

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 26.09.2023 17:14:17  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
«24» мая 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ХИМИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ**  
**И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Направление подготовки

**22.04.01 Материаловедение и технологии материалов**

Направленность программы магистратуры

**Функциональные наноматериалы и покрытия для твердотельной электроники**

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **Химии веществ и материалов**


Кафедра **Химии и технологии электровакуумных материалов (базовая)**

Санкт-Петербург

2021

**Б1.В.ДВ.02.02**

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Доцент		доцент Л.А. Макарова

Рабочая программа дисциплины «Химия и технология электровакуумных и полупроводниковых материалов» обсуждена на совместном заседании кафедры химии и технологии электровакуумных материалов (базовая) и кафедры химической нанотехнологии и материалов электронной техники

протокол от \_15.04.2021 № 9

Заведующий кафедрой ХИТЭМ



доцент Н.А.Куликов

Заведующий кафедрой ХНИМЭТ

профессор А.А. Малыгин

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов  
протокол от 20.05. 2021 № 8

Председатель

доцент С.Г. Изотова

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель ООП «Материаловедение и технологии материалов»		доцент Н.В. Захарова
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник УМУ		С.Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	04
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	05
3. Объем дисциплины .....	05
4. Содержание дисциплины .....	06
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	06
4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины ....	08
4.3. Занятия лекционного типа .....	09
4.4. Занятия семинарского типа.....	13
4.4.1. Семинары, практические занятия .....	13
4.4.2. Лабораторные занятия .....	13
4.5. Самостоятельная работа.....	14
4.5.1. Темы курсовых работ.....	18
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	19
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	19
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	19
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	20
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	20
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	21
10.1. Информационные технологии .....	21
10.2. Программное обеспечение.....	21
10.3. Базы данных и информационные справочные системы .....	21
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	22
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	22
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	23

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

Для освоения образовательной программы магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p><b>ПК-2</b> Способен осуществлять рациональный выбор материалов и оптимизировать их расходование на основе анализа заданных условий эксплуатации материалов, оценки их надежности, экономической и экологических последствий применения</p>	<p><b>ПК-2.3</b> Разработка методов и средств автоматизации процессов производства, выбор оборудования и оснастки, методов и приемов организации труда, обеспечивающих эффективное, технически и экологически безопасное производство различных функциональных наноматериалов.</p>	<p><b>Знать:</b> - современный уровень электровакуумной техники и полупроводниковой микро- и нанотехнологии (ЗН-1). <b>Уметь:</b> - выдавать задания на модернизацию и проектирование технологических процессов (У-1). <b>Владеть:</b> - информацией о свойствах наноматериалов, приборной базе и оборудовании в технологии электровакуумной техники и наноэлектроники (Н-1)</p>
<p><b>ПК-3</b> Способен осуществлять анализ новых технологий производства материалов и разрабатывать рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности</p>	<p><b>ПК-3.5</b> Использование технических средств для измерения и контроля основных параметров технологических процессов, структуры и свойств пленочных функциональных наноматериалов и изделий из них.</p>	<p><b>Знать:</b> - особенности технологии материалов, используемых в современной электровакуумной технике, полупроводниковой микро- и наноэлектронике (ЗН-2). <b>Уметь:</b> - самостоятельно проектировать технологические процессы производства материала и изделий из него с заданными характеристиками (У-2).</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина "Химия и технология электровакуумных и полупроводниковых материалов" относится к дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы магистратуры (Б1.В.ДВ.02.02) и изучается на втором году обучения в 3 семестре.

Изучение дисциплины базируется на знаниях и умениях, полученных в ходе обучения по программам бакалавриата по направлению подготовки 22.03.01 при изучении курсов "Физика", "Физическая химия твердого тела и наноразмерных систем", "Химическая технология наноматериалов и наносистем", а также дисциплин "Физико-химические методы исследования твердых веществ в наноразмерном состоянии" и "Получение и анализ чистых и особоочистых веществ", читаемых на I курсе магистратуры.

Полученные в процессе освоения дисциплины знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе магистранта, а также при выполнении магистерских диссертаций по тематике, связанной с созданием электровакуумных и полупроводниковых материалов, технологий и изделий.

## 3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц / академических часов)	<b>6 / 216</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>125</b>
занятия лекционного типа	34
занятия семинарского типа, в т.ч.	68
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	-
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	68 (68)
курсовое проектирование (КР или КП)	17
КСР	6
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>91</b>
<b>Формы текущего контроля</b>	-
<b>Форма промежуточной аттестации</b>	<b>зачет, КП</b>

#### 4. Содержание дисциплины

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Химические аспекты планарной технологии. Физические явления, характерные для полупроводников	2		12	4	ПК-3.5
2	Классификация полупроводниковых веществ. Особенности проявления полупроводниковых свойств веществ в различных агрегатных состояниях	2			6	ПК-3.5
3	Глубокая очистка полупроводниковых веществ	2			4	ПК-2.3
4	Методы определения следов примесей. Техника проведения анализа особо чистых веществ. Чувствительность методов химического анализа. Физические методы исследования состава полупроводниковых веществ	2			6	ПК-3.5
5	Влияние загрязнений на процессы глубокой очистки веществ. Коррозия конструкционных материалов. Создание технологической гигиены. Контроль влажности и запыленности газов. Получение и свойства воды высокой чистоты	2			6	ПК-2.3
6	Важнейшие кристаллизационные способы очистки полупроводниковых веществ. Нормальная направленная кристаллизация, вытягивание из расплавов, зонная плавка	2		12	8	ПК-3.5
7	Химические процессы в технологии полупроводникового производства. Получение и свойства важнейших полупроводниковых материалов	2			6	ПК-2.3
8	Свойства реальной поверхности (поверхность с тонким естественным окислом)	2			6	ПК-3.5
9	Электровакuumные материалы, общая классификация, особенности строения	2			4	ПК-3.5
10	Органические диэлектрические материалы	2		8	4	ПК-3.5
11	Монокристаллические материалы	2			4	ПК-3.5

