**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента по УР
_____Ким М.Ю.
«29» _____10_____ 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Электроника, микроэлектроника и программирование цифровых устройств**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**
Кафедра: **институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**
Курс: **3**
Семестр: **5**
Учебный план набора 2026 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | 5 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|
| Лекционные занятия | 26 | 26 | часов |
| Практические занятия | 18 | 18 | часов |
| Самостоятельная работа | 64 | 64 | часов |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию) | 144 | 144 | часов |
| | 4 | 4 | з.е. |

| Формы промежуточной аттестации | Семестр |
|---|---|
| Экзамен | 5 |

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ким М.Ю.
Должность: Директор департамента по УР
Дата подписания: 29.10.2025
Уникальный программный ключ:
ed789cd8-2cc6-4431-a59e-8f386b1d44fa

Томск

Согласована на портале № 84221

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели дисциплины

1. Формирование знаний в области технологии материалов микро- и наноэлектроники.

### 1.2. Задачи дисциплины

1. Изучение теоретических основ и общих физико-химических закономерностей протекания технологических процессов.
2. Изучение основных технологических процессов производства материалов, выпускаемых для микро- и наноэлектроники.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Индекс дисциплины: Б1.В.ДВ.01.02.03.
Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):
Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

| Компетенция | Индикаторы достижения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине |
|---|---|---|
| **Универсальные компетенции** | | |
| - | - | - |
| **Общепрофессиональные компетенции** | | |
| - | - | - |
| **Профессиональные компетенции** | | |
| ПК-6. Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники | ПК-6.1. Знает технологические основы производства материалов и изделий электронной техники | Знает технологические основы производства полупроводниковых (кремний, арсенид галия) и диэлектрических материалов (стекла, ситаллы, керамика). |
| | ПК-6.2. Умеет выполнять отдельные технологические операции по производству материалов и изделий электронной техники | Умеет выполнять технологические операции получения кристаллов из твердой фазы и расплавов, операции эпитаксиального наращивания кремния, операции легирования кристаллов и т.д. |
| | ПК-6.3. Владеет навыками построения технологических маршрутов изготовления материалов и изделий электронной техники | Владеет навыками построения технологических маршрутов получения монокристаллов кремния от подготовки оборудования до выращивания кристалла с заданными параметрами. |

Согласована на портале № 84221

| | | |
|---|---|---|
| ПК-7. Способен организовывать метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники | ПК-7.1. Знает основные стандарты по метрологическому обеспечению изделий электронной техники | Знает основы метрологии полупроводниковых материалов |
| | ПК-7.2. Умеет проводить измерения в соответствии со стандартами | Умеет проводить электрические и оптические измерения полупроводниковых материалов. |
| | ПК-7.3. Владеет навыками работы на стандартном измерительном оборудовании | Владеет навыками работы на оборудовании для измерения полупроводниковых материалов. |

## 4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 5 семестр |
| **Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего** | 44 | 44 |
| Лекционные занятия | 26 | 26 |
| Практические занятия | 18 | 18 |
| **Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего** | 64 | 64 |
| Подготовка к тестированию | 28 | 28 |
| Подготовка к контрольной работе | 12 | 12 |
| Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 24 | 24 |
| **Подготовка и сдача экзамена** | 36 | 36 |
| **Общая трудоемкость (в часах)** | 144 | 144 |
| **Общая трудоемкость (в з.е.)** | 4 | 4 |

## 5. Структура и содержание дисциплины

### 5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

| Названия разделов (тем) дисциплины | Лек. зан., ч | Прак. зан., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|
| **5 семестр** | | | | | |
| 1 Введение, цели и задачи дисциплины | 2 | - | 4 | 6 | ПК-6, ПК-7 |
| 2 Основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах | 4 | 6 | 16 | 26 | ПК-6, ПК-7 |
| 3 Кинетика гетерогенных процессов | 2 | 2 | 10 | 14 | ПК-6, ПК-7 |
| 4 Процессы измельчения, разделения и очистки веществ | 4 | 4 | 14 | 22 | ПК-6, ПК-7 |

