

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева»  
(Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева)

ГЛАСОВАНО  
Руководитель ОПОП

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой ТМиПИ

\_\_\_\_\_ В.В. Смирнов

\_\_\_\_\_ Е.Ю. Степанович

«10 апреля 2025 г.» .

«10 апреля 2025г.»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**«ПРОЦЕССЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»**

Составитель(и)

**Коган В.В., к.т.н., доцент кафедры ТМиПИ**

-

**Погожев В.В., ведущий инженер отдела  
технической поддержки и программного  
обеспечения, ООО «Газонефтепродукт сеть»**

Направление подготовки /  
специальность  
Направленность (профиль) ОПОП

**11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

Квалификация (степень)

**Промышленная электроника и  
микропроцессорная техника  
магистр**

Форма обучения

**очная**

Год приёма

**2025**

Курс

**1**

Семестр(ы)

**2**

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**1.1. Целями освоения дисциплины (модуля) «Процессы микро- и наноэлектроники»** являются изучение передовых достижений, основных направлений, тенденций, перспектив и проблем развития технологических процессов современной электроники и наноэлектроники, формирование навыков оценки новизны исследований и разработок, применения и дальнейшего совершенствования технологических процессов для получения изделий микро- и наноэлектроники.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):

- формирование знаний основных процессов микро- и наноэлектроники,
- освоение новых методологических подходов к решению профессиональных технологических задач в области производства изделий и приборов электроники и наноэлектроники

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП

**2.1. Учебная дисциплина (модуль) «Процессы микро- и наноэлектроники», Б1.В.11** относится к части, формируемая участниками образовательных отношений и осваивается в 2 семестре.

Курс «Процессы микро- и наноэлектроники» знакомит студентов с физическими свойствами и особенностями поведения носителей заряда в низкоразмерных структурах, продемонстрировать последние достижения и открытия в этой области, технологию получения и применения полупроводниковых низкоразмерных структур, их энергетический спектр, транспортные свойства, практическое использование.

**2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы следующие знания, умения, навыки, формируемые предшествующими учебными дисциплинами (модулями):**

- Методы математического моделирования в профессиональной деятельности

Знания: линейной алгебры, математического анализа, дифференциальных уравнений, теории функций комплексной переменной;

Умения: выполнять матричные вычисления, решать дифференциальные уравнения, выполнять преобразования выражений с комплексными числами;

Навыки: применения аппарата математического анализа для решения задач оптимизации, построения систем дифференциальных уравнений для описания динамических процессов в технических системах.

- Микропроцессорная техника

Знания: основные понятия статистической физики, кинетической теории, механики и электродинамики сплошных сред;

Умения: строить статистические и кинетические модели;

Навыки: владеть навыками кинетического, статистического и гидродинамического описания физико-химических процессов;

**2.3. Последующие учебные дисциплины (модули) и (или) практики, для которых необходимы знания, умения, навыки, формируемые данной учебной дисциплиной (модулем):**

- Проектирование микропроцессорных и компьютерных систем
- Информационно-измерительные устройства в промышленной электронике
- Программирование промышленных контроллеров

### 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Процесс освоения дисциплины (модуля) направлен на формирование элементов следующей(их) компетенции(ий) в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки / специальности:

- профессиональных:

ПК-1 - Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач

ПК-4- Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов

**Таблица 1. Декомпозиция результатов обучения**

Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
		Знать (1)	Уметь (2)	Владеть (3)
ПК-1	ПК.1.1. Знать принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники	Физические основы и принципы работы основных элементов микро- и нанoeлектроники (транзисторы, диоды, наноструктуры)	Анализировать принципиальные схемы микро- и нанoeлектронных устройств	Методами расчета основных параметров микро- и нанoeлектронных структур
ПК-4	ПК-4.3. Владеть навыками проведения исследования с применением современных средств и методов.	Современные методы исследования микро- и наноструктур (АСМ, ЭМ, спектроскопические методы)	Проводить экспериментальные исследования с использованием специализированного оборудования	Навыками работы с исследовательским оборудованием для анализа микро- и наноструктур

### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины в соответствии с учебным планом составляет  3  зачетные единицы ( 108 часа).

Трудоемкость отдельных видов учебной работы студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения приведена в таблице 2.1.