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
12	Стекломатериалы в электронной технике. Классификация. Структура стекла. Физико-химические свойства. Технология изготовления. Зависимость свойств от химического состава и термической обработки. Ситаллы. Композиционные материалы.	2			6	ПК-3.5
13	Поликристаллические керамические материалы	2		8	4	ПК-3.5
14	Металлы и сплавы, применяемые в электронной технике. Методы и оборудование напыления тонких пленок.	2		16	8	ПК-2.3
15	Методы обработки вакуумных деталей и узлов	2		8	5	ПК-2.3
16	Основы эмиссионной электроники. Общие представления о физике поверхности, электронная структура поверхности твердого тела. Термоэлектронная эмиссия, работа выхода. Эффективные термокатоды, автоэлектронная эмиссия, основные характеристики вторичной эмиссии	2		4	6	ПК-3.5
17	Физическая природа, свойства и применение рентгеновских лучей	2			4	ПК-3.5
<b>ИТОГО</b>		34		68	91	

#### 4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1	ПК-2.3	<p>Глубокая очистка полупроводниковых веществ</p> <p>Влияние загрязнений на процессы глубокой очистки веществ. Коррозия конструкционных материалов. Создание технологической гигиены. Контроль влажности и запыленности газов. Получение и свойства воды высокой чистоты</p> <p>Химические процессы в технологии полупроводникового производства. Получение и свойства важнейших полупроводниковых материалов</p> <p>Металлы и сплавы, применяемые в электронной технике. Методы и оборудование напыления тонких пленок.</p> <p>Методы обработки вакуумных деталей и узлов</p>
2	ПК-3.5	<p>Химические аспекты планарной технологии. Физические явления, характерные для полупроводников</p> <p>Классификация полупроводниковых веществ. Особенности проявления полупроводниковых свойств веществ в различных агрегатных состояниях</p> <p>Методы определения следов примесей. Техника проведения анализа особо чистых веществ. Чувствительность методов химического анализа. Физические методы исследования состава полупроводниковых веществ</p> <p>Важнейшие кристаллизационные способы очистки полупроводниковых веществ. Нормальная направленная кристаллизация, вытягивание из расплавов, зонная плавка</p> <p>Свойства реальной поверхности (поверхность с тонким естественным окислом)</p> <p>Электровакуумные материалы, общая классификация, особенности строения</p> <p>Органические диэлектрические материалы</p> <p>Монокристаллические материалы</p> <p>Стекломатериалы в электронной технике. Классификация. Структура стекла. Физико-химические свойства. Технология изготовления. Зависимость свойств от химического состава и термической обработки. Ситаллы. Композиционные материалы.</p> <p>Поликристаллические керамические материалы</p> <p>Основы эмиссионной электроники. Общие представления о физике поверхности, электронная структура поверхности твердого тела.</p> <p>Термоэлектронная эмиссия, работа выхода. Эффективные термокатоды, автоэлектронная эмиссия, основные характеристики вторичной эмиссии</p> <p>Физическая природа, свойства и применение рентгеновских лучей</p>



