов. Факторы, влияющие на технологический процесс. Литография в электронном производстве. Основные этапы фотолитографического процесса. Фоторезисты и их свойства. Технологические основы производства фотошаблонов.

Оптико-механический способ. Линзоворастровый способ. Способ генерирования изображения. Изготовление фотошаблонов. Контроль качества фотошаблонов. Контактная фотолитография. Система автоматизированного проектирования топологии интегральных схем. Рентгено- и электроннолитография.

#### **Тема 2. Получение структур методом диффузии.**

Получение структур методом диффузии. Диффузионные слои. Свободная и вынужденная диффузия. Законы диффузии.

Способы проведения диффузии. Техпроцесс диффузии в кремнии. Диффузия в соединениях  $A^{III}B^V$ .

#### **Тема 3. Диффузионные процессы при изготовлении интегральных микросхем. Контроль диффузионных слоев.**

Диффузионные процессы при изготовлении ИМС. Метод разделительной диффузии. Диффузионные резисторы. Диффузионные конденсаторы. Дефекты и методы контроля диффузионных структур. Образование дислокаций. Осаждение примесей. Геттерирование.

Измерение глубины залегания  $p$ - $n$ -перехода. Измерение поверхностного сопротивления. Определение поверхностной концентрации.

#### **Тема 4. Легирование структур с помощью ядерных реакций.**

Взаимодействие ускоренных заряженных частиц с поверхностью твердого тела. Реакции с участием заряженных частиц ( $p$  и  $\alpha$ ). Ядерные реакции под действием нейтронов.

#### **Тема 5. Получение структур методом ионной имплантации.**

Особенности ионных технологий. Ионно-плазменные процессы при переходе от микро- к наноразмерам. Взаимодействие ионов с остаточной атмосферой и поверхностью полупроводников.

Ионное стимулирование эпитаксии гетероструктур соединений  $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$  из металлоорганических соединений. Другие применения ионных нанотехнологий. Ионные процессы в технологии создания наноструктур. Взаимодействие ионных и плазменных потоков с поверхностью подложек.

#### **Тема 6. Ионные нанотехнологии.**

Ионные нанотехнологии и материалы. Ионная очистка поверхности. Ионное травление технологических слоев. Ионно-плазменное травление материалов. Плазмохимическое травление пленок. Реактивное распыление.

#### **Тема 7. Ионная имплантация.**

Формирование конфигурации наноэлементов ИС. Ионная имплантация. Энергетические соотношения. Основы теории легирования в «кристаллическую» и «аморфную» подложку. Дефектообразование.

#### **Тема 8. Технология и контроль качества ионно-легированных слоев.**

Технология получения ионно-легированных слоев. Высокочастотное диодное распыление. Триодное распыление. Методы контроля ионно-легированных слоев. Возможности ионной имплантации при создании полупроводниковых приборов и ИС. Изоляция компонентов интегральных наноструктур.

#### **Тема 9. Ионная имплантация для создания интегральных схем.**

Ионная имплантация для создания интегральных схем. Формирование наноструктур токо- и светопроводящих систем. Методы получения многокомпонентных нанослоев СБИС.

#### **Тема 10. Получение слоев методами термического испарения.**

Технологические особенности термического испарения материалов. Многотигельное испарение сплавов. Однотигельное испарение сплавов. Конденсация пара на подложке.

#### **Тема 11. Катодное распыление материалов.**

Катодное распыление материалов. Тлеющий разряд. Механизм распыления. Коэффициент распыления. Зависимость коэффициента распыления от угла падения ионов.

#### **Тема 12. Изготовление межэлементных соединений и пассивных элементов.**

Изготовление межэлементных соединений и контактов. Соединительная металлизация. Алюминиевые межсоединения. Невыпрямляющие контакты. Пассивные элементы интегральных микросхем. Тонкопленочные резисторы. Тонкопленочные конденсаторы.

### **Тема 13. Защитные диэлектрические пленки.**

Кинетика термического окисления. Термическое окисление кремния в парах воды. Термическое окисление кремния в сухом кислороде. Термическое окисление кремния во влажном кислороде.

### **Тема 14. Пленки нитрида кремния.**

Химическое осаждение пленок нитрида кремния. Реакция взаимодействия кремния с азотом. Реакция взаимодействия силана с аммиаком. Реакция взаимодействия тетрахлорида кремния с аммиаком. Реактивное катодное осаждение пленок нитрида кремния.

Контроль качества защитных диэлектрических пленок диоксида и нитрида кремния. Контроль толщины защитных диэлектрических пленок. Контроль пористости защитных диэлектрических пленок. Контроль качества дефектов на границе раздела кремний – защитная пленка.

### **Тема 15. Защита поверхности полупроводниковых пластин.**

Физические свойства поверхности. Защита веществами на основе кремнийорганических соединений и полимеров. Защита оксидными и нитридными пленками кремния. Защита пленками оксидов металлов. Защита пленками стекла.

Семестр 6

### **Тема 16. Изоляция областей ИМС.**

Стандартный метод разделительной диффузии. Коллекторная разделительная диффузия. Базовая изолирующая диффузия. Эпик-процесс. Модифицированный эпик-процесс. Позитивный метод изоляции. Метод повторного нанесения поликристаллического кремния. Изопланар. Эпипланар. Полипланар.

### **Тема 17. Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.**

Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Присоединение кристалла к основанию корпуса. Присоединение выводов. Герметизация кристалла.

### **Тема 18. Светодиоды и технология их производства.**

Принцип работы светодиодов. Конструкция светодиодов. Технология изготовления светодиодов. OLED-светодиоды.

### **Тема 19. Кристаллическое строение наноматериалов.**

Атомарная структура наноматериалов. Размерные эффекты. Кристаллическое строение. Наночастицы с гранецентрированной решеткой. Тетраэдрические полупроводниковые структуры. Ромбоэдрические структуры.



## **Тема 20. Методы наблюдения наноструктур.**

Методы наблюдения наноструктур. Определение размеров частиц. Метод рассеяния света. Масс-спектрометрический метод. Сканирующая микроскопия. Туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия.

Сканирующая микроскопия ближнего поля. Спектроскопия. Инфракрасная и рамановская спектроскопия. Фотоэмиссия и рентгеновская спектроскопия.

Дополнительные оптические и электромагнитные методы. Термография и метод Фурье-анализа инфракрасного света (FTIR). Флуоресцентная микроскопия (РИМ). Программируемый матричный микроскоп с двойным оптическим путем.

Рентгеновская микроскопия. Микроскопы, использующие мягкое рентгеновское излучение. Магнитный резонанс.