**Таблица 2.1. Трудоемкость отдельных видов учебной работы по формам обучения**

Вид учебной и внеучебной работы	для очной формы обучения
Объем дисциплины в зачетных единицах	3
Объем дисциплины в академических часах	108
Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе (час.):	20

Вид учебной и внеучебной работы	для очной формы обучения
- занятия лекционного типа, в том числе: - практическая подготовка (если предусмотрена)	10
- занятия семинарского типа (семинары, практические, лабораторные), в том числе: - практическая подготовка (если предусмотрена)	10
	2
Самостоятельная работа обучающихся (час.)	88
Форма промежуточной аттестации обучающегося (зачет/экзамен), семестр (ы)	Зачет-семестр 2

**Таблица 2.2. Структура и содержание дисциплины (модуля)  
для очной формы обучения**

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Контактная работа, час.							СР, час.	Итого часов	Форма текущего контроля успеваемости и, форма промежуточной аттестации [по семестрам]
	Л	в т.ч. ПП	ПЗ	в т.ч. ПП	ЛР	в т.ч. ПП	КР / КП			
<b>Семестр 2.</b>										
<b>Раздел 1</b>										
Тема 1. Процессы монокристаллического кремния. Очистка и подготовка поверхности. Термическое окисление, фотолитография, методы легирования кремния, эпитаксия и вакуумные методы получения тонких пленок .	5				5	2		44	54	
Тема 2. Процессы литографии, ионноплазменные технологии, молекулярнолучевая эпитаксия, ALD-технология – технология атомно-слоевого осаждения. Методы получения моноатомных слоев, получение графена и возможности его модификации, методы получения квантовых трубок,	5				5			44	54	

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Контактная работа, час.							СР, час.	Итого часов	Форма текущего контроля успеваемости и, форма промежуточ ной аттестации [по семестрам]
	Л	в т.ч. ПП	ПЗ	в т.ч. ПП	ЛР	в т.ч. ПП	КР / КП			
методы получения нанообъектов на основе арсенида галлия.										
<b>Консультации</b>										
<b>Контроль промежуточной аттестации</b>										<b>зачёт</b>
<b>ИТОГО за семестр:</b>	10				10	2		88	108	
<b>Итого за весь период</b>	10				10			88	108	

**Таблица 3 – Матрица соотнесения разделов, тем учебной дисциплины (модуля) и формируемых компетенций**

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Кол- во часов	Код компетенции		Общее количес тво компете нций
		ПК-1	ПК-4	
Тема 1. Процессы монокристаллического кремния. Очистка и подготовка поверхности. Термическое окисление, фотолитография, методы легирования кремния, эпитаксия и вакуумные методы получения тонких пленок .	54	+	+	2
Тема 2. Процессы литографии, ионноплазменные технологии, молекулярнолучевая эпитаксия, ALD-технология – технология атомно-слоевого осаждения. Методы получения моноатомных слоев, получение графена и возможности его модификации, методы получения квантовых трубок, методы получения нанообъектов на основе арсенида галлия.	54	+	+	2
<b>Итого</b>	<b>108</b>			

## **Краткое содержание каждой темы дисциплины (модуля)**

**Тема 1. Процессы монокристаллического кремния. Очистка и подготовка поверхности. Термическое окисление, фотолитография, методы легирования кремния, эпитаксия и вакуумные методы получения тонких пленок .**

Углеродные наноматериалы. Аллотропные модификации углерода. Алмазные пленки. Графен. Нанотрубки. Фуллерены. Мультиферроики. Магнитные полупроводники. Спин-электронные слоистые структуры. Полимерные материалы. Фотонные кристаллы. Пленки Ленгмюра-Блоджет. Бионаноструктуры. ДНК, как составляющая наноструктур. Методы зонной нанотехнологии. Контактное и бесконтактное формирование нанорельефа. Технологии самоорганизации структур. Межэлектродный массоперенос. Литография с помощью сканирующего туннельного микроскопа

**Тема 2. Процессы литографии, ионноплазменные технологии, молекулярнолучевая эпитаксия, ALD-технология – технология атомно-слоевого осаждения.**

**Методы получения моноатомных слоев, получение графена и возможности его модификации, методы получения квантовых трубок, методы получения нанобъектов на основе арсенида галлия**

Выбор полупроводникового материала. Получение полупроводниковых пластин. Шлифовка, полировка и травление пластин. Получение эпитаксиальных структур. Схема технологического процесса. Нанотранзисторные структуры на новых материалах. Нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок, на основе графена. Спиновой нанотранзистор. Эффект одноэлектронного туннелирования. Спинтроника. Квантовые компьютеры. Молетроника. Политроника.

## **5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕПОДАВАНИЮ И ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **5.1. Указания для преподавателей по организации и проведению учебных занятий по дисциплине (модулю)**

Предполагается использование кроме традиционных форм проведения занятий также активных и интерактивных форм. При этом студенты глубже понимают учебный материал, память также акцентируется на проблемных ситуациях, что способствует запоминанию учебного материала.