#### 4.3. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p><b>Химические аспекты планарной технологии. Физические явления, характерные для полупроводников</b></p> <p>Особенности планарной технологии полупроводникового прибора. Обоснование необходимости глубокой очистки полупроводниковых и вспомогательных материалов, используемых в полупроводниковых производствах. Работы ученых в области создания методов получения, очистки и исследования особо чистых веществ.</p> <p>Электронно-дырочная проводимость, отрицательный температурный коэффициент термосопротивления. Термоэлектронная эмиссия, работа выхода. Эффективные термокатоды, автоэлектронная эмиссия. Фотопроводимость, выпрямительные эффекты, твердотельные выпрямители и усилители тока. Термосопротивление. Солнечные батареи. Фотосопротивление и счетчики излучения. Каталитические свойства полупроводников. Использование полупроводниковых материалов в технике люминесценции и катодолюминесценции.</p>	2	Лекция-беседа
2	<p><b>Классификация полупроводниковых веществ. Особенности проявления полупроводниковых свойств веществ в различных агрегатных состояниях</b></p> <p>Кристаллические, аморфные и жидкие полупроводники работы А.Ф.Иоффе, Р.Л.Мюллера и В.Т.Коломийца в области некристаллических полупроводников. Многообразие составов стеклообразных полупроводников. Особенности их синтеза. Физико-химические и электрофизические свойства стеклообразных полупроводников. Эффект переключения. Области применения стеклообразных полупроводников и перспективы их использования в ячейках памяти и тиристорной техники. Применимость выводов квантово-механической теории полупроводников к рассмотрению физических явлений в стеклообразных и жидких полупроводниках. Органические полупроводники.</p> <p>Интерметаллические соединения типа <math>A^{III}B^V</math>, <math>A^{II}B^{VI}</math>. Изоэлектронные ряды. Арсенид галлия, его получение и свойства. Антимонид индия. Области технического применения интерметаллических полупроводников.</p>	2	
3	<p><b>Глубокая очистка полупроводниковых веществ</b></p> <p>Чистые материалы и их свойства. Влияние глубины очистки на физические и химические свойства материалов. Затраты при получении и использовании особо чистых веществ. Стандарты и маркировка особо чистых веществ. ГОСТы и сертификаты. Марки важнейших полупроводниковых материалов: германия, кремния, арсенида галлия и антимонида индия</p>	2	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
4	<p><b>Методы определения следов примесей. Техника проведения анализа особо чистых веществ. Чувствительность методов химического анализа. Физические методы исследования состава полупроводниковых веществ</b></p> <p>Область применения классических методов анализа. Границы обнаружения примесей. Отбор микропробы. Посуда для анализа особо чистых веществ. Требования к помещениям. Люминесцентные методы анализа. Спектрохимических анализ. Плазменная фотометрия. Активационные методы анализа. Электрохимические методы анализа. Хроматография. Физические методы исследования состава полупроводниковых веществ.</p>	2	
5	<p><b>Влияние загрязнений на процессы глубокой очистки веществ. Коррозия конструкционных материалов. Создание технологической гигиены. Контроль влажности и запыленности газов. Получение и свойства воды высокой чистоты</b></p> <p>Металлы, сплавы, стекло, керамика и углеродистые материалы. Создание технологической гигиены в производстве электронной техники. Чистые комнаты, локальные объемы. Газовые и аэрозольные загрязнения атмосферы. Контроль влажности и запыленности газов. Получение и свойства воды высокой чистоты для полупроводникового производства. Ионные загрязнения воды, взвеси, микробиологические загрязнения, природные воды.</p>	2	
6	<p><b>Важнейшие кристаллизационные способы очистки полупроводниковых веществ. Нормальная направленная кристаллизация, вытягивание из расплавов, зонная плавка</b></p> <p>Значение процессов кристаллизации из расплавов для глубокой очистки полупроводниковых материалов. Сущность кристаллизационных способов очистки из расплавов. Коэффициенты распределения примесей: равновесный и эффективный. Зонная перекристаллизация. Особенности процесса зонной плавки. Распределение примесей по длине слитка при зонной перекристаллизации. Влияние технологических факторов на эффективность зонной плавки. Предельное распределение примесей по длине слитка при зонной перекристаллизации. Аппаратурное оформление кристаллизационных методов очистки. Бестигельная зонная плавка.</p>	2	
7	<p><b>Химические процессы в технологии полупроводникового производства. Получение и свойства важнейших полупроводниковых материалов</b></p> <p>Германий – один из первых полупроводниковых материалов. Металлургия германия, особенности его очистки. Электрофизические свойства германия. Хими-</p>	2	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>ческие свойства германия и его соединений. Использование германия в полупроводниковой технике.</p> <p>Кремний. Методы его получения и металлургия. Водородные соединения и галогенопроизводные кремния. Получение и свойства тетрахлорида кремния. Процесс эпитаксиального наращивания кремния и его аппаратное оформление. Кислородные соединения кремния и их роль в планарной технологии изготовления интегральных схем на кремнии.</p>		
8	<p><b>Свойства реальной поверхности (поверхность с тонким естественным окислом)</b></p> <p>Геометрия совершенных кристаллов. Симметрия кристаллов, основные понятия кристаллографии. Особенности физико-химических процессов на поверхности твердых тел. Несовершенства в кристаллах: дефекты и флуктуации энергии.</p> <p>Граница раздела полупроводник-диэлектрик и ее свойства. Электрофизические свойства SiO<sub>2</sub>. Методы получения ДП структур. Влияние инверсного слоя на обратную вольт-амперную характеристику, длинный и короткий канал.</p>	2	
9	<p><b>Электроракуумные материалы, общая классификация, особенности строения</b></p> <p>Основные характеристики электроракуумных материалов, тепловые и механические свойства. Диэлектрик в электрическом поле. Диэлектрические потери, электропроводность, радиационные свойства</p>	2	
10	<p><b>Органические диэлектрические материалы.</b></p> <p>Высокомолекулярные соединения и материалы на их основе. Композиционные пластмассы КПМ. Слоистые пластики.</p>	2	
11	<p><b>Монокристаллические материалы.</b></p> <p>Слюда. Пьезокварц. Рубин. Люминофоры.</p>	2	
12	<p><b>Стекломатериалы в электронной технике. Классификация. Структура стекла. Физико-химические свойства. Технология изготовления. Зависимость свойств от химического состава и термической обработки. Ситаллы. Композиционные материалы.</b></p> <p>Стекло и ситаллы. Сырье для получения. Технология изготовления стекол. Зависимость свойств стекол от химического состава и термообработки. Температурные зависимости отжига стекол.</p> <p>Спаи стекло-металл и керамика-металл. Согласованность коэффициентов термического расширения, свойства расширения и сжатия.</p> <p>Пайка узлов электроракуумных приборов в вакуумных печах с индукционным нагревом.</p>	2	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
13	<b>Поликристаллические керамические материалы</b> Классификация. Физико-химические свойства. Технология изготовления керамики. Процессы спекания в металлизационных покрытиях	2	
14	<b>Металлы и сплавы, применяемые в электронной технике. Методы и оборудование напыления тонких пленок</b> Металлы и сплавы, применяемые в электронной технике. Классификация, физико-химические свойства. Адгезионные свойства. Припой. Физико-химические основы взаимодействия диэлектриков с металлами. Методы оценки адгезионной прочности. Методы формирования металлических пленочных покрытий, химические методы осаждения металлов. Методы и оборудование напыления тонких пленок, плазменное и плазменно-химическое, вакуумное (катодное, магнетронное) напыление	2	
15	<b>Методы обработки вакуумных деталей и узлов.</b> Химическая обработка, вакуумный и водородный обжиг	2	
16	<b>Основы эмиссионной электроники. Общие представления о физике поверхности, электронная структура поверхности твердого тела. Термоэлектронная эмиссия, работа выхода. Эффективные термокатоды, автоэлектронная эмиссия, основные характеристики вторичной эмиссии</b> Термоэлектронная эмиссия. Влияние внешнего ускоряющего поля на термоэмиссию. Электростатическая (автоэлектронная) эмиссия. Фотоэлектронная эмиссия. Вторичная эмиссия. Распределение вторичных электронов по энергиям. Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов. Вторично-электронные эмиттеры. Вторичная ионно-электронная эмиссия Электрический ток в вакууме при наличии объемного заряда. Фокусировка и отклонение электронного луча. Токопрохождение в газовой плазме. Условие перехода из несамостоятельного разряда в самостоятельный	2	
17	<b>Физическая природа, свойства и применение рентгеновских лучей</b>	2	

#### 4.4. Занятия семинарского типа

##### 4.4.1. Семинары, практические занятия

Не предусмотрены.