## **Тема 21. Свойства индивидуальных наночастиц.**

Свойства индивидуальных наночастиц. Различие между неорганической молекулой, наночастицей и объемным телом на основе количества атомов в кластере. Металлические нанокластеры. Магические числа. Теоретическое моделирование наночастиц. Геометрическая структура.

Электронная структура. Реакционная способность. Флуктуации. Магнитные кластеры. Переход от макро- к нано-.

## **Тема 22. Полупроводниковые наночастицы.**

Оптические свойства. Фотофрагментация. Кулоновский взрыв. Кластеры атомов редких газов и молекулярные кластеры. Кластеры инертных газов. Сверхтекучие кластеры. Молекулярные кластеры.

## **Тема 23. Методы синтеза наноструктур.**

Методы синтеза. Высокочастотный индукционный нагрев. Термолиз. Импульсные лазерные методы. Зондовые методы нанолитографии.

Метод локального зондового окисления. Физико-химические основы метода локального зондового окисления. Особенности создания электропроводящих зондов.

Кинетика процесса локального зондового окисления полупроводников и сверхтонких металлических пленок. Метод формирования диэлектрической пленки, модулированной по толщине. Использование локального зондового окисления для создания наноструктур и элементов наноэлектроники.

## **Тема 24. Нелитографические методы формирования поверхностных периодических наноструктур.**

Общие сведения о нелитографических методах формирования наноструктур. Литографические методы формирования поверхностных периодических наноструктур. Нелитографические методы создания периодических структур.

Самоорганизующиеся упорядоченные пористые материалы. Упорядоченные пористые материалы в технологии фотонных кристаллов.

Упорядоченный пористый анодный оксид алюминия. Получение и применение в нанотехнологии.

### **Тема 25. Определение структуры наноматериалов и получение нанокристаллических порошков.**

Определение структуры материала и размеров частиц. Структура поверхности. Просвечивающая электронная микроскопия. Ионно-полевая микроскопия. Сканирующая микроскопия. Газофазный синтез. Плазмохимический синтез.

### **Тема 26. Проблемы синтеза квантово-размерных структур.**

Химическое восстановление. Реакции в мицеллах, эмульсиях и дендримерах. Криохимический синтез. Термическое разложение и восстановление. Механосинтез. Детонационный синтез и электровзрыв. Синтез высокодисперсных оксидов в жидких металлах. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Кристаллизация аморфных сплавов.

### **Тема 27. Самоорганизация квантово-размерных структур.**

Экспериментальное изучение физических свойств квантово-размерных структур. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений. Методы нанолитографии. Самоорганизация квантовых точек и нитей. Режимы роста гетероэпитаксиальных структур. Рост наноструктур на фасетированных поверхностях.

## **4.3. Лекции**

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
	Семестр 5		
1	Особенности производства интегральных микросхем. Литография в электронном производстве.	2	1
2	Получение структур методом диффузии.	2	-
3	Диффузионные процессы при изготовлении интегральных микросхем. Контроль диффузионных слоев	2	1
4	Легирование структур с помощью ядерных реакций	2	-
5	Получение структур методом ионной имплантации.	2	-
6	Ионные нанотехнологии.	2	1
7	Ионная имплантация	2	-
8	Технология и контроль качества ионно-легированных слоев.	2	-
9	Ионная имплантация для создания интегральных схем.	2	1
10	Получение слоев методами термического испарения.	2	-
11	Катодное распыление материалов.	2	-
12	Изготовление межэлементных соединений и пассивных элементов	2	-
13	Защитные диэлектрические пленки.	2	-
14	Пленки нитрида кремния.	2	-
15	Защита поверхности полупроводниковых пластин.	2	-
	Семестр 6		
16	Изоляция областей ИМС.	2	1

17	Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.	4	1
18	Светодиоды и технология их производства.	4	1
19	Кристаллическое строение наноматериалов.	4	-
20	Методы наблюдения наноструктур.	2	1
21	Свойства индивидуальных наночастиц.	4	1
22	Полупроводниковые наночастицы.	4	-
23	Методы синтеза наноструктур.	2	1
24	Нелиитографические методы формирования поверхностных периодических наноструктур.	4	1
25	Определение структуры наноматериалов и получение нанокристаллических порошков	4	-
26	Проблемы синтеза квантово-размерных структур	4	1
27	Самоорганизация квантово-размерных структур	4	-
<b>Итого:</b>		<b>72</b>	<b>12</b>

#### 4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
	Семестр 5		
1	Оборудование и методы ионного легирования для получения п-р-п и р-п-р-структур.	4	1
2	Особенности производства интегральных микросхем. Литография в электронном производстве. Получение структур методом диффузии.	2	-
3	Расчет режимов имплантации для создания п-р-п структуры	4	1
4	Диффузионные процессы при изготовлении интегральных микросхем. Контроль диффузионных слоев. Легирование структур с помощью ядерных реакций. Получение структур методом ионной имплантации.	2	-
5	Ионные нанотехнологии. Ионная имплантация. Технология и контроль качества ионно-легированных слоев. Ионная имплантация для создания интегральных схем.	2	1
6	Получение слоев методами термического испарения. Катодное распыление материалов. Изготовление межэлементных соединений и пассивных элементов.	3	1
7	Семестр 6		
	Расчет температурной зависимости коэффициентов диффузии примесей в кремнии	2	1
8	Светодиоды и технология их производства. Кристаллическое строение наноматериалов. Методы наблюдения наноструктур.	2	-
9	Расчет параметров процесса изготовления ИМС.	2	1
10	Свойства индивидуальных наночастиц. Полупроводниковые наночастицы	2	-
11	Методы синтеза наноструктур. Нелиитографические методы формирования поверхностных периодических наноструктур.	2	1
12	Определение структуры наноматериалов и получение нанокристаллических порошков. Проблемы синтеза квантово-размерных структур.	3	1
<b>Итого:</b>		<b>24</b>	<b>8</b>

#### 4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
	Семестр 5		
1	Получение слоев сурьмы методом термического испарения.	4	1
2	Исследование процесса диффузии сурьмы в висмуте.	4	1
3	Исследование технологического процесса фотолитографии.	4	1
4	Изучение процесса изготовления толстых пленок на диэлектрической подложке	4	1
	Семестр 6		
5	Измерение КПД термоэлектрического холодильника.	4	2
6	Технология изготовления термоэлектрических преобразователей энергии	2	2
7	Технология изготовления светодиодов.	2	-
<b>Итого:</b>		<b>24</b>	<b>8</b>