В процессе обучения необходимо обращать внимание в первую очередь на те методы, при которых слушатели идентифицируют себя с учебным материалом, включаются в изучаемую ситуацию, побуждаются к активным действиям, переживают состояние успеха и соответственно мотивируют свое поведение. Всем этим требованиям в наибольшей степени отвечают интерактивные методы обучения.

Интерактивные лекционные занятия проводятся в следующей форме:

#### **1. Лекция-беседа**

В названном виде занятий планируется диалог с аудиторией, это наиболее простой способ индивидуального общения, построенный на непосредственном контакте преподавателя и студента. Участие (внимание) слушателей в данной лекции обеспечивается путем вопросно-ответной беседы с аудиторией (постановка проблемного задания).

Вначале лекции и по ходу ее преподаватель задает слушателям вопросы не для контроля усвоения знаний, а для выяснения уровня осведомленности по рассматриваемой проблеме.

Вопросы могут быть элементарными: для того, чтобы сосредоточить внимание,

как на отдельных нюансах темы, так и на проблемах.

## **2. Лекция с элементами обратной связи.**

В данном случае подразумевается изложение учебного материала и использование знаний по смежным предметам (межпредметные связи) или по изученному ранее учебному материалу. Обратная связь устанавливается посредством ответов студентов на вопросы преподавателя по ходу лекции. Чтобы определить осведомленность студентов по излагаемой проблеме, в начале какого-либо раздела лекции задаются необходимые вопросы.

Если студенты правильно отвечают на вводный вопрос, преподаватель может ограничиться кратким тезисом или выводом и перейти к следующему вопросу.

Если же ответы не удовлетворяют уровню желаемых знаний, преподаватель сам излагает подробный ответ, и в конце объяснения снова задает вопрос, определяя степень усвоения учебного материала.

Если ответы вновь демонстрируют низкий уровень знаний студентов – следует изменить методику подачи учебного материала.

В форме лекции с элементами обратной связи проводятся занятия, в которых необходимо связать уже имеющиеся знания с излагаемым материалом.

## **3. Проектная работа**

Учебный процесс, опирающийся на использование интерактивных методов обучения, организуется с учетом включенности в процесс познания всех студентов группы без исключения. Совместная деятельность означает, что каждый вносит свой особый индивидуальный вклад, в ходе работы идет обмен знаниями, идеями, способами деятельности. Организуются проектная работа, осуществляется работа с научно-технической документацией. Такие методы основаны на принципах взаимодействия, активности обучаемых, опоре на групповой опыт, обязательной обратной связи. Создается среда образовательного общения, которая характеризуется открытостью, взаимодействием участников, равенством их аргументов, накоплением совместного знания, возможностью взаимной оценки и контроля.

Студенты делятся на 3...4 группы, выдается общее задание, но задаются различные варианты решения задачи, каждая группа анализирует предложенное решение, корректирует его и защищает перед студентами других подгрупп. Преподаватель выполняет роль рецензента. Задание желательно формировать на основе ситуаций, которые рассматривались при проведении нескольких занятий в активной форме. При проведении таких занятий преподаватель должен объяснить студентам значение компетентностного подхода для формирования современного специалиста, сформировать основные компетенции специальности и показать пути их освоения.

## **4. Комплекс семинарских работ**

Ведущий преподаватель вместе с новыми знаниями ведет участников обучения к самостоятельному поиску. Активность преподавателя уступает место активности студентов, его задачей становится создание условий для их инициативы. Преподаватель отказывается от роли своеобразного фильтра, пропускающего через себя учебную информацию, и выполняет функцию помощника в работе, одного из источников информации.

Студентам выдается список тем практических/семинарских занятий. Каждый студент готовит отчет с элементами анализа литературных источников изучаемой проблемы.

Промежуточная аттестация студентов подразделяется на зачетную, именуемую зачетной неделей, и экзаменационную сессию. Зачеты сдаются в течение одной недели перед экзаменационной сессией. Продолжительность экзаменационных сессий (а их две: зимняя и летняя) в учебном году устанавливается Госстандартом.

### 5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю)

Главная задача самостоятельной работы студентов – развитие умения приобретать научные знания путем личных поисков, формирование активного интереса и вкуса к творческому, самостоятельному подходу в учебной и практической работе.

Самостоятельная работа студента направляется настоящей рабочей программой.

Основываясь на лекционном материале, результатах, полученных на лабораторных занятиях и при самостоятельной работе, студент выполняет реферат.

Примерный объем реферата – 10...15 стр.

Оформленная работа представляется на рецензию и при получении положительной рецензии студент выполняет защиту работы.

Курсовая работа и курсовой проект по данной дисциплине не предусмотрены.