##### 4.4.2. Лабораторные занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Примечания
		всего	в т.ч. на практическую подготовку	
1	Исследование физико-химических и электрофизических свойств тонкопленочных материалов (толщины, пористости, термостойкости, проводимости, пробивного напряжения, зарядовых явлений в разнообразных структурах типа металл - диэлектрик-полупроводник)	12	12	
6	Подготовка поверхности полупроводника перед нанесением на нее стабилизирующих, изолирующих, проводящих и защитных пленок	12	12	
10	Овладение навыками проведения процессов фотогравировки по пленкам различных материалов	8	8	
13	Составление необходимых пропорций и помол материалов для синтеза керамического узла из керамики 22ХС	8	8	
14	Металлизация керамического узла.	8	8	
	Методы и оборудование напыления тонких пленок: плазменное, плазменно-химическое, вакуумное напыление (катодное, магнетронное)	8	8	
15	Предварительный и окончательный водородный отжиг керамического узла	4	4	
	Исследование физико-химических и механических свойств, полученного металлокерамического узла.	4	4	
16	Работа на масс-спектрометрическом течеискателе	4	4	

#### 4.5. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	<p><b>Химические аспекты планарной технологии. Физические явления, характерные для полупроводников</b></p> <p>Электронно-дырочная проводимость, отрицательный температурный коэффициент термосопротивления. Термоэлектронная эмиссия, работа выхода. Эффективные термокатоды, автоэлектронная эмиссия.</p>	2	зачет
	<p>Фотопроводимость, выпрямительные эффекты, твердотельные выпрямители и усилители тока. Термосопротивление. Солнечные батареи. Фотосопротивление и счетчики излучения. Каталитические свойства полупроводников. Использование полупроводниковых материалов в технике люминесценции и катодолюминесценции.</p>	2	зачет
2	<p><b>Классификация полупроводниковых веществ. Особенности проявления полупроводниковых свойств веществ в различных агрегатных состояниях</b></p> <p>Эффект переключения. Области применения стеклообразных полупроводников и перспективы их использования в ячейках памяти и тиристорной техники. Применимость выводов квантово-механической теории полупроводников к рассмотрению физических явлений в стеклообразных и жидких полупроводниках. Органические полупроводники.</p>	2	зачет
	<p>Элементарные полупроводники и их положение в периодической системе Д. И. Менделеева. Типы химических связей в полупроводниковых соединениях. Интерметаллические соединения типа <math>A^{III}B^V</math>, <math>A^{II}B^{VI}</math>. Изоэлектронные ряды. Арсенид галлия, его получение и свойства. Антимонид индия. Области технического применения интерметаллических полупроводников.</p>	4	зачет
3	<p><b>Глубокая очистка полупроводниковых веществ</b></p> <p>Абсолютная и относительная чистота. Чистота «физическая» и «химическая». Случайные и контролируемые примеси. Связь понятия «чистое вещество» с понятиями термодинамики. Теорема о недостижимости абсолютной чистоты вещества. Изменение понятия «чистое вещество» в зависимости от требований практики, уровня развития методов очистки и анализа ультрачистых веществ. Химические, физические и изотопные примеси. Способы выражения концентраций примесей. Кларки элементов. Генетические примеси</p>	4	зачет

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
4	<p><b>Методы определения следов примесей. Техника проведения анализа особо чистых веществ. Чувствительность методов химического анализа. Физические методы исследования состава полупроводниковых веществ</b></p> <p>Область применения классических методов анализа. Границы обнаружения примесей. Отбор микропробы. Посуда для анализа особо чистых веществ. Требования к помещениям. Люминесцентные методы анализа. Спектрохимический анализ. Плазменная фотометрия. Активационные методы анализа. Электрохимические методы анализа. Хроматография. Физические методы исследования состава полупроводниковых веществ.</p>	6	зачет
5	<p><b>Влияние загрязнений на процессы глубокой очистки веществ. Коррозия конструкционных материалов. Создание технологической гигиены. Контроль влажности и запыленности газов. Получение и свойства воды высокой чистоты</b></p> <p>Влияние внешних загрязнений на процессы глубокой очистки веществ. Металлы, сплавы, стекло, керамика и углеродистые материалы. Коррозия конструкционных материалов Создание технологической гигиены в производстве электронной техники. Чистые комнаты, локальные объемы. Газовые и аэрозольные загрязнения атмосферы. Контроль влажности и запыленности газов. Получение и свойства воды высокой чистоты для полупроводникового производства. Ионные загрязнения воды, взвеси, микробиологические загрязнения, природные воды.</p>	6	зачет
6	<p><b>Важнейшие кристаллизационные способы очистки полупроводниковых веществ. Нормальная направленная кристаллизация, вытягивание из расплавов, зонная плавка</b></p> <p>Зонная перекристаллизация. Особенности процесса зонной плавки. Распределение примесей по длине слитка при зонной перекристаллизации. Влияние технологических факторов на эффективность зонной плавки. Предельное распределение примесей по длине слитка при зонной перекристаллизации. Аппаратурное оформление кристаллизационных методов очистки. Бестигельная зонная плавка.</p> <p>Методы выращивания монокристаллов. Метод Чохральского, метод «плавающего тигля», метод Бридтмена. Горизонтальная зонная плавка. Выращивание монокристаллов из газовой среды.</p>	4	зачет
		4	зачет

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
7	<b>Химические процессы в технологии полупроводникового производства. Получение и свойства важнейших полупроводниковых материалов</b> Химические аспекты технологии резки, шлифовки и полировки полупроводниковых кристаллов. Реактивы и материалы, используемые для механической обработки поверхности. Механохимическая обработка поверхности. Химическое и электрохимическое полирование полупроводниковых материалов. Травители типа «СР». Селективное и анизотропное травление полупроводников	2	зачет
	Германий – один из первых полупроводниковых материалов. Металлургия германия, особенности его очистки. Электрофизические свойства германия. Химические свойства германия и его соединений. Использование германия в полупроводниковой технике.	2	зачет
	Кремний. Методы его получения и металлургия. Водородные соединения и галогенопроизводные кремния. Получение и свойства тетрахлорида кремния. Процесс эпитаксиального наращивания кремния и его аппаратурное оформление. Кислородные соединения кремния и их роль в планарной технологии изготовления интегральных схем на кремнии.	2	зачет
8	<b>Свойства реальной поверхности (поверхность с тонким естественным окислом)</b> Свойства контакта Металл-полупроводник. Влияние поверхности на пробой р-п перехода. Параметры биполярного транзистора, чувствительные к состоянию поверхности. Механизмы воздействия. Работа выхода из полупроводника, влияние поверхности.	2	зачет
	Влияние поверхности на параметры полевых транзисторов с изолирующим затвором. Паразитные связи в ИС, обусловленные поверхностными эффектами. Влияние свойств поверхности полупроводника на параметры диодов.	2	зачет
	Влияние примесей и структурных дефектов на электрофизические свойства полупроводников и полупроводниковых приборов. Образование второй фазы в полупроводниках, влияние ее на параметры приборов.	2	зачет
9	<b>Электровакуумные материалы, общая классификация, особенности строения</b> Тепловые и механические свойства. Диэлектрические свойства, радиационные свойства.	4	зачет