Согласована на портале № 84221

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 Механизмы и кинетика роста кристаллов | 4 | 4 | 8 | 16 | ПК-6, ПК-7 |
| 6 Физико-химические основы легирования кристаллов | 6 | 2 | 8 | 16 | ПК-6, ПК-7 |
| 7 Методы получения некристаллических и композиционных материалов | 4 | - | 4 | 8 | ПК-6, ПК-7 |
| Итого за семестр | 26 | 18 | 64 | 108 | |
| Итого | 26 | 18 | 64 | 108 | |

### 5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.
Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

| Названия разделов (тем) дисциплины | Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) | Трудоемкость (лекционные занятия), ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| **5 семестр** | | | |
| 1 Введение, цели и задачи дисциплины | Основные проблемы и задачи курса. Основные определения. Классификация технологических процессов. Общая классификация материалов по составу свойствам и техническому назначению. | 2 | ПК-6, ПК-7 |
| | Итого | 2 | |
| 2 Основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах | Массо- и теплопередача в неподвижной среде. Теплопроводность. Тепловое излучение. Конвекция. Основы кинетики процессов массопередачи. Электроперенос. Перенос вещества в вакууме. Явления на границе раздела фаз. Основы газодинамики. Динамическая и кинематическая вязкость вещества. Динамический, диффузионный и тепловой пограничные слои | 4 | ПК-6, ПК-7 |
| | Итого | 4 | |
| 3 Кинетика гетерогенных процессов | Классификация химических реакций. Равновесие в химикотехнологических процессах. Кинетика химических процессов | 2 | ПК-6, ПК-7 |
| | Итого | 2 | |

Согласована на портале № 84221

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 Процессы измельчения, разделения и очистки веществ | Способы измельчения и рассеивания твердых тел. Общая характеристика чистоты вещества. Сорбционные процессы. Сущность ионного обмена. Хроматография. Процессы жидкостной экстракции. Принцип очистки кристаллизацией. Перегонка через газовую фазу. Очистка веществ с помощью химических транспортных реакций. Электрохимические методы разделения и очистки. Другие методы | 4 | ПК-6, ПК-7 |
| | Итого | 4 | |
| 5 Механизмы и кинетика роста кристаллов | Образование кристаллических зародышей и стеклование. Поверхностная кинетика роста кристаллов. Влияние примесей на процессы роста кристаллов. Получение кристаллов из жидкой, паровой и твердой фаз. Метод вытягивания кристаллов из расплавов. Метод зонной плавки. Выращивание кристаллов из растворов. Получение профильных монокристаллов. Разновидности эпитаксиальных процессов. Эпитаксия кремния | 4 | ПК-6, ПК-7 |
| | Итого | 4 | |
| 6 Физико-химические основы легирования кристаллов | Радиационное легирование. Кристаллизация расплава, содержащего легирующую примесь. Распределение примесей в выращиваемых кристаллах. Коэффициент распределения примеси. Методы получения однородно легированных кристаллов. Расчет распределения примесей при процессах кристаллизации. Методы выравнивания состава кристаллов | 6 | ПК-6, ПК-7 |
| | Итого | 6 | |
| 7 Методы получения некристаллических и композиционных материалов | Строение, свойства и виды стекол. Получение силикатных стекол. Получение стеклокристаллических материалов. Ситаллы. Строение и состав керамических материалов. Закономерности процесса формования заготовок керамических изделий. Полимерные композиции. | 4 | ПК-6, ПК-7 |
| | Итого | 4 | |

Согласована на портале № 84221

| | | |
|---|---|---|
| Итого за семестр | 26 | |
| Итого | 26 | |

### 5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов (тем) дисциплины | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| **5 семестр** | | | |
| 2 Основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах | Расчет коэффициентов динамической, кинематической вязкости и взаимодиффузии. | 2 | ПК-6, ПК-7 |
| | Газодинамика в трубчатом реакторе. | 2 | ПК-6, ПК-7 |
| | Динамический, диффузионный и тепловой пограничные слои. | 2 | ПК-6, ПК-7 |
| | Итого | 6 | |
| 3 Кинетика гетерогенных процессов | Кинетика гетерогенных процессов. Сорбционные процессы. | 2 | ПК-6, ПК-7 |
| | Итого | 2 | |
| 4 Процессы измельчения, разделения и очистки веществ | Перегонка через газовую фазу. Жидкостная экстракция. | 4 | ПК-6, ПК-7 |
| | Итого | 4 | |
| 5 Механизмы и кинетика роста кристаллов | Фазовые равновесия в расплавах. Эпитаксиальные процессы. | 4 | ПК-6, ПК-7 |
| | Итого | 4 | |
| 6 Физико-химические основы легирования кристаллов | Распределение примесей в выращиваемых кристаллах. | 2 | ПК-6, ПК-7 |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 18 | |
| Итого | | 18 | |