**Таблица 4 – Содержание самостоятельной работы обучающихся**

#### Для очной формы обучения

Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов	Форма работы
Тема 1. Процессы монокристаллического кремния. Очистка и подготовка поверхности. Термическое окисление, фотолитография, методы легирования кремния, эпитаксия и вакуумные методы получения тонких пленок .	44	реферат
Тема 2. Процессы литографии, ионноплазменные технологии, молекулярнолучевая эпитаксия, ALD-технология – технология атомно-слоевого осаждения. Методы получения моноатомных слоев, получение графена и возможности его модификации, методы получения квантовых трубок, методы получения нанообъектов на основе арсенида галлия.	44	реферат

### 5.3. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины (модуля), выполняемые обучающимися самостоятельно

Критерии выставления оценок за рефераты сформулированы в ФОСах. Здесь приводятся требования к оформлению работы.

#### Общие требования оформления реферата

Указанные работы выполняются на листах писчей бумаги формата А-4 в MicrosoftWord; объем: 5-15 страниц текста для отчета. Размер шрифта – 14; интервал – 1,5; с нумерацией страниц сверху страницы посередине, абзацный отступ на расстоянии 2,25 см от левой границы поля.

Все формулы, единицы измерений, расчеты приводятся и ведутся в системе

СИ. При оформлении работы соблюдаются поля:

левое – 25 мм;

правое – 10

мм; нижнее –

20 мм; верхнее

– 20 мм.

**Оформление таблиц:**

1. Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире.

2. При переносе части таблицы название помещают только над первой частью таблицы, нижнюю горизонтальную черту, ограничивающую таблицу, не проводят.

3. Таблицу следует располагать в отчете непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

4. На все таблицы должны быть ссылки в реферате. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

**Оформление иллюстраций:**

1. Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, компьютерные распечатки, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице.

2. Иллюстрации могут быть в компьютерном исполнении, в том числе и цветные.

3. На все иллюстрации должны быть даны ссылки в реферате.

4. Иллюстрации, за исключением иллюстрации приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

5. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Слово «рисунок» и его наименование располагают посередине строки.

6. Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например, Рисунок 1.1.

7. Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисовочный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом: Рисунок 1 — Схема карты сайта.

8. Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например, Рисунок А.3.

9. При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» при нумерации в пределах раздела.

**Приложения:**

1. Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

2. В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа, за исключением справочного приложения «Библиография», которое располагают последним.

3. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине строки слова «Приложение», его обозначения и степени.

4. Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

5. Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

6. Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O.

7. В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов

допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

8. Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

9. Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

10. Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

#### **Представление.**

Работа должна быть представлена в **двух видах**: печатном и электронном.

## **6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

При реализации различных видов учебной работы по дисциплине «**Процессы микро- и наноэлектроники**» могут использоваться электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

### **6.1. Образовательные технологии**

Интерактивных занятий (25%)

<b>№</b>	<b>Формы</b>	<b>Описание</b>
1.	Работа с Microsoft PowerPoint	Подготовка презентаций докладов в PowerPoint
2.	Интернет. Поиск информации по теме.	Проведение самостоятельного поиска информации по темам дисциплины с использованием интернет-ресурсов.

Учебные занятия по дисциплине могут проводиться с применением информационно- телекоммуникационных сетей при опосредованном (на расстоянии) интерактивном взаимодействии обучающихся и преподавателя в режимах on-line в формах: видеолекций, лекций-презентаций, видеоконференции, собеседования в режиме чат, форума, чата, выполнения виртуальных практических и/или лабораторных работ и др.

Максимальный объем занятий обучающегося с применением электронных образовательных технологий не должен превышать 25%.

**Таблица 5 – Образовательные технологии, используемые при реализации учебных занятий**

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Форма учебного занятия		
	Лекция	Практическое занятие, семинар	Лабораторная работа
Тема 1. Процессы монокристаллического кремния. Очистка и подготовка поверхности. Термическое окисление, фотолитография, методы легирования кремния, эпитаксия и вакуумные методы получения тонких пленок .	<i>Обзорная лекция</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Опрос, в т.ч. практическая подготовка</i>
Тема 2. Процессы литографии, ионноплазменные технологии, молекулярнолучевая эпитаксия, ALD-технология – технология атомно-слоевого осаждения.	<i>Лекция-диалог</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>опрос</i>

Методы получения моноатомных слоев, получение графена и возможности его модификации, методы получения квантовых трубок, методы получения нанообъектов на основе арсенида галлия.			
--	--	--	--

## 6.2. Информационные технологии

Для оперативного обмена информацией, получения заданий и выставления оценок широко используется электронная почта преподавателя.