#### 4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
	Семестр 5			
1	Особенности производства интегральных микросхем. Литография в электронном производстве. Получение структур методом диффузии.	Подготовка к практическим занятиям	2	10
		Подготовка к тестированию	2	10
2	Получение слоев сурьмы методом термического испарения. Исследование процессов диффузии, фотолитографии и получения р-п-перехода.	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	4	10
3	Диффузионные процессы при изготовлении интегральных микросхем. Контроль диффузионных слоев. Легирование структур с помощью ядерных реакций. Получение структур методом ионной имплантации.	Подготовка к практическим занятиям	6	10
		Подготовка к тестированию	4	10
4	Ионные нанотехнологии. Ионная имплантация. Технология и контроль качества ионно-легированных слоев. Ионная имплантация для создания интегральных схем.	Подготовка к практическим занятиям	4	10
		Подготовка к тестированию	4	12
5	Получение слоев методами термического испарения. Катодное распыление материалов. Изготовление межэлементных соединений и пассивных элементов.	Подготовка к практическим занятиям	4	12
		Подготовка к тестированию	4	12

6	Экзамен по дисциплине	Подготовка к семестровому экзамену	36	36
	Семестр 6			
7	Защитные диэлектрические пленки. Пленки нитрида кремния. Защита поверхности полупроводниковых пластин.	Подготовка к практическим занятиям	7	10
		Подготовка к тестированию	8	10
8	Получение защитных пленок, металлических контактов, сборка полупроводниковых приборов.	Подготовка к лабораторным работам и оформлению отчетов	8	10
9	Изоляция областей ИМС. Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Светодиоды и технология их производства.	Подготовка к практическим занятиям	5	10
		Подготовка к тестированию	8	10
10	Кристаллическое строение наноматериалов. Методы наблюдения наноструктур. Свойства индивидуальных наночастиц.	Подготовка к практическим занятиям	5	10
		Подготовка к тестированию	8	10
11	Полупроводниковые наночастицы. Методы синтеза наноструктур. Нелитографические методы формирования поверхностных периодических наноструктур.	Подготовка к практическим занятиям	5	10
		Подготовка к тестированию	8	12
<b>Итого:</b>			<b>132</b>	<b>224</b>

#### 4.7. Курсовые работы/проекты

Учебным планом не предусмотрено выполнение студентами курсового проекта.

#### 5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и предполагающие последовательное и целенаправленное выдвижение перед студентом познавательных задач, разрешение которых позволяет студентам активно усваивать знания (используются поисковые методы; постановка познавательных задач);

технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;

технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки;

технологии модульного обучения, дающие возможность обеспечения гибкости процесса обучения, адаптации его к индивидуальным потребностям и особенностям обучающихся (применяются, как правило, при самостоятельном обучении студентов по индивидуальному учебному плану);

технологии дифференцированного обучения, обеспечивающие возможность создания оптимальных условий для развития интересов и способностей студентов, в том числе и студентов с особыми образовательными потребностями, что позволяет реализовать в культурно-образовательном пространстве университета идею создания равных возможностей для получения образования;

технологии активного (контекстного) обучения, с помощью которых осуществляется моделирование предметного, проблемного и социального содержания будущей профессиональной деятельности студентов (используются активные и интерактивные методы обучения) и т.д.

Максимальная эффективность педагогического процесса достигается путем конструирования оптимального комплекса педагогических технологий и (или) их элементов на личностно-ориентированной, деятельностной, диалогической основе и использования необходимых современных средств обучения.

## **6. Формы контроля освоения дисциплины**

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем(ями), ведущими лабораторные работы и практические занятия по дисциплине, в следующих формах:

- контрольные вопросы к курсовой работе;
- вопросы к лабораторным работам;
- тесты;
- вопросы к экзамену и зачету.

Фонды оценочных средств, включающие контрольные вопросы, вопросы коллоквиумов, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты текущей и промежуточной аттестации обучающихся по данной дисциплине, помещаются в приложении к рабочей программе в соответствии с «Положением о фонде оценочных средств».

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины проходит в форме устного экзамена (включает в себя ответ на теоретические вопросы), а в 6 семестре обучения – в форме зачета. Студенты, выполнившие 75 % текущих и контрольных мероприятий на «отлично», а остальные 25 % на «хорошо», имеют право на получение итоговой отличной оценки.

В 5 семестре обучения в экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по национальной шкале, приведенной в таблице.

Характеристика знания предмета и ответов	Экзамены
Обучающийся глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	отлично (5)
Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	хорошо (4)
Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.	удовлетворительно (3)
Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы	неудовлетворительно (2)

В 6 семестре обучения в экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по национальной шкале, приведенной в таблице.

Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
Обучающийся глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	зачтено
Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	
Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.	
Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и	не зачтено

## 7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины

### а) Основная литература:

1. Королёв М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: в 2 ч. Ч. 1: Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование [Электронный ресурс] / М.А. Королёв [и др.]; под общей ред. чл.-корр. РАН проф. Ю.А. Чаплыгина. - 3-е изд. (эл.). - М.: БИНОМ, 2015. - 400 с. - ISBN 978-5-9963-2904-5 - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996329045.html>

2. Барыбин А.А. Физико-технологические основы макро-, микро- и наноэлектроники [Электронный ресурс] / Барыбин А.А., Томилин В.И., Шаповалов В.И. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 784 с. - ISBN 978-5-9221-1321-2 - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113212.html>

### б) Дополнительная литература:

1. Келсалл Р. Научные основы нанотехнологий и новые приборы [Электронный ресурс]: Учебник-монография / Под ред. Келсалл Р. - Долгопрудный: Интеллект, 2011. - 528 с. ISBN 978-5-91559-048-8 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/319358>

2. Зевайль А. Трехмерная электронная микроскопия в реальном времени [Электронный ресурс]: Учебное пособие / А. Зевайль, Д. Томас; Пер. с англ. А.В. Сухова. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 328 с.: ил.; 60x90 1/16. (обложка) ISBN 978-5-91559-102-7 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/438915>

3. Капустин В.И. Материаловедение и технологии электроники [Электронный ресурс]: Учебное пособие / В.И. Капустин, А.С. Сигов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 427 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-16-008966-9 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/416461>

4. Мишина Е.Д. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Мишина Е.Д., - 5-е изд., (эл.) - М.: Лаборатория знаний, 2017. - 187 с.: ISBN 978-5-00101-473-7 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/502584>

### в) Методические рекомендации/указания:

1. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Основы технологии электронной компонентной базы» (для студентов, обучающихся по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиль 11.03.04.02 «Электронные приборы и устройства») / Сост.: Г.О. Войтенко, В.А. Войтенко. – Луганск: Изд-во ГОУВПО «Луганский государственный университет им. В. Даля», 2016. – 44 с.



2. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Технология полупроводниковых приборов и интегральных микросхем» (для студентов, обучающихся по направлению 6.050801 «Микро- и наноэлектроника») / Сост.: Кожемякин Г.Н. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2014 – 21 с.

3. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине “Технология полупроводниковых приборов и интегральных микросхем” (для студентов направления “Микро- и наноэлектроника”) / Сост.: Г.Н. Кожемякин. - Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2014 – 28 с.

г) Интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>

Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Далевский педагогический портал – <http://ped.dahluniver.ru/>

**Электронные библиотечные системы и ресурсы**

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Университетская библиотека On-line – <http://www.biblioclub.ru>

Научная электронная библиотека eLIBRARY – <http://elibrary.ru>

**Информационный ресурс библиотеки образовательной организации**

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

**Научные журналы**

"GNU Scientific Library" (GSL - библиотека для научных вычислений проекта GNU): <http://www.gnu.org/software/gsl>.

Система схемотехнического моделирования LTSpice IV. Краткое руководство: <http://zpostbox.ru/ltspice.html>.

Электронные компоненты: <http://www.elitan.ru/>.

Навигатор по профессиональным электронным ресурсам – [http://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/nav\\_ei.htm](http://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/nav_ei.htm)

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лекционные занятия проводятся с использованием комплекта электронных презентаций в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук).

Лабораторные работы проводятся с использованием некомпьютеризированных и компьютеризированных лабораторных стендов, установки для вакуумного напыления, пакета специализированных компьютерных программ, компьютерной математической среды MATLAB.

Рабочие места преподавателя и студентов в учебной лаборатории оснащены компьютерами с доступом в Интернет, предназначенными для работы в указанных специализированных компьютерных программах и средах.

Программное обеспечение:

<b>Функциональное назначение</b>	<b>Бесплатное программное обеспечение</b>	<b>Ссылки</b>
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	<a href="https://www.libreoffice.org/">https://www.libreoffice.org/</a> <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice">https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice</a>
Операционная система	UBUNTU 19.04	<a href="https://ubuntu.com/">https://ubuntu.com/</a> <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu">https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu</a>
Браузер	Firefox Mozilla	<a href="http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx">http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx</a>
Браузер	Opera	<a href="http://www.opera.com">http://www.opera.com</a>
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	<a href="http://www.mozilla.org/ru/thunderbird">http://www.mozilla.org/ru/thunderbird</a>
Файл-менеджер	Far Manager	<a href="http://www.farmanager.com/download.php">http://www.farmanager.com/download.php</a>
Архиватор	7Zip	<a href="http://www.7-zip.org/">http://www.7-zip.org/</a>
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	<a href="http://www.gimp.org/">http://www.gimp.org/</a> <a href="http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8">http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8</a> <a href="http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP">http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP</a>
Редактор PDF	PDFCreator	<a href="http://www.pdfforge.org/pdfcreator">http://www.pdfforge.org/pdfcreator</a>
Аудиоплеер	VLC	<a href="http://www.videolan.org/vlc/">http://www.videolan.org/vlc/</a>

## 8. Оценочные средства по дисциплине

### Паспорт

фонда оценочных средств по учебной дисциплине

«Процессы микро- и нанотехнологии»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ПК-5	Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	ПК-5.1. ПК-5.2. ПК-5.3.	Тема 1 Особенности производства интегральных микросхем. Литография в электронном производстве	1
				Тема 2 Получение структур методом диффузии	1
				Тема 3 Диффузионные процессы при изготовлении интегральных микросхем. Контроль диффузионных слоев	1
				Тема 4 Легирование структур с помощью ядерных реакций	1
				Тема 5 Получение структур методом ионной имплантации	1
				Тема 6 Ионные нанотехнологии	1
				Тема 7 Ионная имплантация	1
				Тема 8 Технология и контроль качества ионно-легированных слоев	1

			Тема 9 Ионная имплантация для создания интегральных схем	1
			Тема 10 Получение слоев методами термического испарения	1
			Тема 11 Катодное распыление материалов	1
			Тема 12 Изготовление межэлементных соединений и пассивных элементов	1
			Тема 13 Защитные диэлектрические пленки	1
			Тема 14 Пленки нитрида кремния	1
			Тема 15 Защита поверхности полупроводниковых пластин	1
			Тема 16 Изоляция областей ИМС	1
			Тема 17 Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем	1
			Тема 18 Светодиоды и технология их производства	2
			Тема 19 Кристаллическое строение наноматериалов	2
			Тема 20 Методы наблюдения наноструктур	2
			Тема 21 Свойства индивидуальных наночастиц	2
			Тема 22 Полупроводниковые наночастицы	2
			Тема 23 Методы синтеза наноструктур	2

				Тема 24 Нелиитографические методы формирования поверхностных периодических наноструктур	2
				Тема 25 Определение структуры наноматериалов и получение нанокристаллическ их порошков	2
				Тема 26 Проблемы синтеза квантово- размерных структур	2
				Тема 27 Самоорганизация квантово- размерных структур	2
2.	ПК-7	Способен осуществлять технологическо е сопровождение производства изделий электроники и наноэлектроник и	ПК-7.1. ПК-7.2. ПК-7.3.	Тема 1 Особенности производства интегральных микросхем. Литография в электронном производстве	1
				Тема 2 Получение структур методом диффузии	1
				Тема 3 Диффузионные процессы при изготовлении интегральных микросхем. Контроль диффузионных слоев	1
				Тема 4 Легирование структур с помощью ядерных реакций	1
				Тема 5 Получение структур методом ионной имплантации	1
				Тема 6 Ионные нанотехнологии	1
				Тема 7 Ионная имплантация	1

			Тема 8 Технология и контроль качества ионно-легированных слоев	1
			Тема 9 Ионная имплантация для создания интегральных схем	1
			Тема 10 Получение слоев методами термического испарения	1
			Тема 11 Катодное распыление материалов	1
			Тема 12 Изготовление межэлементных соединений и пассивных элементов	1
			Тема 13 Защитные диэлектрические пленки	1
			Тема 14 Пленки нитрида кремния	1
			Тема 15 Защита поверхности полупроводниковых пластин	1
			Тема 16 Изоляция областей ИМС	1
			Тема 17 Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем	1
			Тема 18 Светодиоды и технология их производства	2
			Тема 19 Кристаллическое строение наноматериалов	2
			Тема 20 Методы наблюдения наноструктур	2
			Тема 21 Свойства индивидуальных наночастиц	2