### 5.4. Лабораторные занятия

Не предусмотрено учебным планом

### 5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

### 5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов (тем) дисциплины | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|

Согласована на портале № 84221

| 5 семестр | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 Введение, цели и задачи дисциплины | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-6, ПК-7 | Тестирование |
| | Итого | 4 | | |
| 2 Основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-6, ПК-7 | Тестирование |
| | Подготовка к контрольной работе | 6 | ПК-6, ПК-7 | Контрольная работа |
| | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 6 | ПК-6, ПК-7 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Итого | 16 | | |
| 3 Кинетика гетерогенных процессов | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-6, ПК-7 | Тестирование |
| | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 6 | ПК-6, ПК-7 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Итого | 10 | | |
| 4 Процессы измельчения, разделения и очистки веществ | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-6, ПК-7 | Тестирование |
| | Подготовка к контрольной работе | 6 | ПК-6, ПК-7 | Контрольная работа |
| | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 4 | ПК-6, ПК-7 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Итого | 14 | | |
| 5 Механизмы и кинетика роста кристаллов | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-6, ПК-7 | Тестирование |
| | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 4 | ПК-6, ПК-7 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Итого | 8 | | |
| 6 Физико-химические основы легирования кристаллов | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-6, ПК-7 | Тестирование |
| | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 4 | ПК-6, ПК-7 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Итого | 8 | | |
| 7 Методы получения некристаллических и композиционных материалов | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-6, ПК-7 | Тестирование |
| | Итого | 4 | | |
| Итого за семестр | | 64 | | |

Согласована на портале № 84221

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| | Итого | 100 | | |

### 5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Формируемые компетенции | Виды учебной деятельности | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| | Лек. зан. | Прак. зан. | Сам. раб. | |
| ПК-6 | + | + | + | Контрольная работа, Отчет по практическому занятию (семинару), Тестирование, Экзамен |
| ПК-7 | + | + | + | Контрольная работа, Отчет по практическому занятию (семинару), Тестирование, Экзамен |

## 6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

| Формы контроля | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|---|---|---|---|---|
| **5 семестр** | | | | |
| Контрольная работа | 10 | 10 | 10 | 30 |
| Тестирование | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Отчет по практическому занятию (семинару) | 10 | 10 | 5 | 25 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Итого максимум за период | 25 | 25 | 20 | 100 |
| Нарастающим итогом | 25 | 50 | 70 | 100 |

### 6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

| Баллы на дату текущего контроля | Оценка |
|---|---|
| ≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 5 |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 4 |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 3 |
| < 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 2 |

### 6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Согласована на портале № 84221

| Оценка | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен | Оценка (ECTS) |
|---|---|---|
| 5 (отлично) (зачтено) | 90 – 100 | A (отлично) |
| 4 (хорошо) (зачтено) | 85 – 89 | B (очень хорошо) |
| | 75 – 84 | C (хорошо) |
| | 70 – 74 | D (удовлетворительно) |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено) | 65 – 69 | |
| | 60 – 64 | E (посредственно) |
| 2 (неудовлетворительно) (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1. Основная литература

1. Технология материалов электронной техники : Учебное пособие / А. А. Жигальский ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 151[1] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 98 экз.).

### 7.2. Дополнительная литература

1. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов : Учебник для вузов / Ю. М. Таиров, В. Ф. Цветков. - 3-е изд., стереотип. - СПб. : Лань, 2002. - 424 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 212 экз.).
2. Калашников, Е. Г. Введение в материаловедение : учебное пособие / Е. Г. Калашников. — Ульяновск : УлГУ, 2019. — 204 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/166074.

### 7.3. Учебно-методические пособия

#### 7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Технология материалов электронной техники : Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе / А. А. Жигальский ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 49 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 47 экз.).

