

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ"

Кафедра № 3

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель образовательной программы

д.т.н., проф.

(должность, уч. степень, звание)

А. В. Копыльцов

(инициалы, фамилия)



(подпись)

«10» февраля 2026 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники»  
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	03.03.01
Наименование направления подготовки/ специальности	Прикладные математика и физика
Наименование направленности/ специализации	Прикладная физика и информационные технологии в наноиндустрии
Форма обучения	очная
Год приема	2026

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

доц., к.ф.-м.н., доц.  06.02.2026  
(должность, уч. степень, звание) (подпись, дата)

Ю. А. Новикова  
(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 3  
«10» февраля 2026 г, протокол № 12

Заведующий кафедрой № 3

д.т.н., проф.  10.02.2026  
(уч. степень, звание) (подпись, дата)

А. В. Копыльцов  
(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института ФПТИ по методической работе

доц., к.т.н., доц.  20.02.2026  
(должность, уч. степень, звание) (подпись, дата)

Н. Ю. Ефремов  
(инициалы, фамилия)

## Аннотация

Дисциплина «Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники» входит в образовательную программу высшего образования – программу бакалавриата по направлению подготовки/ специальности 03.03.01 «Прикладная математика и физика» направленности «Прикладная физика и информационные технологии в nanoиндустрии». Дисциплина реализуется кафедрой «№3».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

ПК-6 «Способен разработать методики и технические руководства для экспериментальной проверки технологических процессов и исследования параметров наноструктурных материалов»

ПК-8 «Способен осуществлять поиск новых научно- технических решений для модернизации существующих и внедрения новых процессов и оборудования для модификации свойств наноматериалов и наноструктур»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с основными процессами технологии материалов микро-, опто- и наноэлектроники.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа обучающегося.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме экзамена.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Язык обучения по дисциплине «русский».

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

### 1.1. Цели преподавания дисциплины

формирование у студентов представлений:

- о физико-химических основах технологии материалов и элементов электронной техники с учетом областей их применения, разработка материалов и технологических методов для новых областей электроники и нанoeлектроники;
- о физико-химических закономерностях, лежащих в основе ключевых технологических методов и приемов изготовления материалов электронной техники.
- об экспериментальных исследованиях, планирования и проведения экспериментов в области технологии материалов и элементов электронной техники, обработки и анализа полученных материалов;
- о многообразии современных технологических методов и способах выбора наиболее оптимальных схем для решения конкретной технологической задачи;
- об основных перспективах и тенденциях развития базовых материалов электронной техники.

Дисциплина входит в состав части, формируемой участниками образовательных отношений, образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

### 1.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные компетенции	ПК-3 Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций	ПК-3.3.1 знать методы планирования эксперимента; методы сбора и обработки данных при проведении исследований ПК-3.У.1 уметь проводить эксперимент по заданным методикам; использовать компьютерные методы обработки результатов эксперимента ПК-3.В.1 владеть навыками составления научных обзоров
Профессиональные компетенции	ПК-5 Способен разработать технические требования к модернизации технологических линий с целью реализации концепции	ПК-5.3.1 знать особенности разработки технических требований к модернизации технологических линий с целью реализации концепции производства и оптимизации технологических процессов с учетом требований систем менеджмента ПК-5.У.1 уметь разрабатывать технические требования к модернизации технологических линий с учетом требований систем

	производства и оптимизации технологических процессов с учетом требований систем менеджмента	менеджмента ПК-5.В.1 владеть навыками разработки технических требований к модернизации технологических линий
Профессиональные компетенции	ПК-6 Способен подготовить и согласовать комплекты документации по предлагаемым к внедрению технологическим процессам с ответственными исполнителями смежных подразделений согласно бизнес-процессу систем менеджмента	ПК-6.3.1 знать особенности подготовки и согласования комплектов документации по предлагаемым к внедрению технологическим процессам с ответственными исполнителями смежных подразделений согласно бизнес-процессу систем менеджмента ПК-6.У.1 уметь подготавливать и согласовывать комплекты документации с ответственными исполнителями смежных подразделений ПК-6.В.1 владеть навыками подготовки комплектов документации
Профессиональные компетенции	ПК-7 Способен разработать методики и технические руководства для экспериментальной проверки технологических процессов и исследования параметров наноструктурных материалов	ПК-7.3.1 знать принципы разработки методик и технических руководств для экспериментальной проверки технологических процессов и исследования параметров наноструктурных материалов ПК-7.У.1 уметь планировать разработку методик и технических руководств для экспериментальной проверки технологических процессов и исследования параметров наноструктурных материалов ПК-7.В.1 владеть навыками разработки методик и технических руководств для экспериментальной проверки технологических процессов и исследования параметров наноструктурных материалов

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

Дисциплина базируется на знаниях, ранее приобретенных студентами при изучении следующих дисциплин:

- Физика;
- Химия;
- Измерительная техника;
- Микро- и наноэлектроника.