Интернет и IT технологии широко используются при подготовке лекций, презентаций, кейс-заданий и пр.

При реализации различных видов учебной и внеучебной работы используются следующие информационные технологии: виртуальная обучающая среда (или система управления обучением LMS Moodle) или иные информационные системы, сервисы и мессенджеры.

## 6.3. Программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

### 6.3.1. Программное обеспечение

Наименование программного обеспечения	Назначение
Mozilla FireFox	Браузер
Microsoft Office 2013, Microsoft Office Project 2013, Microsoft Office Visio 2013	Пакет офисных программ
7-zip	Архиватор
Microsoft Windows 7 Professional	Операционная система
KOMPAS-3D V13	Создание трехмерных ассоциативных моделей отдельных элементов и сборных конструкций из них
Google Chrome	Браузер
OpenOffice	Пакет офисных программ
Opera	Браузер
Paint .NET	Растровый графический редактор
VLC Player	Медиапроигрыватель

WinDjView	Программа для просмотра файлов в формате DJV и DjVu
Платформа дистанционного обучения LMS Moodle	Виртуальная обучающая среда

### 6.3.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Электронный каталог Научной библиотеки АГУ на базе MARK SQL НПО «Информ-систем»: <https://library.asu.edu.ru>.
2. Электронная библиотека «Астраханский государственный университет» собственной генерации на электронной платформе ООО «БИБЛИОТЕХ»: <https://biblio.asu.edu.ru>.
3. Электронный каталог «Научные журналы АГУ»: <http://journal.asu.edu.ru/>.
4. Универсальная справочно-информационная полнотекстовая база данных периодических изданий ООО «ИВИС»: <http://dlib.eastview.com/>
5. Электронно-библиотечная система eLibrary. <http://elibrary.ru>
6. Справочная правовая система КонсультантПлюс: <http://www.consultant.ru>

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

### 7.1. Паспорт фонда оценочных средств

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) «**Процессы микро- и нанoeлектроники**» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным освоением дисциплин (модулей) и прохождением практик, а в процессе освоения дисциплины (модуля) – последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой разделов, тем.

**Таблица 6 – Соответствие разделов, тем дисциплины (модуля), результатов обучения по дисциплине (модулю) и оценочных средств**

Контролируемый раздел, тема дисциплины (модуля)	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
Тема 1. Процессы монокристаллического кремния. Очистка и подготовка поверхности. Термическое окисление, фотолитография, методы легирования кремния, эпитаксия и вакуумные методы получения тонких пленок .	ПК-1; ПК-4	Опрос, зачет
Тема 2. Процессы литографии, ионноплазменные технологии, молекулярнолучевая эпитаксия, ALD-технология – технология атомно-слоевого осаждения. Методы получения моноатомных слоев, получение графена и возможности его модификации, методы получения квантовых	ПК-1; ПК-4	Опрос, .зачет

Контролируемый раздел, тема дисциплины (модуля)	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
трубок, методы получения нанообъектов на основе арсенида галлия.		

## 7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

**Таблица 7 – Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний**

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	демонстрирует глубокое знание теоретического материала, умение обоснованно излагать свои мысли по обсуждаемым вопросам, способность полно, правильно и аргументированно отвечать на вопросы, приводить примеры
4 «хорошо»	демонстрирует знание теоретического материала, его последовательное изложение, способность приводить примеры, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует неполное, фрагментарное знание теоретического материала, требующее наводящих вопросов преподавателя, допускает существенные ошибки в его изложении, затрудняется в приведении примеров и формулировке выводов
2 «неудовлетворительно»	демонстрирует существенные пробелы в знании теоретического материала, не способен его изложить и ответить на наводящие вопросы преподавателя, не может привести примеры

**Таблица 8 – Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений**

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы
4 «хорошо»	демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует отдельные, несистематизированные навыки, испытывает затруднения и допускает ошибки при выполнении заданий, выполняет задание по подсказке преподавателя, затрудняется в формулировке выводов
2 «неудовлетворительно»	не способен правильно выполнить задания

### **7.3. Контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине «Процессы микро- и наноэлектроники»**

**Тема 1. Процессы монокристаллического кремния. Очистка и подготовка поверхности. Термическое окисление, фотолитография, методы легирования кремния, эпитаксия и вакуумные методы получения тонких пленок .**

#### **Вопросы для обсуждения:**

1. Что такое наноэлектроника?
2. Какое место нанотехнологии занимают в электронике?
3. В чем заключается стратегия получения наноструктур «сверху–вниз»?
4. Какие перспективы стратегии получения наноструктур «снизу–вверх»?
5. Расскажите о законах Мура.
6. Приведите примеры современных достижений микроэлектроники