#### 7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**
– в форме электронного документа;
– в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**
– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**
– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

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

Согласована на портале № 84221

При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

## 8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

### 8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

### 8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации; 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 133 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Панель интерактивная;
- Камера;
- Микрофон;
- Тумба для докладчика;
- Магнитно-маркерная доска;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

### 8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 101 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 107 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 130 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### 8.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

Согласована на портале № 84221

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## 9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

| Названия разделов (тем) дисциплины | Формируемые компетенции | Формы контроля | Оценочные материалы (ОМ) |
|---|---|---|---|
| 1 Введение, цели и задачи дисциплины | ПК-6, ПК-7 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 2 Основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах | ПК-6, ПК-7 | Контрольная работа | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |
| 3 Кинетика гетерогенных процессов | ПК-6, ПК-7 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |

Согласована на портале № 84221

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 Процессы измельчения, разделения и очистки веществ | ПК-6, ПК-7 | Контрольная работа | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |
| 5 Механизмы и кинетика роста кристаллов | ПК-6, ПК-7 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |
| 6 Физико-химические основы легирования кристаллов | ПК-6, ПК-7 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |
| 7 Методы получения некристаллических и композиционных материалов | ПК-6, ПК-7 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

| Оценка | Баллы за ОМ | Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения | | |
|---|---|---|---|---|
| | | знать | уметь | владеть |
| 2 (неудовлетворительно) | < 60% от максимальной суммы баллов | отсутствие знаний или фрагментарные знания | отсутствие умений или частично освоенное умение | отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков |
| 3 (удовлетворительно) | от 60% до 69% от максимальной суммы баллов | общие, но не структурированные знания | в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение | в целом успешное, но не систематическое применение навыков |

Согласована на портале № 84221

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 4 (хорошо) | от 70% до 89% от максимальной суммы баллов | сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков |
| 5 (отлично) | ≥ 90% от максимальной суммы баллов | сформированные систематические знания | сформированное умение | успешное и систематическое применение навыков |

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

| Оценка | Формулировка требований к степени компетенции |
|---|---|
| 2 (неудовлетворительно) | Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале<br>или<br>Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения. |
| 3 (удовлетворительно) | Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях. |
| 4 (хорошо) | Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения. |
| 5 (отлично) | Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины. |

### 9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. При расчете какого параметра учитывают Число Рейнольдса?
    1. конвективного теплообмена;
    2. диффузионных процессов;
    3. лимитирующей стадии технологического процесса.
2. При расчете какого параметра учитывается коэффициент взаимодиффузии?
    1. скорости потока газа;
    2. толщины динамического пограничного слоя;
    3. толщины диффузионного пограничного слоя;
    4. числа Рейнольдса.
3. От чего не зависит число Рейнольдса?
    1. от радиуса реактора;
    2. от плотности газа;
    3. от длины реактора;
    4. от площади сечения реактора.
4. В следствие чего возникает динамический пограничный слой?

Согласована на портале № 84221

1. химической активности газа;
2. наличия разности температур на концах реактора;
3. наличия вязкости газа;
4. наличия диффузии газа.