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и могут использоваться при изучении других дисциплин:

- Прикладная оптика.

### 3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам	
		№6	№7
1	2	3	4
<b>Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)</b>	7/ 252	3/ 108	4/ 144
<b>Из них часов практической подготовки</b>	68	34	34
<b>Аудиторные занятия, всего час.</b>	102	51	51
в том числе:			
лекции (Л), (час)	34	17	17
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	68	34	34
лабораторные работы (ЛР), (час)			
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)			
экзамен, (час)	36		36
<b>Самостоятельная работа, всего (час)</b>	114	57	57
<b>Вид промежуточной аттестации:</b> зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.**)	Зачет, Экз.	Зачет	Экз.

Примечание: \*\* кандидатский экзамен

### 4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
Семестр 6					
Раздел 1. <b>Основные процессы, протекающие в гетерогенных химико-технологических процессах</b>	5	10			15
Раздел 2. <b>Основные сведения из теории роста кристаллов</b>	4	8			14
Раздел 3. <b>Чистые вещества и физико-химические основы их получения</b>	4	8			14
Раздел 4. <b>Технология получения и легирования монокристаллов</b>	4	8			14
Итого в семестре:	17	34			57
Семестр 7					
Раздел 5. <b>Механическая обработка и химическое травление</b>	2	5			10
Раздел 6. <b>Методы окисления и диффузии</b>	2	9			9
Раздел 7. <b>Ионные пучки в микро- и нанотехнологиях</b>	2	5			10
Раздел 8. <b>Ионно-плазменная технология</b>	5	5			9

Раздел 9. Электронно-лучевые и лазерные технологии	4	5			9
Раздел 10. Литографические процессы	2	5			10
Итого в семестре:	17	34			57
Итого:	34	68	0	0	114

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

#### 4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
1	<b>Основные процессы, протекающие в гетерогенных химико-технологических процессах.</b> Понятие о технологических процессах. Классификация технологических процессов по физико-химической сущности: механический, термический, химический, корпускулярно-полевой. Виды термического и корпускулярно-волнового воздействий: резистивный, индукционный и лучистый нагрев, электронные и лазерные пучки, плазма и ионные пучки. Процессы массо- и теплопередачи. Конвективный тепло- и массообмен. Явления на границе раздела фаз. Представления теории пограничного слоя. Кинетика гетерогенных процессов. Режимы и лимитирующие стадии химических процессов.
2	<b>Основные сведения из теории роста кристаллов.</b> Идеальные и реальные поверхности кристалла. Сингулярные, вичинальные и диффузные грани. Гомогенное и гетерогенное образование зародышей. Двумерное зародышеобразование и ступени роста. Послойный и нормальный механизм роста. Рост реального кристалла и образование дефектов. Технология важнейших некристаллических материалов. Физико-химические основы формирования стекол. Аморфные материалы.
3	<b>Чистые вещества и физико-химические основы их получения.</b> Общая характеристика чистоты вещества и производственных помещений. Вакуум: глубина, средства откачки. Методы очистки полупроводниковых материалов. Сорбционные методы очистки. Метод жидкостной экстракции. Процессы перегонки через газовую фазу. Метод химических транспортных реакций. Кристаллизационные методы очистки. Эффективный и равновесный коэффициенты распределения. Основные требования, предъявляемые к полупроводниковым материалам. Марки полупроводниковых материалов и структур.
4	<b>Технология получения и легирования монокристаллов.</b> Получение монокристаллов из жидкой фазы. Методы выращивания кристаллов из расплава. Тепловые процессы на фронте кристаллизации. Особенности выращивания профильных кристаллов из расплава. Получение монокристаллов из растворов - расплавов. Зонная плавка с градиентом температур. Легирование монокристаллов в процессе получения из жидкой фазы. Получение однородно легированных монокристаллов в процессе выращивания методом направленной кристаллизации и зонной плавки. Аппаратурное оформление процессов при получении монокристаллов кремния, германия, соединений $A^3B^5$ . Методы жидкостной эпитаксии и их аппаратурная реализация. Получение монокристаллов из газовой фазы. Метод сублимации - конденсации. Выращивание монокристаллов методом химических реакций в газовой фазе.