				Тема 22 Полупроводниковые наночастицы	2
				Тема 23 Методы синтеза наноструктур	2
				Тема 24 Нелиитографические методы формирования поверхностных периодических наноструктур	2
				Тема 25 Определение структуры наноматериалов и получение нанокристаллических порошков	2
				Тема 26 Проблемы синтеза квантово-размерных структур	2
				Тема 27 Самоорганизация квантово-размерных структур	2
				Тема 7 Ионная имплантация	1
				Тема 10 Получение слоев методами термического испарения	1
				Тема 15 Защита поверхности полупроводниковых пластин	1

### Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижения компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства

1.	ПК-5	ПК-5.1. ПК-5.2. ПК-5.3.	<p>Знать: принципы учета видов и объемов производственных работ при выполнении фотолитографического процесса, ионных процессов, ионно-плазменного травления материалов, технологии изоляции компонентов интегральных наноструктур, формирования наноструктур токо- и светопроводящих систем, многотигельного и однитигельного испарения сплавов, технологии катодного распыления материалов, технологии получения ионно-легированных слоев;</p> <p>Уметь: осуществлять регламентное обслуживание технологического оборудования применяемого при производстве приборов и устройств электроники и наноэлектроники;</p> <p>Владеть: навыками расчета режимов диффузии, ионного легирования, травления; навыками настройки высокотехнологичного оборудования в соответствии с правилами настройки и</p>	<p>Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11, Тема 12, Тема 13, Тема 14, Тема 15, Тема 16, Тема 17, Тема 18, Тема 19, Тема 20, Тема 21, Тема 22, Тема 23, Тема 24, Тема 25, Тема 26, Тема 27, Практическое занятие 1, Практическое занятие 2, Лабораторная работа 1, Курсовая работа по теме: разработка технологического процесса изготовления интегральной микросхемы с использованием физико-математических моделей технологических процессов и специальных программ для моделирования технологических процессов микроэлектрони</p>	<p>Контрольные вопросы к курсовой работе, вопросы к лабораторным работам, тесты, вопросы зачету, вопросы к экзамену</p>
----	------	-------------------------------	---	---	---



			эксплуатации; навыками работы с базами данных и электронными библиотеками при выборе материалов и компонентов электроники.	ки в среде MatLab.	
2.	ПК-7	ПК-7.1. ПК-7.2. ПК-7.3.	Знать: методическую базу измерений параметров технологических процессов и тестирования изделий электроники и наноэлектроники при изготовлении интегральных микросхем, контроле диффузионных слоев; методы контроля режимов ионной имплантации; методы контроля параметров термического испарения; методы контроля в технологии производства светодиодов; методы контроля структуры наноматериалов и нанокристаллических порошков; методы проверки, контроля и поверки технологического оборудования для реализации методов получения материалов и приборов электроники; Уметь: осуществлять поверку, настройку и калибровку	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11, Тема 12, Тема 13, Тема 14, Тема 15, Тема 16, Тема 17, Тема 18, Тема 19, Тема 20, Тема 21, Тема 22, Тема 23, Тема 24, Тема 25, Тема 26, Тема 27, Практическое занятие 3, Практическое занятие 4, Лабораторная работа 2, Курсовая работа по теме: разработка технологического процесса изготовления интегральной микросхемы с использованием физико-математических моделей технологических процессов и	Контрольные вопросы к курсовой работе, вопросы к лабораторным работам, тесты, вопросы зачету, вопросы к экзамену

			изделий электроники и нанoeлектроники. задавать режимы работы установки для термического испарения в вакууме; проводить контроль параметров структур; проводить контроль диффузии примесей в подложку в вакуумной системе; Владеть: навыками метрологического сопровождения производства изделий электроники и нанoeлектроники при использовании установки для термического испарения в вакууме, нанесении защитных слоев, анализе структуры поверхностного слоя полученного материала при помощи микроскопа.	специальных программ для моделирования технологических процессов микроэлектроник и в среде MatLab.	
--	--	--	--	--	--

### **Фонды оценочных средств по дисциплине «Процессы микро- и нанотехнологии»**

#### **Контрольные вопросы курсовой работе:**

1. Перечислите основные этапы фотолитографического процесса.
2. Что такое фоторезист?
3. Для чего применяют фотошаблоны?
4. В чем сущность оптико-механического способа литографии?
5. В чем сущность линзоворастрового способа литографии?
6. В чем сущность способа генерирования изображения?
7. Как изготавливают фотошаблонов?
8. Что представляет собой контактная фотолитография?
9. В чем сущность рентгено- и электроннолитографии?
10. Что такое свободная и вынужденная диффузия?
11. Сформулируйте законы диффузии.
12. Какие вы знаете способы проведения диффузии?

13. Как происходит техпроцесс диффузии в кремнии?
14. Как происходит диффузия в соединениях  $A^{III}B^V$ ?
15. В чем сущность метода разделительной диффузии?
16. Какие существуют методы контроля диффузионных структур?
17. Как образуются дислокации?
18. Как происходит осаждение примесей?
19. Что понимают под геттерированием?
20. Как проводят измерение глубины залегания p-n-перехода?
21. Как проводят измерение поверхностного сопротивления?
22. Как определяют поверхностную концентрацию?
23. Как происходит взаимодействие ускоренных заряженных частиц с поверхностью твердого тела?
24. Каковы особенности ионных технологий?
25. Как меняются ионно-плазменные процессы при переходе от микро- к наноразмерам?
26. Как происходит взаимодействие ионов с остаточной атмосферой и поверхностью полупроводников?
27. Как проводят ионное стимулирование эпитаксии гетероструктур соединений  $A^{III}B^V$  из металлоорганических соединений?
28. Каковы особенности ионных процессов в технологии создания наноструктур?
29. Как происходит взаимодействие ионных и плазменных потоков с поверхностью подложек?
30. Как проводят ионную очистку поверхности?
31. Как проводят ионное травление технологических слоев?
32. Как проводят ионно-плазменное травление материалов?
33. Как проводят плазмохимическое травление пленок?
34. Как проводят реактивное распыление?
35. Как происходит формирование конфигурации наноэлементов ИС?
36. Как происходит дефектообразование?
37. Какова технология получения ионно-легированных слоев?
38. Как происходит процесс высокочастотного диодного распыления?
39. Как происходит процесс триодного распыления?
40. Перечислите методы контроля ионно-легированных слоев.
41. Каковы возможности ионной имплантации при создании полупроводниковых приборов и ИС?
42. Как реализуют изоляцию компонентов интегральных наноструктур?
43. Как происходит формирование наноструктур токо- и светопроводящих систем?
44. Перечислите методы получения многокомпонентных нанослоев СБИС.
45. Каковы технологические особенности термического испарения материалов?
46. Как происходит процесс многотигельного испарения сплавов?
47. Как происходит процесс однотогельного испарения сплавов?
48. Как происходит катодное распыление материалов?
49. Что такое тлеющий разряд?