№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
10	<b>Органические диэлектрические материалы</b> Высокомолекулярные соединения, композиционные пластмассы, слоистые пластики.	4	зачет
11	<b>Монокристаллические материалы</b> Слюда. Пьезокварц. Рубин. Люминофоры. Способы получения, основные физико-химические свойства.	4	зачет
12	<b>Стекломатериалы в электронной технике. Классификация. Структура стекла. Физико-химические свойства. Технология изготовления. Зависимость свойств от химического состава и термической обработки. Ситаллы. Композиционные материалы.</b> Классификация стекол. Легкоплавкие и тугоплавкие стекла. Физико-химические свойства. Сырье для получения. Технология изготовления. Зависимость свойств стекол от химического состава и термообработки. Температурные зависимости отжига стекол.	2	зачет
	Спаи стекло-металл и керамика-металл. Согласованность коэффициентов термического расширения, свойства расширения и сжатия.	2	зачет
	Пайка узлов электровакуумных приборов в вакуумных печах с индукционным нагревом.	2	зачет
13	<b>Поликристаллические керамические материалы</b> Классификация, технология изготовления, процессы спекания.	4	зачет
14	<b>Металлы и сплавы, применяемые в электронной технике. Методы и оборудование напыления тонких пленок.</b> Классификация, физико-химические свойства. Адгезионные свойства. Припои. Физико-химические основы взаимодействия диэлектриков с металлами. Методы оценки адгезионной прочности.	4	зачет
	Методы формирования металлических пленочных покрытий, химические методы осаждения металлов. Методы и оборудование напыления тонких пленок, плазменное и плазменно-химическое напыление, вакуумное напыление (катодное и магнетронное напыление).	4	зачет
15	<b>Методы обработки вакуумных деталей и узлов</b> Химическая обработка, вакуумный и водородный обжиг.	5	зачет
16	<b>Основы эмиссионной электроники. Общие представления о физике поверхности, электронная структура поверхности твердого тела. Термоэлектронная эмиссия, работа выхода. Эффективные термокатоды, автоэлектронная эмиссия, основные характеристики вторичной эмиссии</b>	3	зачет

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
	Термоэлектронная эмиссия. Влияние внешнего ускоряющего поля на термоэмиссию. Электростатическая (автоэлектронная) эмиссия. Фотоэлектронная эмиссия.		
	Вторичная эмиссия. Распределение вторичных электронов по энергиям. Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов. Вторично-электронные эмиттеры. Вторичная ионно-электронная эмиссия	3	зачет
17	<b>Физическая природа, свойства и применение рентгеновских лучей</b>	4	зачет

#### 4.5.1. Темы курсовых проектов

1. Полупроводниковые материалы. Химические аспекты планарной технологии. Основные направления использования в технике.
2. Физические явления, протекающие в полупроводниковых материалах.
3. Электронно-дырочная проводимость, отрицательный температурный коэффициент термосопротивления.
4. Классификация полупроводниковых веществ.
5. Особенности проявления полупроводниковых свойств веществ в различных агрегатных состояниях.
6. Элементарные полупроводники и их положение в периодической системе Д.И. Менделеева.
7. Кристаллические, аморфные и жидкие полупроводники. Стеклообразные полупроводники.
8. Типы химических связей в полупроводниковых соединениях. Интерметаллические полупроводники.
9. Обоснование необходимости глубокой очистки полупроводниковых веществ. Методы определения следов примесей.
10. Различные определения понятия «чистое вещество». Техника проведения анализа особо чистых веществ. Примеси и их виды.
11. Чистые материалы и их свойства. Стандарты и маркировка чистых веществ. Марки важнейших полупроводниковых материалов.
12. Физические методы исследования состава полупроводниковых материалов. Чувствительность различных методов химического анализа.
13. Влияние внешних загрязнений на процессы глубокой очистки полупроводниковых материалов. Коррозия конструкционных материалов.
14. Создание и соблюдение технологической гигиены. Контроль влажности и запыленности газов.
15. Получение и свойства воды высокой частоты.
16. Интерметаллические соединения типа  $A^{III}B^V$ ,  $A^{II}B^{VI}$ . Изоэлектронные ряды.
17. Арсенид галлия, его получения и свойства. Антимонид индия.
18. Важнейшие кристаллизационные способы очистки полупроводниковых веществ. Нормальная направленная кристаллизация, вытягивание из расплавов, зонная плавка.
19. Методы выращивания монокристаллов.
20. Германий, получение и свойства.
21. Кремний, получение и свойства.
22. Химические аспекты технологии резки, шлифовки и полировки полупроводниковых кристаллов.
23. Химическое и электрохимическое полирование полупроводниковых материалов. Селективное и анизотропное травление.

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.**

1. Ежовский, Ю.К. Введение в технологию материалов электронной техники: учебное пособие / Ю.К.Ежовский.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2012.– 108 с. (ЭБ)
2. Малыгин, А.А. Химическая сборка функциональных наноматериалов методом молекулярного наслаивания: конспект лекций / А.А.Малыгин.- СПб: СПбГТИ(ТУ), 2012.- 74 с.
3. Рентгеновские трубки: устройство применение, проблемы электрической прочности и нанотехнологические подходы ее повышения: учебное пособие./ Г.Л.Брусиловский, Н.А.Куликов, А.А.Малков и др.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2012.- 184 с.
4. Ежовский Ю.К. Основы расчета вакуумной техники: учебное пособие/ Ю.К.Ежовский, А.А. Малыгин.– СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016. – 45 с.