	<p>Массоперенос и аппаратурные особенности газофазной эпитаксии. Методы легирования монокристаллов и эпитаксиальных слоев при выращивании из газовой фазы. Получение кристаллов и эпитаксиальных слоев кремния, карбида кремния, соединений <math>A^3B^5</math>, <math>A^2B^6</math>, <math>A^4B^6</math> и твердых растворов на их основе. Выращивание монокристаллов по механизму пар-жидкость-твердое.</p>
<b>5</b>	<p><b>Механическая обработка и химическое травление.</b> Методы ориентации монокристаллов. Резка монокристаллов. Шлифование и полирование пластин. Электрохимическая, ультразвуковая и электроэрозионная обработки. Механическое скрайбирование. Процессы химического травления: механизмы травления, оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления, локальное и анизотропное ориентационно-чувствительное травление, маскирующие, жертвенные и стоп-слои. Электрохимическое травление.</p>
<b>6</b>	<p><b>Методы окисления и диффузии.</b> Оборудование и методы окисления в газовой и жидкой средах: высокотемпературное термическое сухое и влажное окисление, теоретические модели окисления. Окисление и нитрирование в плазме. Диффузия примесей: распределение примесей при диффузии, стадии загонки и разгонки примесей, оборудование и методы диффузии из газообразных, жидких и твердых источников.</p>
<b>7</b>	<p><b>Ионные пучки в микро- и нанотехнологиях.</b> Воздействие ионов и ускоренных атомов на поверхность твердого тела. Торможение ионов в твердом теле. Элементы теории Линхарда-Шарфа-Шиотта. Удельные потери энергии и понятие тормозной способности ионов. Основные характеристики газоразрядной плазмы. Движение заряженных частиц в плазме. Плазма в электрическом поле и протекание тока. Плазма в переменных и скрещенных полях.</p> <p>Технологии ионного легирования ИЛ полупроводников. Расчет глубины залегания р-п-перехода. Влияние эффектов распыления поверхности и обратного рассеяния ионов на профиль распределения примеси. Образование дефектов в полупроводниках при ионной имплантации и радиационно-стимулированная диффузия. Отжиг ионно-легированных слоев. Оборудование для ионного легирования. Ионно-лучевое травление.</p>
<b>8</b>	<p><b>Ионно-плазменная технология.</b> Ионно-плазменное распыление ИПР. Зависимости коэффициента распыления от энергии иона, угла падения ионов, атомного номера мишени.</p> <p>Магнетронное распыление. Схемы процесса магнетронного распыления. Метод ВЧ-высокочастотного распыления. Осаждение и травление пленок с применением ВЧ разрядов.</p> <p>Плазмохимические реакции в газоразрядной плазме. Кинетика химических реакций в низкотемпературной плазме. Радиационно-стимулированный синтез материалов. Плазмохимическое травление.</p>
<b>9</b>	<p><b>Электронно-лучевые и лазерные технологии.</b> Энергетические потери электрона в твердом теле. Осаждение пленок в процессе электронно-лучевого испарения. Основные узлы термических электронно-лучевых установок. Термическое модифицирование поверхностных слоев. Нетермическая электронно-лучевая обработка. Сравнительная характеристика различных технологий микропрофилирования полупроводниковых пленочных структур.</p> <p>Взаимодействие лазерных пучков с веществом. Преобразование энергии лазерного излучения в тепловую энергию в металлах, полупроводниках и диэлектриках. Фотонно-стимулированные химические технологии осаждения и травления пленок и слоев. Лазерное скрайбирование.</p>
<b>10</b>	<p><b>Литографические процессы.</b> Методы литографии: фото-, рентгено-, электроно- и ионолитография. Ре-зисты и способы их нанесения. Фотошаблоны. Аппаратура и способы совмещения и экспонирования. Пространственное разрешение. Литография с использованием синхротронного излучения. Импринт-литография. Dip-rep литография.</p>

#### 4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
<b>Семестр 6</b>					
	<b>Раздел 1. Основные процессы, протекающие в гетерогенных химико-технологических процессах</b>	Совместное решение задач	9	2	1
	<b>Раздел 2. Основные сведения из теории роста кристаллов</b>	Совместное решение задач	9	2	2
	<b>Раздел 3. Чистые вещества и физико-химические основы их получения</b>	Совместное решение задач	9	2	3
	<b>Раздел 4. Технология получения и легирования монокристаллов</b>	Совместное решение задач	7	1	4
Итого в семестре:			34		
<b>Семестр 7</b>					
	<b>Раздел 5. Механическая обработка и химическое травление</b>	Совместное решение задач	5	1	5
	<b>Раздел 6. Методы окисления и диффузии</b>	Совместное решение задач	5	1	6
	<b>Раздел 7. Ионные пучки в микро- и нанотехнологиях</b>	Совместное решение задач	5	1	7
	<b>Раздел 8. Ионно-плазменная технология</b>	Совместное решение задач	5	1	8
	<b>Раздел 9. Электронно-лучевые и лазерные технологии</b>	Совместное решение задач	9	2	9
	<b>Раздел 10. Литографические процессы</b>	Совместное решение задач	5	1	10
Итого в семестре:			34		
Итого:			68		