**Тема 2. Процессы литографии, ионноплазменные технологии, молекулярнолучевая эпитаксия, ALD-технология – технология атомно-слоевого осаждения.**

**Методы получения моноатомных слоев, получение графена и возможности его модификации, методы получения квантовых трубок, методы получения нанобъектов на основе арсенида галлия.**

#### **Вопросы для обсуждения:**

1. Каковы тенденции развития микроэлектроники?
2. Опишите технические решения, направленные на улучшение характеристик современных интегральных микросхем.
3. Что такое FinFET-транзисторы в интегральных микросхемах?
4. Опишите основные проблемы и ограничения микроэлектроники.
5. Приведите примеры элементов и устройств на углеродных нанотрубках. Опишите их работу.

#### **Перечень вопросов и заданий, выносимых на зачёт**

1. Каковы основные тенденции развития наноэлектроники?
2. В чем состоят особенности дрейфа электронов в квантоворазмерных структурах?
3. Что такое длина волны де-Бройля электронов?
4. Почему электроны могут туннелировать через потенциальные барьеры?
5. С чем связано возникновение резонанса при туннелировании через структуру с двумя близко расположенными потенциальными барьерами?
6. Что такое сверхрешетка?
7. В чем основное отличие сверхрешеток II типа от сверхрешеток I типа?
8. Что такое модулировано легированные сверхрешетки?
9. На чем основана работа лавинных фотодиодов?
10. В чем преимущества арсенид галлиевого полевого транзистора перед кремниевым МОП-транзистором?
11. Какие основные механизмы рассеяния электронов в приборных структурах наноэлектроники?
12. В чем состоит принципиальное отличие рассеяния на фононах от рассеяния на ионах примеси?
13. Что такое рассеяние на неоднородностях поверхности?
14. Что такое дрейфовая скорость электронов?
15. Каким образом осуществляется переход электронов из низкоразмерного

состояния в 3D-состояние?

16. В чем состоят короткоканальные эффекты в МОП-транзисторе.
17. Понятие нанофотоники. Метаматериалы.
18. Фотонные кристаллы. Структура фотонных кристаллов.
19. В чем состоят эффекты горячих электронов в МОП-транзисторах?
20. В чем основные преимущества КНИ-МОП-транзисторов?
21. Что определяет квантовые эффекты в КНИ-МОП-транзисторах?
22. Что определяет квантование энергии в квантовых проволоках?
23. Что такое осцилляции дрейфовой скорости в арсенид галлиевых квантовых проволоках?
24. Что такое фуллерен?
25. В чем состоят преимущества углеродных нанотрубок?
26. Что такое квантовые компьютеры?
27. Что такое самоорганизация наноструктур?

**Таблица 9 – Примеры оценочных средств с ключами правильных ответов**

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
<i><b>ПК-1– Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.</b></i>				
1.	Задание закрытого типа	Добавление акцепторных примесей в полупроводник позволяет: 1) Повысить количество свободных дырок 2) Понизить количество свободных дырок 3) Повысить количество свободных электронов 4) Понизить количество свободных электронов 5) Добавление акцепторных примесей не влияет на образование носителей заряда	1	2

2.	Как изменяется толщина р-n перехода при прямом смещении? 1) Увеличивается 2) Уменьшается 3) Не изменяется 4) Толщина перехода сначала увеличивается, затем за счет увеличения падения напряжения уменьшается 5) Сначала уменьшается, затем за счет увеличения тока увеличивается	2	2
3.	Как изменяется сопротивление фотодиода при освещении? 1) Незначительно увеличивается; 2) Незначительно уменьшается; 3) Значительно увеличивается; 4) Значительно уменьшается; 5) Не изменяется;	4	2
4.	Демультимплексор служит для 1) передачи информации с одного из входов на соответствующий выход 2) передачи информации с одного из входов на общий выход	4	3

		3) передачи информации с одного из входов на все выходы 4) передачи информации с одного входа на соответствующий выход 5) для расширения информации		
5.		Каких элементов нет в микросхеме 1) резисторов 2) конденсаторов 3) транзисторов 4) катушек индуктивности 5) диодов	4	3
6.	Задание открытого типа	Фотодиод – это?	Полупроводниковый прибор, значение тока которого пропорционального интенсивности светового потока	5-8