50. Что называют коэффициентом распыления? Какова зависимость коэффициента распыления от угла падения ионов?
51. Как изготавливают межэлементные соединения и контакты?
52. Какова кинетика термического окисления?
53. Как происходит термическое окисление кремния в парах воды?
54. Как происходит термическое окисление кремния в сухом кислороде?
55. Как происходит термическое окисление кремния во влажном кислороде?
56. Как происходит химическое осаждение пленок нитрида кремния?
57. Как проводят контроль качества защитных диэлектрических пленок диоксида и нитрида кремния?
58. Как происходит контроль толщины защитных диэлектрических пленок?
59. Как происходит контроль пористости защитных диэлектрических пленок?
60. Как происходит контроль качества дефектов на границе раздела кремний – защитная пленка?
61. Каковы физические свойства поверхности? Каковы способы защиты поверхности?
62. В чем суть стандартного метода разделительной диффузии?
63. Что такое эпик-процесс? Модифицированный эпик-процесс?
64. В чем суть позитивного метода изоляции?
65. В чем суть метода повторного нанесения поликристаллического кремния?
66. Что такое изопланар? Эпипланар? Полипланар?
67. Как происходит сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем?
68. Каков принцип работы светодиодов?
69. Какова технология изготовления светодиодов?
70. OLED-светодиоды.
71. Как проводят теоретическое моделирование наночастиц?
72. Что такое магнитные кластеры?
73. Полупроводниковые наночастицы. Оптические свойства.
74. Каковы физико-химические основы метода локального зондового окисления?
75. Каковы особенности создания электропроводящих зондов?
76. Как проводят экспериментальное изучение физических свойств квантово-размерных структур?

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольные вопросы к курсовой работе

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ представлен на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией)
4	Ответ представлен на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности)
3	Ответ представлен на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не

	владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией)
2	Ответ представлен на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов отвечать)

### Вопросы к лабораторным работам:

1. Особенности производства электронных приборов. Факторы, влияющие на технологический процесс.
2. Литография в электронном производстве. Основные этапы фотолитографического процесса.
3. Фоторезисты и их свойства.
4. Технологические основы производства фотошаблонов.
5. Оптико-механический способ.
6. Линзово-растровый способ.
7. Способ генерирования изображения.
8. Изготовление фотошаблонов.
9. Контактная фотолитография.
10. Система автоматизированного проектирования топологии интегральных схем.
11. Рентгено- и электроннолитография.
12. Получение структур методом диффузии. Диффузионные слои.
13. Свободная и вынужденная диффузия.
14. Законы диффузии.
15. Способы проведения диффузии.
16. Техпроцесс диффузии в кремнии.
17. Диффузия в соединениях АШВУ.
18. Диффузионные процессы при изготовлении ИМС.
19. Метод разделительной диффузии.
20. Диффузионные резисторы.
21. Диффузионные конденсаторы.
22. Дефекты и методы контроля диффузионных структур.
23. Образование дислокаций.
24. Осаждение примесей.
25. Геттерирование.
26. Измерение глубины залегания р-п-перехода.
27. Измерение поверхностного сопротивления.
28. Определение поверхностной концентрации.
29. Взаимодействие ускоренных заряженных частиц с поверхностью твердого тела.
30. Реакции с участием заряженных частиц ( $\beta$  и  $\alpha$ ).
31. Ядерные реакции под действием нейтронов.
32. Особенности ионных технологий.
33. Ионно-плазменные процессы при переходе от микро- к наноразмерам.
34. Взаимодействие ионов с остаточной атмосферой и поверхностью полупроводников.

- 35.Ионное стимулирование эпитаксии гетероструктур соединений  $A^{III}B^V$  из металлоорганических соединений.
- 36.Ионные процессы в технологии создания наноструктур.
- 37.Взаимодействие ионных и плазменных потоков с поверхностью подложек.
- 38.Ионные нанотехнологии и материалы.
- 39.Ионная очистка поверхности.
- 40.Ионное травление технологических слоев.
- 41.Ионно-плазменное травление материалов.
- 42.Плазмохимическое травление пленок.
- 43.Реактивное распыление.
- 44.Формирование конфигурации наноэлементов ИС. Ионная имплантация.
- 45.Основы теории легирования в «кристаллическую» и «аморфную» подложку.
- 46.Дефектообразование.
- 47.Технология получения ионно-легированных слоев.
- 48.Высокочастотное диодное распыление.
- 49.Триодное распыление.
- 50.Методы контроля ионно-легированных слоев.
- 51.Возможности ионной имплантации при создании полупроводниковых приборов и ИС.
- 52.Изоляция компонентов интегральных наноструктур.
- 53.Ионная имплантация для создания интегральных схем.
- 54.Формирование наноструктур токо- и светопроводящих систем.
- 55.Методы получения многокомпонентных нанослоев СБИС.
- 56.Технологические особенности термического испарения материалов.
- 57.Многотигельное испарение сплавов.
- 58.Однотигельное испарение сплавов.
- 59.Конденсация пара на подложке.
- 60.Катодное распыление материалов. Тлеющий разряд.
- 61.Коэффициент распыления. Зависимость коэффициента распыления от угла падения ионов.
- 62.Изготовление межэлементных соединений и контактов.
- 63.Соединительная металлизация.
- 64.Алюминиевые межсоединения.
- 65.Невыпрямляющие контакты.
- 66.Пассивные элементы интегральных микросхем.
- 67.Тонкопленочные резисторы.
- 68.Тонкопленочные конденсаторы.
- 69.Кинетика термического окисления.
- 70.Термическое окисление кремния в парах воды.
- 71.Термическое окисление кремния в сухом кислороде.
- 72.Термическое окисление кремния во влажном кислороде.
- 73.Химическое осаждение пленок нитрида кремния.
- 74.Реакция взаимодействия кремния с азотом.
- 75.Реакция взаимодействия силана с аммиаком.
- 76.Реакция взаимодействия тетрахлорида кремния с аммиаком.