#### 4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено				
	Всего			

#### 4.5. Курсовое проектирование/ выполнение курсовой работы

Учебным планом не предусмотрено

#### 4.6. Самостоятельная работа обучающихся

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 6, час	Семестр 7, час
1	2	3	4
изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	60	30	30
курсовое проектирование (КП, КР)			
расчетно-графические задания (РГЗ)			
выполнение реферата (Р)			
Подготовка к текущему контролю (ТК)	54	27	27
домашнее задание (ДЗ)			
контрольные работы заочников (КРЗ)			
<b>Самостоятельная работа, всего</b>	<b>114</b>	<b>57</b>	<b>57</b>

#### 5. Перечень учебно-методического обеспечения

для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. 7-11.

#### 6. Перечень печатных и электронных учебных изданий

Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.

Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр	Библиографическая ссылка / URL адрес	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
ЭБС Лань	Крутогин, Д.Г.Функциональные материалы электроники и их технологии: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М.: Издательство "МИСИС", 2015. — 98 с. — Режим	ЭБС Лань

	доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/116668">https://e.lanbook.com/book/116668</a> — Загл. с экрана.	
ЭБС Лань	Орликов, Л.Н. Технология материалов и изделий электронной техники. В 2-х ч.[Электронный ресурс] / — Электрон. дан. — Томск.: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. — 98 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/4932">https://e.lanbook.com/book/4932</a> — Загл. с экрана.	ЭБС Лань

### 7. Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a>	Лань : электронно-библиотечная система

### 8. Перечень информационных технологий

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

8.2. Перечень информационно-справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

### 9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Учебная аудитория для занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: Специализированная мебель; технические	196135, г. Санкт-Петербург, ул. Гастелло, д. 15, аудитория №32-02

	средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории; набор демонстрационного оборудования	
2	Учебная аудитория для практических занятий, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: Специализированная мебель; технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории; лабораторное оборудование (лабораторный комплекс ЛКК-2М №36 и №37 (НТЦ «Владис», г. Москва); лабораторные стенды И-АЧТ-ПО, УИС-АВ-ДР, УИС-АВ-УСП-ПО (ООО Профобразование, г. Казань); установки ФПК-03, ФПК-05, ФПК-10 (НПП «Учебная техника», г. Москва))	196135, г. Санкт-Петербург, ул. Гастелло, д. 15, аудитория №32-05

## 10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Экзамен	Список вопросов к экзамену; Экзаменационные билеты; Задачи; Тесты.
Зачет	Список вопросов; Тесты; Задачи.

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 –Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции 5-балльная шкала	Характеристика сформированных компетенций
«отлично» «зачтено»	– обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал; – уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; – опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; – умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; – делает выводы и обобщения; – свободно владеет системой специализированных понятий.
«хорошо» «зачтено»	– обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы; – не допускает существенных неточностей; – увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления;

Оценка компетенции	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– аргументирует научные положения;</li> <li>– делает выводы и обобщения;</li> <li>– владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы;</li> <li>– допускает несущественные ошибки и неточности;</li> <li>– испытывает затруднения в практическом применении знаний направления;</li> <li>– слабо аргументирует научные положения;</li> <li>– затрудняется в формулировании выводов и обобщений;</li> <li>– частично владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся не усвоил значительной части программного материала;</li> <li>– допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении;</li> <li>– испытывает трудности в практическом применении знаний;</li> <li>– не может аргументировать научные положения;</li> <li>– не формулирует выводов и обобщений.</li> </ul>