7.		Полевой транзистор – это?	Полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемый электрическим полем	5-8
8.		Канал – это?	Проводящий слой, который находится между истоком и стоком полевого транзистора	5-8
9.		Модуляция – это?	Изменение одного из параметров несущего сигнала по закону модулирующего	5-8
10.		Электронные лампы – это...	Приборы, в которых ток создается потоком электронов в вакууме;	5-8
11.	Задание комбинированного типа	Для создания транзистора с длиной канала 5 нм необходимо выбрать метод формирования затвора. Варианты: 1. Фотолитография с иммерсионной оптикой 2. Электронно-лучевая литография 3. Экстремальная ультрафиолетовая литография 4. Наноимпринтная литография Обоснуйте выбор, учитывая разрешение, производительность и стоимость процесса.	3 Обеспечивает разрешение при промышленной производительности. Электронно-лучевая литография слишком медленная, а другие методы не обеспечивают нужного разрешения.	5
12.		При исследовании дефектов кристаллической решетки в полупроводниковом материале необходимо выбрать метод анализа. Варианты: 1. Просвечивающая электронная микроскопия 2. Атомно-силовая микроскопия 3. Рамановская спектроскопия	1 Позволяет визуализировать кристаллическую решетку с атомарным разрешением и анализировать дефекты. Другие методы не обеспечивают такого уровня детализации.	5

	4. Сканирующая электронная микроскопия Обоснуйте выбор, учитывая разрешающую способность и возможность анализа кристаллической структуры.		
--	--	--	--

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
<b>ПК-4- Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов</b>				
13.	Задание закрытого типа	Какой метод нанесения тонких пленок обеспечивает наилучшую равномерность покрытия? 1. Термическое напыление 2. Электронно-лучевое испарение 3. Молекулярно-лучевая эпитаксия 4. Ионно-плазменное распыление	3	2
14.		Какой тип литографии позволяет достичь наименьшего разрешения? 1. Фотолитография 2. Электронно-лучевая литография 3. Рентгеновская литография 4. Наноимпринтная литография	2	2
15.		Какой метод используется для анализа элементного состава поверхности? 1. Атомно-силовая микроскопия 2. Рамановская спектроскопия 3. Электронная оже-спектроскопия 4. Сканирующая электронная микроскопия	3	2
16.		Какой процесс применяется для создания легированных областей в кремнии? 1. Термическое окисление	2	2

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		2. Ионная имплантация 3. Плазменное травление 4. Химико-механическая полировка		
17.		Какой материал чаще всего используется в качестве подложки для нанoeлектронных устройств? 1. Арсенид галлия 2. Карбид кремния 3. Оксид кремния 4. Нитрид галлия	2	2
18.	Задание открытого типа	Какие два основных преимущества имеет молекулярно-лучевая эпитаксия по сравнению с другими методами нанесения пленок?	Высокая точность контроля толщины и возможность создания сверхрешеток.	5-8
19.		Почему при уменьшении размеров транзисторов ниже 10 нм возникают проблемы с утечкой тока?	Из-за квантового туннелирования и короткоканальных эффектов.	5-8
20.		Какой принцип лежит в основе работы сканирующего туннельного микроскопа?	Регистрация туннельного тока между острием зонда и поверхностью.	5-8
21.		Для чего в нанoeлектронике используются квантовые точки?	Для создания дискретных энергетических уровней в устройствах.	5-8
22.		Какие основные проблемы возникают при использовании медных межсоединений в нанoeлектронике?	Диффузия меди в диэлектрик и необходимость барьерных слоев	5-8
23.	Задание комбинированного типа	Для создания барьерного слоя в медных межсоединениях необходимо выбрать материал. Варианты: 1. Диоксид кремния 2. Нитрид титана 3. Алюминий 4. Поликремний Обоснуйте выбор, учитывая диффузионные свойства и электропроводность.	2 Обладает хорошими барьерными свойствами против диффузии меди и приемлемой электропроводностью. Другие материалы либо плохо блокируют диффузию, либо имеют слишком высокое сопротивление.	5
24.		При разработке памяти следующего поколения	2	5

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		необходимо выбрать наиболее перспективную технологию. Варианты: 1. Флеш-память 2. Мемристоры 3. Фазовую память 4. Магниторезистивную память Обоснуйте выбор, учитывая масштабируемость, быстродействие и энергопотребление.	Наиболее перспективны по масштабируемости, быстродействию и энергопотреблению. Другие технологии имеют ограничения по одному или нескольким из этих параметров.	

Полный комплект оценочных материалов по дисциплине (модулю) (фонд оценочных средств) хранится в электронном виде на кафедре, утверждающей рабочую программу дисциплины (модуля).