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («зачтено») освоения предусмотренных элементов компетенций. Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине – в конце 3 семестра в виде зачета в устной форме и защиты курсового проекта. К сдаче зачета допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. Зачет предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 2-3 вопроса из различных тем пройденного материала. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Результаты зачета включаются в приложение к диплому.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Примеры вопросов, предлагаемых на зачете:

1. Полупроводниковые материалы. Химические аспекты планарной технологии. Основные направления использования в технике.
2. Физические явления, протекающие в полупроводниковых материалах.
3. Создание и соблюдение технологической гигиены. Контроль влажности и запыленности газов.
4. Влияние структурных дефектов на электрофизические свойства полупроводников и полупроводниковых приборов.

## **7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины**

### **а) печатные издания:**

1. Беляков, А.Б. Химические основы нанотехнологии твердофазных материалов различного назначения: учебное пособие / А.Б.Беляков, Е.В.Жариков, А.А.Малыгин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии материалов и изделий электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2006. - 102 с.
2. Гусев, А.И. Наноматериалы. Наноструктуры. Нанотехнологии / А.И.Гусев. - Москва: Физматлит, 2007. - 415 с. - ISBN 978-5-9221-0582-8
3. Ежовский, Ю.К. Введение в технологию материалов электронной техники: учебное пособие / Ю.К. Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический

- университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 108 с.
4. Елисеев, А.А. Функциональные наноматериалы/ А.А.Елисеев, А.В.Лукашин; под ред. Ю.Д.Третьякова. – Москва: Физматлит, 2010. – 456 с. - ISBN 978-5-9221-1120-1
  5. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю.А.Чаплыгина. - Москва: Техносфера, 2005. - 446 с. - ISBN 5-94836-059-8
  6. Рамбиди, Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г.Рамбиди, А.В. Березкин. - Москва: Физматлит, 2009. – 454 с. - ISBN 978-5-9221-0988-8
  7. Розанов, Л.Н. Вакуумная техника: учебник для вузов / Л.Н. Розанов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 2007. – 391 с. - ISBN 978-5-06-005521-4
  8. Старостин, В.В. Материалы и методы нанотехнологии: Учебное пособие / В.В. Старостин; Под ред. Л.Н.Патрикеева. - Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 431 с. - ISBN 978-5-94774-727-0
  9. Суздаев, И.П. Нанотехнология: Физико – химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П.Суздаев. – Изд. 2-е испр. – Москва: Книжный дом «ЛИБРОМ», 2009. – 592 с. - ISBN 978-5-397-00217-2
  10. Третьяков, Ю.Д. Введение в химию твердофазных материалов / Ю.Д. Третьяков, В.И.Путляев. - Москва: Изд-во МГУ, Наука, 2006. - 400 с. - ISBN 5-211-06045-8
  11. Химическая диагностика материалов / В.Г.Корсаков, М.М.Сычев, С.В.Мякин, Л.Б. Сватовская. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2010. - 224 с. - ISBN 978-5-7641-0254-2
  12. Рентгеновские трубки: устройство применение, проблемы электрической прочности и нанотехнологические подходы ее повышения: учебное пособие / Г.Л.Брусилковский, Н.А.Куликов, А.А.Малков и др.; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. - 188 с.

#### **б) электронные издания:**

1. Ежовский, Ю.К. Введение в технологию материалов электронной техники: учебное пособие / Ю.К. Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 108 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.05.2021). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
2. Малыгин, А.А. Химическая сборка функциональных наноматериалов методом молекулярного наслаивания: конспект лекций / А.А.Малыгин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. - 74 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.05.2021). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
3. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям: учебное пособие / Е.Д.Мишина и др.; под ред. А.С.Сигова. - 5-е изд. - Москва: Лаборатория знаний, 2017. - 187 с. – ISBN 978-5-00101-473-7 // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 15.05.2021). - Режим доступа: по подписке.
4. Нанoeлектроника. Теория и практика / В.Е.Борисенко, А.И.Воробьева, А.Л.Данилюк, Е.А.Уткина. - Москва: Лаборатория знаний, 2020. - 369 с. - ISBN 978-5-00101-732-5 // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 15.05.2021). - Режим доступа: по подписке.

5. Шишкин, Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г.Г.Шишкин, И.М.Агеев. - Москва: Лаборатория знаний, 2020. - 411 с. - ISBN 978-5-00101-731-8 // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 15.05.2021). - Режим доступа: по подписке.
6. Рентгеновские трубки: устройство применение, проблемы электрической прочности и нанотехнологические подходы ее повышения: учебное пособие / Г.Л.Брусилловский, Н.А.Куликов, А.А.Малков и др.; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. - 188 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.05.2021). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

#### **8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины**

1. Учебный план, РПД и учебно-методические материалы - [media.technolog.edu.ru](http://media.technolog.edu.ru)
2. ЭБ "Библиотех" СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
3. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет; ЭБС «Лань»
4. Библиотека eLIBRARY - [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Все виды занятий по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

1. СТО СПбГТИ(ТУ) 039-2013. Магистратура. Общие требования./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2013.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.- 25 с.
2. СТП СПбГТИ 040-02. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.07.2002.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2002.- 7 с.
3. СТО СПбГТИ(ТУ) 020-2011. Виды учебных занятий. Лабораторные работы. Общие требования к организации и проведению занятий./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.07.2011.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2011.- 21 с.
4. СТО СПбГТИ(ТУ) 044-2012. Виды учебных занятий. Курсовой проект. Курсовая работа. Общие требования./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.06.2012.-СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2012.- 44 с
5. СТП СПбГТИ 048-2009. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2010.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.- 6 с.
6. СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Порядок организации и проведения зачётов и экзаменов./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.06.2015. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 45 с.

В ходе лекционных занятий магистранту необходимо готовить конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Провести проверку терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.