### 10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
	<b>Основные процессы, протекающие в гетерогенных химико-технологических процессах.</b> Понятие о технологических процессах. Классификация технологических процессов по физико-химической сущности: механический, термический, химический, корпускулярно-полевой. Виды термического и корпускулярно- волнового воздействий: резистивный, индукционный и лучистый нагрев, электронные и лазерные пучки, плазма и ионные пучки. Процессы массо- и тепло-передачи. Конвективный тепло- и массообмен. Явления на границе раздела фаз. Представления теории пограничного слоя. Кинетика гетерогенных процессов. Режимы и лимитирующие стадии химических процессов.	ПК-3.3.1
	<b>Основные сведения из теории роста кристаллов.</b> Идеальные и реальные поверхности кристалла. Сингулярные, вичиналь- ные и диффузные грани. Гомогенное и гетерогенное образование зародышей. Двумерное зародышеобразование и ступени роста. Послойный и нормальный механизм роста. Рост реального кристалла и образование дефектов. Технология важнейших некристаллических материалов. Физико- химические основы формирования стекол. Аморфные материалы.	ПК-3.У.1
	<b>Чистые вещества и физико-химические основы их получения.</b> Общая характеристика чистоты вещества и производственных помещений. Вакуум: глубина, средства откачки. Методы очистки полупроводниковых материалов. Сорбционные методы очистки. Метод жидкостной экстракции. Процессы перегонки через газовую фазу. Метод химических	ПК-3.В.1

	<p>транспортных реакций. Кристаллизационные методы очистки. Эффективный и равновесный коэффициенты распределения. Основные требования, предъявляемые к полупроводниковым материалам. Марки полупроводниковых материалов и структур.</p>	
	<p><b>Технология получения и легирования монокристаллов.</b> Получение монокристаллов из жидкой фазы. Методы выращивания кристаллов из расплава. Тепловые процессы на фронте кристаллизации. Особенности выращивания профильных кристаллов из расплава. Получение монокристаллов из растворов - расплавов. Зонная плавка с градиентом температур. Легирование монокристаллов в процессе получения из жидкой фазы. Получение однородно легированных монокристаллов в процессе выращивания методом направленной кристаллизации и зонной плавки. Аппаратурное оформление процессов при получении монокристаллов кремния, германия, соединений <math>A^3B^5</math>. Методы жидкостной эпитаксии и их аппаратурная реализация. Получение монокристаллов из газовой фазы. Метод сублимации - конденсации. Выращивание монокристаллов методом химических реакций в газовой фазе. Массоперенос и аппаратурные особенности газофазной эпитаксии. Методы легирования монокристаллов и эпитаксиальных слоев при выращивании из газовой фазы. Получение кристаллов и эпитаксиальных слоев кремния, карбида кремния, соединений <math>A^3B^5</math>, <math>A^2B^6</math>, <math>A^4B^6</math> и твердых растворов на их основе. Выращивание монокристаллов по механизму пар-жидкость-твердое.</p>	ПК-5.3.1
	<p><b>Механическая обработка и химическое травление.</b> Методы ориентации монокристаллов. Резка монокристаллов. Шлифование и полирование пластин. Электрохимическая, ультразвуковая и электроэрозионная обработки. Механическое скрайбирование. Процессы химического травления: механизмы травления, оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления, локальное и анизотропное ориентационно-чувствительное травление, маскирующие, жертвенные и стоп-слои. Электрохимическое травление.</p>	ПК-5.У.1
	<p><b>Методы окисления и диффузии.</b> Оборудование и методы окисления в газовой и жидкой средах: высокотемпературное термическое сухое и влажное окисление, теоретические модели окисления. Окисление и нитрирование в плазме. Диффузия примесей: распределение примесей при диффузии, стадии загонки и разгонки примесей, оборудование и методы диффузии из газообразных, жидких и твердых источников.</p>	ПК-5.В.1
	<p><b>Ионные пучки в микро- и нанотехнологиях.</b> Воздействие ионов и ускоренных атомов на поверхность твердого тела. Торможение ионов в твердом теле. Элементы теории Линхарда-Шарфа- Шютта. Удельные потери энергии и понятие тормозной способности ионов. Основные характеристики газоразрядной плазмы. Движение заряженных частиц в плазме. Плазма в электрическом поле и протекание тока. Плазма в переменных и скрещенных полях. Технологии ионного легирования ИЛ полупроводников. Расчет глубины залегания р-п-перехода. Влияние эффектов распыления поверхности и обратного рассеяния ионов на профиль распределения примеси. Образование дефектов в полупроводниках при ионной имплантации и радиационно-</p>	ПК-6.3.1