#### 7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине «Процессы микро- и нанoeлектроники»

**Таблица 10 – Технологическая карта рейтинговых баллов по дисциплине (модулю)**

№ п/п	Контролируемые мероприятия	Количество мероприятий / баллы	Максимальное количество баллов	Срок представления
<b>Основной блок</b>				
1.	<i>Ответ на занятии</i>	10/4	40	
2.	<i>Выполнение лабораторных работ</i>	10/5	50	
<b>Всего</b>			<b>90</b>	-
<b>Блок бонусов</b>				
3.	<i>Посещение занятий</i>	10/0,5	5	
4.	<i>Своевременное выполнение всех заданий</i>	10/0,5	5	
<b>Всего</b>			<b>10</b>	-
<b>ИТОГО</b>			<b>100</b>	-

**Таблица 11 – Система штрафов (для одного занятия)**

Показатель	Балл
<i>Опоздание на занятие</i>	-5
<i>Нарушение учебной дисциплины</i>	-5
<i>Неготовность к занятию</i>	-10
<i>Пропуск занятия без уважительной причины</i>	-10

**Таблица 12 – Шкала перевода рейтинговых баллов в итоговую оценку за семестр по дисциплине (модулю)**

Сумма баллов	Оценка по 4-балльной шкале	
90–100	5 (отлично)	
85–89	4 (хорошо)	Зачтено
75–84		
70–74		
65–69	3 (удовлетворительно)	
60–64		
Ниже 60	2 (неудовлетворительно)	Не зачтено

При реализации дисциплины (модуля) в зависимости от уровня подготовленности обучающихся могут быть использованы иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **8.1. Основная литература**

1. Барыбин А.А., Электроника и микроэлектроника. Физикотехнологические основы. [Электронный ресурс] / Барыбин А.А. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 424 с. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922106795.html> (ЭБС «Консультант студента»)
2. Драгунов, В. П. Микро- и нанoeлектроника: Сборник задач и примеры их решения: учеб. пособие / Драгунов В. П. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. - 50 с. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778226159.html> (ЭБС «Консультант студента»)
3. Топильский В.Б., Микроэлектронные измерительные преобразователи [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Б. Топильский. - 3-е изд. (эл.). - М.: БИНОМ, 2015. - 496 с. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996330201.html> (ЭБС «Консультант студента»)

### **8.2. Дополнительная литература**

1. Белоус А.И., Основы схемотехники микроэлектронных устройств [Электронный ресурс] / Белоус А.И., Емельянов В.А., Турцевич А.С. - М.: Техносфера, 2012. - 472 с. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363073.html> (ЭБС «Консультант студента»)
2. Величко А.А., Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных материалов и структур [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Величко А.А. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. - 227 с. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778225343.html> (ЭБС «Консультант студента»)

### **8.3. Интернет-ресурсы, необходимые для освоения дисциплины (модуля)**

1. **Электронно-библиотечная система (ЭБС) ООО «Политехресурс» «Консультант студента».** Многопрофильный образовательный ресурс «Консультант студента» является электронной библиотечной системой, предоставляющей доступ через сеть Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретенным на основании прямых договоров с правообладателями. Каталог в настоящее время содержит около 15000 наименований. [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru).

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ(МОДУЛЯ)**

Для проведения занятий по дисциплине имеются лекционные аудитории, оборудованные мультимедийной техникой с возможностью презентации обучающих материалов; аудитории для проведения семинарских и практических занятий, оборудованные учебной мебелью; библиотека с местами, оборудованными компьютерами, имеющими доступ к сети Интернет.

## **10. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Рабочая программа дисциплины (модуля) при необходимости может быть адаптирована для обучения (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий) лиц с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов. Для этого требуется заявление обучающихся, являющихся лицами с ограниченными возможностями здоровья, инвалидами, или их законных представителей и рекомендации психолого-медико-педагогической комиссии. При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья учитываются их индивидуальные психофизические особенности. Обучение инвалидов осуществляется также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).

Для лиц с нарушением слуха возможно предоставление учебной информации в визуальной форме (краткий конспект лекций; тексты заданий, напечатанные увеличенным шрифтом), на аудиторных занятиях допускается присутствие ассистента, а также сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков. Текущий контроль успеваемости осуществляется в письменной форме: обучающийся письменно отвечает на вопросы, письменно выполняет практические задания. Доклад (реферат) также может быть представлен в письменной форме, при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т. д.). Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости время подготовки к ответу может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации, а также использование на аудиторных занятиях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т. д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь. Текущий контроль успеваемости осуществляется в устной форме. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, на аудиторных занятиях, а также при проведении процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации могут быть предоставлены необходимые технические средства (персональный компьютер, ноутбук или другой гаджет); допускается присутствие ассистента (ассистентов), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь (занять рабочее место, передвигаться по аудитории, прочитать задание, оформить ответ, общаться с преподавателем).