77. Реактивное катодное осаждение пленок нитрида кремния.
78. Контроль качества защитных диэлектрических пленок диоксида и нитрида кремния.
79. Контроль толщины защитных диэлектрических пленок.
80. Контроль пористости защитных диэлектрических пленок.
81. Контроль качества дефектов на границе раздела кремний – защитная пленка.
82. Физические свойства поверхности.
83. Защита веществами на основе кремнийорганических соединений и полимеров.
84. Защита оксидными и нитридными пленками кремния.
85. Защита пленками оксидов металлов.
86. Защита пленками стекла.
87. Стандартный метод разделительной диффузии. Коллекторная разделительная диффузия.
88. Базовая изолирующая диффузия.
89. Эпик-процесс.
90. Модифицированный эпик-процесс.
91. Позитивный метод изоляции.
92. Метод повторного нанесения поликристаллического кремния.
93. Изопланар. Эпипланар. Полипланар.
94. Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.
95. Присоединение кристалла к основанию корпуса.
96. Присоединение выводов.
97. Герметизация кристалла.
98. Принцип работы светодиодов. Конструкция светодиодов.
99. Технология изготовления светодиодов.
100. OLED-светодиоды.
101. Атомарная структура наноматериалов. Размерные эффекты.
102. Кристаллическое строение. Наночастицы с гранецентрированной решеткой.
103. Тетраэдрические полупроводниковые структуры.
104. Ромбоэдрические структуры.
105. Метод рассеяния света.
106. Масс-спектрометрический метод.
107. Сканирующая микроскопия.
108. Туннельная микроскопия.
109. Атомно-силовая микроскопия.
110. Сканирующая микроскопия ближнего поля.
111. Спектроскопия.
112. Инфракрасная и рамановская спектроскопия.
113. Фотоэмиссия и рентгеновская спектроскопия.
114. Термография и метод Фурье-анализа инфракрасного света (FTIR).
115. Флуоресцентная микроскопия (РИМ).
116. Программируемый матричный микроскоп с двойным оптическим путем.

117. Рентгеновская микроскопия. Микроскопы, использующие мягкое рентгеновское излучение.
118. Магнитный резонанс.
119. Свойства индивидуальных наночастиц.
120. Различие между неорганической молекулой, наночастицей и объемным телом на основе количества атомов в кластере.
121. Металлические нанокластеры.
122. Теоретическое моделирование наночастиц.
123. Электронная структура. Реакционная способность. Флуктуации.
124. Магнитные кластеры.
125. Полупроводниковые наночастицы. Оптические свойства.
126. Фотофрагментация.
127. Кулоновский взрыв.
128. Кластеры атомов редких газов и молекулярные кластеры.
129. Кластеры инертных газов.
130. Сверхтекучие кластеры.
131. Молекулярные кластеры.
132. Высокочастотный индукционный нагрев.
133. Термолиз.
134. Импульсные лазерные методы.
135. Зондовые методы нанолитографии.
136. Метод локального зондового окисления.
137. Физико-химические основы метода локального зондового окисления.
138. Особенности создания электропроводящих зондов.
139. Кинетика процесса локального зондового окисления полупроводников и сверхтонких металлических пленок.
140. Метод формирования диэлектрической пленки, модулированной по толщине.
141. Использование локального зондового окисления для создания наноструктур и элементов наноэлектроники.
142. Общие сведения о нелитографических методах формирования наноструктур.
143. Литографические методы формирования поверхностных периодических наноструктур.
144. Нелитографические методы создания периодических структур.
145. Самоорганизующиеся упорядоченные пористые материалы.
146. Упорядоченные пористые материалы в технологии фотонных кристаллов.
147. Упорядоченный пористый анодный оксид алюминия.
148. Получение и применение в нанотехнологии.
149. Определение структуры материала и размеров частиц.
150. Структура поверхности.
151. Просвечивающая электронная микроскопия.
152. Экспериментальное изучение физических свойств квантово-размерных структур.



## Критерии и шкала оценивания по оценочному средству вопросы к лабораторным работам

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответы представлены на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 90-100% вопросов)
4	Ответы представлены на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности, правильные ответы даны на 75-89% вопросов)
3	Ответы представлены на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 50-74% вопросов)
2	Ответы представлены на неудовлетворительном уровне или не представлены (студент не готов отвечать или правильные ответы даны менее чем на 50% вопросов)

### Тесты:

1. Нанoeлектроника изучает:
  - а) структуры, состоящие из чередующихся полупроводниковых слоев с различными электрофизическими свойствами;
  - б) полупроводниковые приборы, размеры которых составляют единицы микрометров;
  - в) интегральные микросхемы большой степени интеграции.
2. Структуры, состоящие из чередующихся полупроводников с различными электрофизическими свойствами, отличаются от свойств однородных полупроводников потому что:
  - а) в них присутствуют дополнительные резкие изменения потенциала;
  - б) имеют разную толщину;
  - в) получаются путем эпитаксиального наращивания.
3. Наиболее часто для описания свойств многослойных структур используют метод:
  - а) контурных токов;
  - б) огибающих волновых функций;
  - в) узловых потенциалов.
4. Задача рассеивания частиц на потенциальной ступеньке сводится к:
  - а) решению общего уравнения Шредингера;
  - б) решению стационарного одномерного уравнения Шредингера;
  - в) отысканию максимума волновой функции.
5. Коэффициент прохождения частиц через потенциальную ступеньку зависит от:

- а) энергии частицы;
- б) высоты потенциальной ступеньки;
- в) отношения энергии частицы к высоте потенциальной ступеньки.

6. Коэффициент отражения частиц от потенциальной ступеньки зависит от:
- а) энергии частицы;
  - б) высоты потенциальной ступеньки;
  - в) отношения энергии частицы к высоте потенциальной ступеньки.

7. Для определения коэффициентов отражения и прохождения через потенциальный барьер конечной ширины требуется решение:

- а) уравнений Шредингера для трех областей;
- б) уравнений Шредингера для двух областей;
- в) уравнений Шредингера для одной области внутри потенциального барьера.

8. Туннельный эффект – это:

- а) проникновение частицы с энергией  $E < U$  через потенциальный барьер;
- б) проникновение частицы с энергией  $E = U$  через потенциальный барьер;
- в) проникновение частицы с энергией  $E > U$  через потенциальный барьер;

9. Проницаемость потенциального барьера для частиц, падающих на барьер:

- а) слева больше, чем справа;
- б) одинакова с обеих сторон;
- в) справа больше, чем слева.

10. При пролете частицы над потенциальным барьером коэффициенты отражения и прохождения:

- а) остаются постоянными;
- б) испытывают осцилляции;
- в) увеличиваются при увеличении энергии частицы.

11. При надбарьерном пролете частицы с изменением ее энергии:

- а) вероятность прохождения будет увеличиваться;
- б) вероятность отражения будет уменьшаться;
- в) будут наблюдаться осцилляции коэффициентов прохождения и отражения.