	стимулированная диффузия. Отжиг ионно-легированных слоев. Оборудование для ионного легирования. Ионно-лучевое травление.	
	<b>Ионно-плазменная технология.</b> Ионно-плазменное распыление ИПР. Зависимости коэффициента распыления от энергии иона, угла падения ионов, атомного номера мишени. Магнетронное распыление. Схемы процесса магнетронного распыления. Метод ВЧ-высокочастотного распыления. Осаждение и травление пленок с применением ВЧ разрядов. Плазмохимические реакции в газоразрядной плазме. Кинетика химических реакций в низкотемпературной плазме. Радиационно-стимулированный синтез материалов. Плазмохимическое травление.	ПК-6.У.1
	<b>Электронно-лучевые и лазерные технологии.</b> Энергетические потери электрона в твердом теле. Осаждение пленок в процессе электронно-лучевого испарения. Основные узлы термических электронно-лучевых установок. Термическое модифицирование поверхностных слоев. Нетермическая электронно-лучевая обработка. Сравнительная характеристика различных технологий микропрофилирования полупроводниковых пленочных структур.	ПК-6.В.1
	<b>Электронно-лучевые и лазерные технологии</b> Нетермическая электронно-лучевая обработка. Сравнительная характеристика различных технологий микропрофилирования полупроводниковых пленочных структур.	ПК-7.3.1
	<b>Электронно-лучевые и лазерные технологии</b> Взаимодействие лазерных пучков с веществом. Преобразование энергии лазерного излучения в тепловую энергию в металлах, полупроводниках и диэлектриках. Фотонно-стимулированные химические технологии осаждения и травления пленок и слоев. Лазерное скрайбирование.	ПК-7.У.1
	<b>Литографические процессы.</b> Методы литографии: фото-, рентгено-, электроно- и ионолитография. Резисты и способы их нанесения. Фотошаблоны. Аппаратура и способы совмещения и экспонирования. Пространственное разрешение. Литография с использованием синхротронного излучения. Импринт-литография. Dip-реп литография.	ПК-7.В.1

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.  
Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
	<b>Основные процессы, протекающие в гетерогенных химико-технологических процессах.</b> Понятие о технологических процессах. Классификация технологических процессов по физико-химической сущности: механический, термический, химический, корпускулярно-полевой. Виды термического и корпускулярно-волнового воздействий: резистивный, индукционный и лучистый нагрев, электронные и лазерные пучки, плазма и ионные пучки. Процессы массо- и теплопередачи. Конвективный тепло- и массообмен. Явления на границе раздела фаз. Представления теории пограничного слоя. Кинетика гетерогенных процессов. Режимы и лимитирующие	ПК-3.3.1

	стадии химических процессов.	
	<p><b>Основные сведения из теории роста кристаллов.</b> Идеальные и реальные поверхности кристалла. Сингулярные, вичинальные и диффузные грани. Гомогенное и гетерогенное образование зародышей. Двумерное зародышеобразование и ступени роста. Послойный и нормальный механизм роста. Рост реального кристалла и образование дефектов.</p> <p>Технология важнейших некристаллических материалов.</p> <p>Физико-химические основы формирования стекол. Аморфные материалы.</p>	ПК-3.У.1
	<p><b>Чистые вещества и физико-химические основы их получения.</b> Общая характеристика чистоты вещества и производственных помещений. Вакуум: глубина, средства откачки. Методы очистки полупроводниковых материалов. Сорбционные методы очистки. Метод жидкостной экстракции.</p> <p>Процессы перегонки через газовую фазу. Метод химических транспортных реакций. Кристаллизационные методы очистки. Эффективный и равновесный коэффициенты распределения. Основные требования, предъявляемые к полупроводниковым материалам. Марки полупроводниковых материалов и структур.</p>	ПК-3.В.1
	<p><b>Технология получения и легирования монокристаллов.</b> Получение монокристаллов из жидкой фазы. Методы выращивания кристаллов из расплава. Тепловые процессы на фронте кристаллизации. Особенности выращивания профильных кристаллов из расплава. Получение монокристаллов из растворов - расплаво. Зонная плавка с градиентом температур. Легирование монокристаллов в процессе получения из жидкой фазы. Получение однородно легированных монокристаллов в процессе выращивания методом направленной кристаллизации и зонной плавки. Аппаратурное оформление процессов при получении монокристаллов кремния, германия, соединений <math>A^3B^5</math>. Методы жидкостной эпитаксии и их аппаратурная реализация.</p> <p>Получение монокристаллов из газовой фазы. Метод сублимации - конденсации. Выращивание монокристаллов методом химических реакций в газовой фазе. Массоперенос и аппаратурные особенности газофазной эпитаксии. Методы легирования монокристаллов и эпитаксиальных слоев при выращивании из газовой фазы. Получение кристаллов и эпитаксиальных слоев кремния, карбида кремния, соединений <math>A^3B^5</math>, <math>A^2B^6</math>, <math>A^4B^6</math> и твердых растворов на их основе. Выращивание монокристаллов по механизму пар-жидкость-твердое.</p>	ПК-5.3.1
	<p><b>Механическая обработка и химическое травление.</b> Методы ориентации монокристаллов. Резка монокристаллов. Шлифование и полирование пластин. Электрохимическая, ультразвуковая и электроэрозионная обработки. Механическое скрайбирование. Процессы химического травления: механизмы травления, оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления, локальное и анизотропное ориентационно-чувствительное травление, маскирующие, жертвенные и стоп-слои. Электрохимическое травление.</p>	ПК-5.У.1
	<p><b>Методы окисления и диффузии.</b> Оборудование и методы окисления в газовой и жидкой средах: высокотемпературное термическое сухое и влажное окисление, теоретические модели окисления. Окисление и нитрирование в плазме. Диффузия</p>	ПК-5.В.1