5. Самой медленной стадией процесса является химическое взаимодействие. В какой области идет процесс?
    1. в диффузионной области;
    2. в смешанной области;
    3. в кинетической области;
    4. определить невозможно.
6. С чем связан перепад давления в реакторе при течении газа?
    1. числом Шмидта;
    2. геометрическим фактором реактора;
    3. числом Прандтля;
    4. температурой процесса.
7. Что означает степень превращения вещества?
    1. разность количества израсходованного основного реагента и его количества в начале процесса;
    2. отношение количества израсходованного основного реагента к общему его количеству в начале процесса;
    3. отношение количества израсходованного основного реагента к количеству полученного продукта;
    4. разность количества основного реагента и количества полученного продукта.
8. Что не входит в критерий Фурье F0?
    1. время;
    2. плотность;
    3. геометрический фактор;
    4. температуропроводность.
9. Что не входит в выражение для изотермы адсорбции в рамках теории Ленгмюра?
    1. температура;
    2. давление;
    3. концентрация;
    4. сорбционная емкость вещества.
10. Что предполагает использование ионитов?
    1. химическое взаимодействие в растворе;
    2. выпадение ионов в осадок;
    3. обмен ионами;
    4. соединение ионов в молекулу.
11. Что происходит в процессе жидкостной экстракции (3 компонента)?
    1. выпадение в осадок одного из компонентов;
    2. перераспределение одного компонента;
    3. полное смешение компонентов;
    4. полное расслоение всех компонентов.
12. Как определяется коэффициент распределения К0 в процессах кристаллизации?
    1. Сж/Ств;
    2. Ств/Сж;
    3. Ств -Сж;
    4. (Ств-1)/Сж.
13. Что лежит в основе процесса очистки веществ кристаллизацией?
    1. образование интерметаллических соединений;
    2. способность веществ расслаиваться при плавлении;
    3. значительное уменьшение коэффициента диффузии вещества в твердой фазе в сравнении с жидкой;
    4. равенство температур плавления компонентов системы.
14. От чего зависит теплота адсорбции?
    1. температуры и концентрации газа;
    2. количества адсорбированного вещества;

Согласована на портале № 84221

3. вида адсорбции;
4. давления и концентрации газа.

15. Чем характеризуется фаза рафината в процессе жидкостной экстракции?
    1. низким содержание 3-го компонента;
    2. наличием экстрагента;
    3. высоким содержание 3-го компонента;
    4. отсутствием 3-го компонента.
16. Что позволяет определить закон Дальтона?
    1. состав жидкой смеси;
    2. состав пара;
    3. температуру пара;
    4. температуру жидкой смеси.
17. Что предполагает фронтальный метод проведения хроматографии?
    1. использование проявителя;
    2. использование вытеснителя;
    3. отсутствие дополнительных веществ;
    4. использование жидкого поглотителя.
18. На что подразделяются вещества, называемые красителями в производстве стёкол?
    1. молекулярные и коллоидные;
    2. опаловые и молочные;
    3. физические и химические;
    4. активные и неактивные.
19. Высокая чистота поверхности керамического изделия достигается при использовании какого метода?
    1. литья кокиль;
    2. центробежного литья;
    3. намораживания;
    4. литья под давлением.
20. Для чего предназначен процесс закалки стекла?
    1. устранения имеющиеся остаточных напряжений;
    2. искусственного создания в стекле равномерно распределенных напряжений;
    3. повышения прозрачности стекла;
    4. снижения прозрачности стекла.

### 9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Основные понятия и определения курса ТММиН.
2. Процессы теплопередачи.
3. Расчет нагрева тел.
4. Основы кинетики процессов массопередачи (диффузия).
5. Основные законы газодинамики. Ламинарный и турбулентный режимы.
6. Явления переноса в газах. Динамическая и кинематическая вязкость, взаимодиффузия.
7. Динамический, диффузионный и тепловой пограничные слои.
8. Классификация химических реакций. Равновесие в химико-технологических процессах.
9. Кинетика химических процессов.
10. Общая характеристика чистоты вещества. Способы измельчения и рассеивания твердых тел.
11. Сорбционные процессы. Адсорбция Ленгмюра.
12. Сущность ионного обмена.
13. Хроматография. Типы хроматографических процессов.
14. Процессы жидкостной экстракции.
15. Принцип очистки кристаллизацией. Равновесный и эффективный коэффициент распределения.
16. Перегонка через газовую фазу.
17. Очистка веществ с помощью химических транспортных реакций.
18. Электрохимические методы очистки.
19. Образование кристаллических зародышей и стеклование.
20. Гомогенное и гетерогенное зарождение центров новой фазы.

Согласована на портале № 84221

21. Общие закономерности роста кристаллов. Послойный и нормальный рост кристаллов.
22. Получение кристаллов из твердой фазы.
23. Получение кристаллов из расплавов.
24. Выращивание кристаллов из газовой фазы.
25. Получение профильных монокристаллов.
26. Эпитаксиальные процессы. Эпитаксия кремния.
27. Распределение примеси в выращиваемых кристаллах. Факторы, влияющие на неоднородность распределения примеси в кристаллах.
28. Методы получения однородно легированных кристаллов
29. Строение и свойства стекол.
30. Получение стеклокристаллических материалов (ситаллы).
31. Строение и состав керамических материалов.
32. Способы формования заготовок керамических изделий.

### 9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

1. При $T = 473$ К протекает реакция диссоциации HI. Константа равновесия Кр = 1/64. Найти концентрации всех веществ (HI, $H_2$, $I_2$) в состоянии равновесия, если в начале было взято 4 моль HI. Объем системы 10 л.
2. Найти коэффициент кинематической вязкости газа, если установлено, что при его движении по реактору диаметром $d = 0{,}3$ м и длиной $l = 1$ м со скоростью $u = 5$ м/с число Рейнольдса равно 1240. Температура процесса $T = 700$ К.
3. Сурьма диффундирует в кремний из тонкого слоя. Коэффициент диффузии сурьмы $D = 2*10^{-12}$ см$^2$/с, начальная концентрация сурьмы в тонком слое $N_0 = 10^{17}$см$^{-3}$. На глубине 2 мкм концентрация сурьмы равна $10^{15}$см$^{-3}$. Определите время диффузии. Ответ дать в минутах.
4. Найти коэффициент кинематической вязкости газа, если установлено, что при его движении по реактору диаметром $d = 0{,}4$ м и длиной $l = 1{,}2$ м со скоростью $u = 4$ м/с число Рейнольдса равно 1650. Температура процесса $T = 388$ К.
5. Фосфор диффундирует в кремний из тонкого слоя. Коэффициент диффузии фосфора $D = 10^{-12}$ см$^2$/с. Начальная концентрация фосфора в тонком слое $N_0 = 10^{17}$см$^{-3}$. На глубине X= 2,6 мкм концентрация фосфора равна $2*10^{15}$см$^{-3}$. Определить время диффузии. Ответ дать в минутах.

### 9.1.4. Темы практических занятий

1. Расчет коэффициентов динамической, кинематической вязкости и взаимодиффузии.
2. Газодинамика в трубчатом реакторе.
3. Динамический, диффузионный и тепловой пограничные слои.
4. Кинетика гетерогенных процессов. Сорбционные процессы.
5. Перегонка через газовую фазу. Жидкостная экстракция.
6. Фазовые равновесия в расплавах. Эпитаксиальные процессы.
7. Распределение примесей в выращиваемых кристаллах.

## 9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами

Согласована на портале № 84221

электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

### 9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями зрения | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам | Преимущественно устная проверка (индивидуально) |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

### 9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;

– в печатной форме с увеличенным шрифтом;

– в форме электронного документа;

– методом чтения ассистентом задания вслух;

– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;

– набор ответов на компьютере;

Согласована на портале № 84221

– набор ответов с использованием услуг ассистента;
– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**
– в форме электронного документа;
– в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**
– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**
– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 84221

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 172 от «16» 10 2025 г.

**СОГЛАСОВАНО:**

| Должность | Инициалы, фамилия | Подпись |
|---|---|---|
| Заведующий выпускающей каф. ИРЭТ | А.М. Заболоцкий | Согласовано, 47c2d4ff-8c0e-484c-b856-20e4ba4f0e52 |
| Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ | Ю.В. Сахаров | Согласовано, dd1f7cbe-1ce6-48e6-b40d-074633a5bd8a |
| Начальник учебного управления | Г.А. Цой | Согласовано, 8a5745e4-63a0-4946-bbb0-ce4977ac113e |

**ЭКСПЕРТЫ:**

| | | |
|---|---|---|
| Заведующий кафедрой, каф. СВЧиКР | А.М. Заболоцкий | Согласовано, 47c2d4ff-8c0e-484c-b856-20e4ba4f0e52 |
| Профессор, каф. ФЭ | Ю.В. Сахаров | Согласовано, dd1f7cbe-1ce6-48e6-b40d-074633a5bd8a |

**РАЗРАБОТАНО:**

| | | |
|---|---|---|
| Ассистент, каф. ФЭ | С.П. Иваничко | Разработано, 275f90b1-6fb5-4de4-9b3e-36c6ec230ad7 |
| Доцент, каф. ФЭ | А.А. Жигальский | Разработано, fc30e35a-b688-4072-a76f-f433f8480d7c |

Согласована на портале № 84221