Аудиторная часть курса должна сопровождаться интенсивной самостоятельной работой магистрантов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет по всем разделам дисциплины. Планирование времени для изучения дисциплины необходимо осуществлять на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо в рамках внеаудиторной самостоятельной работы регулярно дополнять сведениями из литературных источников, приведенных в

разделе 7 настоящей программы. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, требующих запоминания и необходимых для освоения следующих разделов учебной дисциплины. Для расширения и углубления знаний по учебной дисциплине необходимо активно использовать информационные ресурсы сети Интернет.

Для работы на практических занятиях необходимы: проработка рабочей программы, уделив особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины, и конспектирование источников, а также изучение конспекта лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам и просмотр рекомендуемой литературы.

Промежуточная аттестация по дисциплине – в конце 3 семестра в виде зачета в устной форме (включает 2-3 вопроса из различных тем пройденного материала). Результаты зачета включаются в приложение к диплому.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций, видеоматериалов;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Представление лекционного материала и проведение практических занятий:

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

MS PowerPoint 97 и выше

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы**

1. ЭБ "Библиотех" СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
2. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет; ЭБС «Лань»
3. Библиотека eLIBRARY - [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

## **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Реализация программы учебной дисциплины не предполагает наличия специализированного учебного кабинета при условии соответствия учебных кабинетов санитарным нормам, а его оборудования – изложенным ниже требованиям:

1. Учебная аудитория на 10 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.
5. Комплект презентаций и видеофильмов по дисциплине.

Практические занятия проводятся в учебном кабинете, отвечающем санитарным нормам, а его оборудование – следующим требованиям:

1. Учебная аудитория на 10 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допущенные по медицинским показаниям к обучению по направлению подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов, изучают дисциплину в полном объеме. Учебный процесс осуществляется в соответствии с "Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ФГБОУ ВПО СПбГТИ(ТУ)", утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по дисциплине  
"Химия и технология электровакуумных и полупроводниковых материалов"**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

<b>Индекс компетенции</b>	<b>Содержание</b>	<b>Этап формирования</b>
<b>ПК-2</b>	Способен осуществлять рациональный выбор материалов и оптимизировать их расходование на основе анализа заданных условий эксплуатации материалов, оценки их надежности, экономичности и экологических последствий применения	промежуточный
<b>ПК-3</b>	Способен осуществлять анализ новых технологий производства материалов и разрабатывать рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности	промежуточный



## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)	
			«не зачтено»	«зачтено»
<b>ПК-2.3</b> Разработка методов и средств автоматизации процессов производства, выбор оборудования и оснастки, методов и приемов организации труда, обеспечивающих эффективное, технически и экологически безопасное производство различных функциональных наноматериалов.	Знает современный уровень электровакуумной техники и полупроводниковой микро- и нанотехнологии (ЗН-1).	Ответы на вопросы №№ 1-6 к зачету	Не знает современный уровень электровакуумной техники и полупроводниковой микро- и нанотехнологии	Знает современный уровень электровакуумной техники и полупроводниковой микро- и нанотехнологии
	Умеет выдавать задания на модернизацию и проектирование технологических процессов (У-1).	Ответы на вопросы №№ 7-9 к зачету	Не умеет выдавать задания на модернизацию и проектирование технологических процессов	Умеет выдавать задания на модернизацию и проектирование технологических процессов
	Владеет информацией о свойствах наноматериалов, приборной базе и оборудовании в технологии электровакуумной техники и наноэлектроники (Н-1)	Ответы на вопросы №№ 10-17 к зачету	Не владеет информацией о свойствах наноматериалов, приборной базе и оборудовании в технологии электровакуумной техники и наноэлектроники	Владеет информацией о свойствах наноматериалов, приборной базе и оборудовании в технологии электровакуумной техники и наноэлектроники
<b>ПК-3.5</b> Использование технических средств для измерения и контроля основных параметров технологических процессов, структуры и свойств пленочных функциональных наноматериалов и изделий из них	Знает особенности технологии материалов, используемых в современной электровакуумной технике, полупроводниковой микро- и наноэлектронике (ЗН-2).	Ответы на вопросы №№ 18-61 к зачету, защита КП	Не знает особенности технологии материалов, используемых в современной электровакуумной технике, полупроводниковой микро- и наноэлектронике	Знает особенности технологии материалов, используемых в современной электровакуумной технике, полупроводниковой микро- и наноэлектронике
	Умеет самостоятельно проектировать технологические процессы производства материала и изделий из него с заданными характеристиками (У-2).	Ответы на вопросы №№ 62-67 к зачету, защита КП	Не умеет самостоятельно проектировать технологические процессы производства материала и изделий из него с заданными характеристиками	Умеет самостоятельно проектировать технологические процессы производства материала и изделий из него с заданными характеристиками

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ (ТУ): промежуточная аттестация проводится в форме **зачета**. Критерии оценивания – «**зачтено**», «**не зачтено**» приведены в таблице 2 и защиты курсового проекта (шкала оценивания- бальная).

Оценка «зачтено» выставляется, если ответ студента отличается последовательностью, логикой изложения, учащийся демонстрирует глубину владения представленным материалом, ответы формулируются аргументировано, обосновывается собственная позиция в проблемных ситуациях.

Оценка «не зачтено» ставится, если ответ студента не передает содержание проблемы, не демонстрирует умение выделять главное, существенное, ответ носит краткий, неглубокий, поверхностный характер.

### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

#### а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-2

1. Чистые материалы и их свойства. Стандарты и маркировка чистых веществ. Марки важнейших полупроводниковых материалов.
2. Влияние внешних загрязнений на процессы глубокой очистки полупроводниковых материалов. Коррозия конструкционных материалов.
3. Получение и свойства воды высокой частоты.
4. Химические аспекты технологии резки, шлифовки и полировки полупроводниковых кристаллов.
5. Химическое и электрохимическое полирование полупроводниковых материалов. Селективное и анизотропное травление.
6. Металлы и сплавы, применяемые в электронной технике. Классификация, физико-химические свойства. Адгезионные свойства. Методы оценки адгезионных свойств.
7. Создание и соблюдение технологической гигиены. Контроль влажности и запыленности газов.
8. Припои. Физико-химические основы взаимодействия диэлектриков с металлами
9. Электрохимическое осаждение металлов и подготовка поверхности изделий перед гальваническими покрытиями.
10. Обоснование необходимости глубокой очистки полупроводниковых веществ. Методы определения следов примесей.
11. Интерметаллические соединения типа  $A^{III}B^V$ ,  $A^{II}B^{VI}$ . Изoeлектронные ряды.
12. Арсенид галлия, его получения и свойства. Антимонид индия.
13. Германий, получение и свойства.
14. Кремний, получение и свойства.
15. Методы формирования металлических пленочных покрытий, химические методы осаждения металлов.
16. Методы и оборудование напыления тонких пленок, плазменное и плазменно-химическое напыление, вакуумное напыление.
17. Методы обработки керамических вакуумных деталей и узлов. Химическая обработка, вакуумный и водородный обжиг.

#### б) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-3

18. Полупроводниковые материалы. Химические аспекты планарной технологии. Основные направления использования в технике.
19. Физические явления, протекающие в полупроводниковых материалах.
20. Электронно-дырочная проводимость, отрицательный температурный коэффициент термосопротивления.
21. Классификация полупроводниковых веществ.
22. Особенности проявления полупроводниковых свойств веществ в различных агрегатных состояниях.
23. Элементарные полупроводники и их положение в периодической системе Д.И. Менделеева.
24. Кристаллические, аморфные и жидкие полупроводники. Стеклообразные полупроводники.
25. Типы химических связей в полупроводниковых соединениях. Интерметаллические полупроводники.
26. Различные определения понятия «чистое вещество». Техника проведения анализа особо чистых веществ. Примеси и их виды.
27. Физические методы исследования состава полупроводниковых материалов. Чувствительность различных методов химического анализа.

28. Важнейшие кристаллизационные способы очистки полупроводниковых веществ. Нормальная направленная кристаллизация, вытягивание из расплавов, зонная плавка.
29. Особенности процесса зонной плавки. Распределение примесей по длине слитка при зонной перекристаллизации.
30. Методы выращивания монокристаллов. Метод Чохральского, метод «плавающего тигля», метод Бридтмена.
31. Методы выращивания монокристаллов. Горизонтальная зонная плавка. Выращивание монокристаллов из газовой среды.
32. Поверхностный заряд, причины возникновения. Поверхностный изгиб зон, связь изгиба зон и плотности поверхностного заряда, Поверхностная проводимость.
33. Емкость области пространственного заряда, влияние чистоты.
34. Поверхностное состояние, влияние поверхностных состояний на изгиб зон. Экранировка внешних воздействий, емкость поверхностных состояний.
35. Свойства реальной поверхности (поверхность с тонким естественным окислом).
36. Граница раздела полупроводник-диэлектрик и ее свойства.
37. Электрофизические свойства  $\text{SiO}_2$ . Методы получения ДП структур.
38. Влияние инверсного слоя на обратную вольт-амперную характеристику, длинный и короткий канал.
39. Скорость поверхностной рекомбинации, ее зависимость от изгиба зон.
40. Свойства контакта металл-полупроводник.
41. Влияние поверхности на пробой p-n перехода.
42. Параметры биполярного транзистора, чувствительные к состоянию поверхности. Механизмы воздействия.
43. Работа выхода ИЭ полупроводника, влияние поверхности.
44. Влияние поверхности на параметры полевых транзисторов с изолирующим затвором.
45. Влияние свойств поверхности полупроводника на параметры диодов.
46. Паразитные связи в ИС, обусловленные поверхностными эффектами.
47. Структурные дефекты в полупроводниках.
48. Образование второй фазы в полупроводниках, влияние ее на параметры приборов.
49. Электровакуумные материалы, общая классификация, особенности строения.
50. Тепловые, механические и диэлектрические свойства электровакуумных материалов. Радиационные свойства.
51. Органические диэлектрические материалы. Высокомолекулярные соединения. Композиционные пластмассы, слоистые пластики.
52. Монокристаллические материалы. Слюда. Пьезокварц. Рубин.
53. Люминофоры. Способы получения, основные физико-химические свойства.
54. Стекломатериалы в электронной технике. Структура стекла.
55. Классификация стекол. Физико-химические свойства.
56. Легкоплавкие и тугоплавкие стекла. Технология изготовления. Зависимость свойств стекол от химического состава и термообработки.
57. Керамические поликристаллические материалы. Классификация, технология изготовления, процессы спекания.
58. Общие представления о физике поверхности, электронная структура поверхности твердого тела.
59. Термоэлектронная эмиссия, работа выхода. Эффективные терموкатоды.
60. Автоэлектронная эмиссия, основные характеристики вторичной эмиссии
61. Физическая природа, свойства и применение рентгеновских лучей
62. Влияние технологических факторов на эффективность зонной плавки. Предельное распределение примесей по длине слитка при зонной перекристаллизации.
63. Аппаратурное оформление кристаллизационных методов очистки. Бестигельная зонная плавка.
64. Выбор уровня интеграции монокристаллических ИС. Физические, технологические, конструктивные ограничения.

65. Влияние примесей на электрофизические свойства полупроводников и полупроводниковых приборов.
66. Влияние структурных дефектов на электрофизические свойства полупроводников и полупроводниковых приборов.
67. Создание пассивирующих, изолирующих и защитных пленок. Функции, выполняемые пленками диэлектриков в планарной технологии.

К зачету допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче зачета, студент получает 2-3 вопроса из перечня, приведенного выше.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 30 мин.

#### **4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

1. Положение о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в СПбГТИ(ТУ) (Утв. Приказом ректора СПбГТИ(ТУ) от 12.12.2014 № 463).

2. СТО СПбГТИ 039-2013. Магистратура. Общие требования./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2013.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.- 25 с.

3. СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Порядок организации и проведения зачётов и экзаменов./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.06.2015. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 45 с.