	примесей: распределение примесей при диффузии, стадии загонки и разгонки примесей, оборудование и методы диффузии из газообразных, жидких и твердых источников.	
	<p><b>Ионные пучки в микро- и нанотехнологиях.</b> Воздействие ионов и ускоренных атомов на поверхность твердого тела. Торможение ионов в твердом теле. Элементы теории Линхарда-Шарфа-Шиотта. Удельные потери энергии и понятие тормозной способности ионов. Основные характеристики газоразрядной плазмы. Движение заряженных частиц в плазме. Плазма в электрическом поле и протекание тока. Плазма в переменных и скрещенных полях.</p> <p>Технологии ионного легирования ИЛ полупроводников. Расчет глубины залегания р-п-перехода. Влияние эффектов распыления поверхности и обратного рассеяния ионов на профиль распределения примеси. Образование дефектов в полупроводниках при ионной имплантации и радиационно-стимулированная диффузия. Отжиг ионно-легированных слоев. Оборудование для ионного легирования. Ионно-лучевое травление.</p>	ПК-6.3.1
	<p><b>Ионно-плазменная технология.</b> Ионно-плазменное распыление ИПР. Зависимости коэффициента распыления от энергии иона, угла падения ионов, атомного номера мишени.</p> <p>Магнетронное распыление. Схемы процесса магнетронного распыления. Метод ВЧ-высокочастотного распыления. Осаждение и травление пленок с применением ВЧ разрядов.</p> <p>Плазмохимические реакции в газоразрядной плазме. Кинетика химических реакций в низкотемпературной плазме. Радиационно-стимулированный синтез материалов. Плазмохимическое травление.</p>	ПК-6.У.1
	<p><b>Электронно-лучевые и лазерные технологии.</b> Энергетические потери электрона в твердом теле. Осаждение пленок в процессе электронно-лучевого испарения. Основные узлы термических электронно-лучевых установок. Термическое модифицирование поверхностных слоев. Нетермическая электронно-лучевая обработка. Сравнительная характеристика различных технологий микропрофилирования полупроводниковых пленочных структур.</p> <p>Взаимодействие лазерных пучков с веществом. Преобразование энергии лазерного излучения в тепловую энергию в металлах, полупроводниках и диэлектриках. Фотонно-стимулированные химические технологии осаждения и травления пленок и слоев. Лазерное скрайбирование.</p>	ПК-6.В.1
	<p><b>Литографические процессы.</b> Методы литографии: фото-, рентгено-, электроно- и ионолитография. Резисты и способы их нанесения. Фотошаблоны. Аппаратура и способы совмещения и экспонирования. Пространственное разрешение. Литография с использованием синхротронного излучения. Импринт-литография. Dip-реп литография.</p>	ПК-7.3.1

Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
	Не предусмотрено	

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
	Не предусмотрено

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины  
(Ниже приводятся рекомендации по составлению данного раздела)

11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала (если предусмотрено учебным планом по данной дисциплине).

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Структура предоставления лекционного материала:

В структуре каждой лекции выделяется три части: введение, основное содержание и заключение. Во введении устанавливается связь темы с пройденным материалом, определяются цели, задачи лекции, формулируется план лекции. Список информационных источников можно предложить во введении, а можно представить в конце лекции. На введение отводится 5–8 минут. В основном содержании отражаются ключевые идеи, теория вопроса. По возможности излагаются различные точки зрения. Представляются оценочные суждения лектора. Формулируются выводы после каждой логической части. В третьей части лекции – заключении – делаются обобщения и выводы в целом по теме. Идет презентация будущего лекционного материала. Преподаватель определяет направления самостоятельной работы студентов.

11.2. Методические указания для обучающихся по участию в семинарах *(если предусмотрено учебным планом по данной дисциплине)*

Учебным планом не предусмотрено

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий *(если предусмотрено учебным планом по данной дисциплине)*

Практическое занятие является одной из основных форм организации учебного процесса, заключающаяся в выполнении обучающимися под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с целью усвоения научно-теоретических основ учебной дисциплины, приобретения умений и навыков, опыта творческой деятельности.