12. При надбарьерном прохождении частиц амплитуда осцилляций будет:

- а) постоянна;
- б) зависеть от энергии частицы;
- в) зависеть от отношения высоты потенциального барьера к энергии  $n$ -ого уровня частицы.

13. При надбарьерном прохождении частиц амплитуда осцилляций коэффициентов отражения и прохождения будет с ростом отношения  $U / E$ :

- а) возрастет;
- б) уменьшится;
- в) не изменится.

14. При надбарьерном пролете частиц существует вероятность:

- а) отражения частицы от резких изменений потенциала на границах потенциального барьера;
- б) поглощения частиц потенциальным барьером;
- в) рекомбинации электронов и дырок внутри потенциального барьера.

15. При надбарьерном пролете частиц плотность частиц внутри потенциального барьера:

- а) больше, чем перед барьером;
- б) больше, чем после барьера;
- в) такая же, как за пределами барьера.

16. Прохождение частицы над потенциальной ямой приводит к:

- а) изменению энергии частицы;
- б) осцилляциям коэффициентов прохождения и отражения;
- в) отражению частиц от потенциальной ямы.

17. Амплитуда осцилляций коэффициентов прохождения и отражения при прохождении частицы над потенциальной ямой с увеличением отношения глубины потенциальной ямы к энергии частицы:

- а) не изменяется;
- б) уменьшается;
- в) увеличивается.

18. Энергия частицы в потенциальной яме:

- а) не меняется;
- б) увеличивается;
- в) оказывается квантованной.

19. Симметричная одномерная потенциальная яма:

- а) всегда имеет не менее одного энергетического уровня;
- б) не имеет энергетических уровней;
- в) всегда имеет более одного энергетического уровня.

20. Двухмерная потенциальная яма:

- а) может не иметь ни одного энергетического уровня;
- б) всегда имеет один энергетический уровень;
- в) всегда имеет более одного энергетического уровня.

21. Согласно классической механике частица, имеющая малую энергию:

- а) может быть захвачена потенциальной ямой;
- б) всегда будет захвачена потенциальной ямой;
- в) не может быть захвачена потенциальной ямой.

22. Согласно квантовой механике частица, имеющая малую энергию:

- а) всегда будет захвачена потенциальной ямой;
- б) может быть захвачена потенциальной ямой;
- в) не может быть захвачена потенциальной ямой.

23. В случае прямоугольной потенциальной ямы с бесконечно высокими стенками на ширине ямы укладывается:

- а) три длины волны де Бройля;
- б) дробное число волн де Бройля;
- в) целое число волн де Бройля.

24. В случае движения частиц над потенциальной ямой:

- а) энергия частицы должна быть выше глубины потенциальной ямы;
- б) энергия частицы должна быть равна глубине потенциальной ямы;
- в) возможно отражение частиц от областей с резким изменением потенциала.

25. При прохождении частицы над потенциальной ямой:

- а) частица либо отразится, либо пройдет над потенциальной ямой;
- б) частица пройдет над потенциальной ямой;
- в) частица будет захвачена потенциальной ямой.

#### Критерии и шкала оценивания по оценочному средству тесты

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Тесты выполнены на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100% тестов)
4	Тесты выполнены на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89% тестов)
3	Тесты выполнены на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74% тестов)
2	Тесты выполнены на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50% тестов)

#### Оценочные средства для промежуточной аттестации (экзамен)

1. Основные этапы фотолитографического процесса.
2. Фоторезисты и их свойства.
3. Изготовление фотошаблонов. Контроль качества фотошаблонов.
4. Контактная фотолитография.
5. Рентгено- и электроннолитография.
6. Получение структур методом диффузии.
7. Техпроцесс диффузии в кремнии.
8. Диффузия в соединениях  $A^{III}B^V$ .

9. Диффузионные процессы при изготовлении ИМС.
10. Дефекты и методы контроля диффузионных структур.
11. Измерение глубины залегания *p-n*-перехода.
12. Измерение поверхностного сопротивления.
13. Определение поверхностной концентрации.
14. Ионно-плазменные процессы при переходе от микро- к наноразмерам.
15. Ионное стимулирование эпитаксии гетероструктур соединений  $A^{III}B^V$  из металлоорганических соединений.
16. Ионные процессы в технологии создания наноструктур.
17. Ионная очистка поверхности.
18. Ионно-плазменное травление материалов.
19. Плазмохимическое травление пленок.
20. Формирование конфигурации наноэлементов ИС.
21. Технология получения ионно-легированных слоев.
22. Высокочастотное диодное распыление.
23. Триодное распыление.
24. Методы контроля ионно-легированных слоев.
25. Изоляция компонентов интегральных наноструктур.
26. Ионная имплантация для создания интегральных схем.
27. Многотигельное испарение сплавов.
28. Однотигельное испарение сплавов.
29. Катодное распыление материалов.
30. Изготовление межэлементных соединений и контактов.
31. Термическое окисление кремния.
32. Химическое осаждение пленок нитрида кремния.
33. Контроль качества защитных диэлектрических пленок диоксида и нитрида кремния.
34. Контроль толщины защитных диэлектрических пленок.
35. Контроль пористости защитных диэлектрических пленок.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (экзамен)

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.

удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы

### Оценочные средства для промежуточной аттестации (зачет)

1. Контроль качества дефектов на границе раздела кремний – защитная пленка.
2. Защита поверхности полупроводниковых пластин веществами на основе кремнийорганических соединений и полимеров.
3. Защита поверхности полупроводниковых пластин оксидными и нитридными пленками кремния.
4. Защита поверхности полупроводниковых пластин пленками оксидов металлов.
5. Защита поверхности полупроводниковых пластин пленками стекла.
6. Коллекторная разделительная диффузия.
7. Базовая изолирующая диффузия.
8. Эпик-процесс.
9. Позитивный метод изоляции.
10. Метод повторного нанесения поликристаллического кремния.
11. Изопланар. Эпипланар. Полипланар.
12. Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.
13. Технология изготовления светодиодов.
14. Атомарная структура наноматериалов. Размерные эффекты.
15. Кристаллическое строение. Наночастицы с гранецентрированной решеткой.
16. Тетраэдрические полупроводниковые структуры.
17. Ромбоэдрические структуры.
18. Методы наблюдения наноструктур.
19. Полупроводниковые наночастицы.
20. Методы синтеза наноструктур.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (зачет)

Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
Обучающийся глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и	зачтено

<p>правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.</p>	
<p>Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.</p>	
<p>Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.</p>	
<p>Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы</p>	<p>не зачтено</p>

## Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)