Целью практического занятия для обучающегося является привитие обучающимся умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Планируемые результаты при освоении обучающимися практических занятий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

#### Требования к проведению практических занятий

Практические занятия по дисциплине состоят из трех структурных единиц:

- вводная часть,
- основная часть,
- заключительная часть.

Вводная часть обеспечивает подготовку студентов к выполнению заданий работы.

В ее состав входят:

- формулировка темы, цели и задач занятия, обоснование его значимости в профессиональной подготовке студентов;
- рассмотрение связей данной темы с другими темами курса;
- изложение теоретических основ работы;
- характеристика состава и особенностей заданий работы и объяснение подходов (методов, способов, приемов) к их выполнению;
- характеристика требований к результату работы;
- вводный инструктаж по технике безопасности при эксплуатации технических средств;

- проверка готовности студентов к выполнению заданий работы;
- пробное выполнение заданий под руководством преподавателя.

Основная часть предполагает самостоятельное выполнение заданий студентами.

Может сопровождаться:

- дополнительными разъяснениями по ходу работы;
- текущим контролем и оценкой результатов работы;
- ответами на вопросы студентов.

Заключительная часть содержит:

- подведение общих итогов (позитивных, негативных) занятия;
- оценку результатов работы отдельных студентов;
- ответы на вопросы студентов;
- выдачу рекомендаций по улучшению показателей работы и устранению пробелов в системе знаний и умений студентов;
- сбор отчетов студентов по выполненной работе для проверки преподавателем;
- изложение сведений о подготовке к выполнению следующей работы, в частности, о подлежащей изучению учебной литературе.

11.4. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ *(если предусмотрено учебным планом по данной дисциплине)*

Учебным планом не предусмотрено

11.5. Методические указания для обучающихся по прохождению курсового проектирования/выполнения курсовой работы *(если предусмотрено учебным планом по данной дисциплине)*

Учебным планом не предусмотрено

11.6. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Для обучающихся по заочной форме обучения, самостоятельная работа может включать в себя контрольную работу.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине;
- методические указания по выполнению контрольных работ (для обучающихся по заочной форме обучения).

11.7. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

Основными методами текущего контроля успеваемости являются:

- устный опрос по отдельным темам, разделам дисциплин (модулей);
- проверка выполнения письменных домашних и лабораторных заданий, практических и расчетно-графических работ;
- тестирование, контроль самостоятельной работы (в письменной или устной форме);
- проверка типовых расчетов, рефератов.

Требования к текущему контролю успеваемости:

- преподаватель информирует обучающихся о применяемой системе текущего контроля успеваемости на первом занятии.
- текущий контроль успеваемости по дисциплине проводится не менее двух раз в семестр.

При проведении промежуточной аттестации будут учитываться:

- посещаемость занятия студентами;
- подготовленность студентов к занятию;
- наличие в необходимом количестве защищенных отчетов по лабораторным и практическим работам;
- наличие реферата и отчетов по домашним заданиям, выполненным в ходе самостоятельной работы;
- число баллов, набранных обучающимся по дисциплине на момент реализации текущего контроля успеваемости.

11.8. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

– экзамен – форма оценки знаний, полученных обучающимся в процессе изучения всей дисциплины или ее части, навыков самостоятельной работы, способности применять их для решения практических задач. Экзамен, как правило, проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

– зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся в ходе изучения учебной дисциплины в целом или промежуточная (по окончании семестра) оценка знаний обучающимся по отдельным разделам дисциплины с аттестационной оценкой «зачтено» или «не зачтено».

– дифференцированный зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся при изучении дисциплины, при выполнении курсовых проектов, курсовых работ, научно-исследовательских работ и прохождении практик с аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Учебным планом по дисциплине предусматривает окончательный контроль по дисциплине в форме зачета и экзамена.

Зачет выставляется обучающимся при условии:

- наличия в необходимом количестве защищенных отчетов по лабораторным работам;
- наличия реферата, выполненного в ходе самостоятельной работы;
- письменных и устных ответов на два вопроса из перечня вопросов к зачету по дисциплине.

Допуск к сдаче экзамена обучающийся получает при условии:

- наличия в необходимом количестве защищенных отсчетов по лабораторным и практическим работам;

- наличия реферата, выполненного в ходе самостоятельной работы.

Экзаменационная оценка выставляется с учетом итогового количества баллов, набранных в ходе текущего контроля по дисциплине, а также результата аттестации письменных и устных ответов на два вопроса из перечня вопросов к экзамену по дисциплине.

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой