

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 11.09.2023 16:40:27  
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 » декабря 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**  
Направление подготовки  
**18.03.01 Химическая технология**  
Направленность программы бакалавриата  
**Химическая технология материалов и изделий электроники и наноэлектроники**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **Химии веществ и материалов**

Кафедра **Химической нанотехнологии и материалов электронной техники**

Санкт-Петербург

2020

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Заведующий кафедрой		профессор А.А.Малыгин

Рабочая программа дисциплины «Технология материалов электронной техники» обсуждена на заседании кафедры химической нанотехнологии и материалов электронной техники протокол от 15.12.2020 № 4

Заведующий кафедрой ХНиМЭТ

профессор А.А. Малыгин

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов протокол от 17.12.2020 № 4

Председатель

доцент С.Г. Изотова

### СОГЛАСОВАНО

Руководитель ООП «Химическая технология»		доцент М.В. Рутто
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.....	06
3. Объем дисциплины .....	06
4. Содержание дисциплины .....	07
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	07
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 .....	14
4.5. Самостоятельная работа.....	15
4.5.1 Темы курсовых работ.....	16
4.5.2 Тема курсового проекта и этапы его выполнения .....	17
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	17
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	18
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	18
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	20
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	21
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	22
10.1. Информационные технологии .....	22
10.2. Программное обеспечение.....	22
10.3. Базы данных и информационные справочные системы .....	22
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 бакалавриата 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-1</b> Способен и готов осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции</p>	<p><b>ПК-1.2</b> Осуществление технологических процессов изготовления изделий микроэлектроники в соответствии с технологическим регламентом</p>	<p><b>Знать:</b> - классификацию материалов и изделий электронной техники (ЗН-1). - основные технологии и их параметры в микроэлектронике (ЗН-2). <b>Уметь</b> - формулировать перечень основных параметров технологических процессов, сырья и продукции (У-1). <b>Владеть</b> основами средств контроля ТП, сырья и продукции (Н-1).</p>
<p><b>ПК-2</b> Способен принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции</p>	<p><b>ПК-2.2</b> Выбор технических средств для технологических процессов производства микроэлектронных изделий</p>	<p><b>Знать:</b> - общую технологическую схему производства интегральных микросхем и используемые материалы и сырье (ЗН-3). - основные характеристики оборудования, применяемого в технологии микроэлектроники (ЗН-4). <b>Уметь:</b> - оценивать применимость различных видов оборудования и технологических процессов в микроэлектронике (У-2). - формулировать возможные экологические последствия при применении ТП, материалов (У-3) <b>Владеть</b> приборами и методиками для оценки готовности оборудования к использованию (Н-2).</p>

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p><b>ПК-3</b> Способен проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности</p>	<p><b>ПК-3.1</b> Проведение анализа сырья, материалов и готовой продукции микроэлектроники</p>	<p><b>Знать</b> основные параметры, по которым контролируют сырье, материалы и готовую продукцию (ЗН-5). <b>Уметь</b> осуществлять выбор методов и методик для анализа (У-4). <b>Владеть</b> основными методиками анализа характеристик сырья, материалов и готовой продукции (Н-3).</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Технология материалов электронной техники» относится к части Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы бакалавриата, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.04) и изучается на третьем году обучения в 6 семестре и на четвертом в 7 семестре.

Изучение дисциплины базируется на знаниях и умениях, полученных при изучении курсов физики, физической химии, химических основ нанотехнологий, метрологии, стандартизации и сертификации.

Полученные в процессе освоения дисциплины знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе студента бакалавриата, а также при выполнении ВКР по тематике, связанной с разработкой и инновационным внедрением наукоемких процессов, материалов и технологий, созданием наноматериалов и разработкой нанотехнологических процессов.

## 3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц / академических часов)	<b>12 / 432</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>202</b>
занятия лекционного типа	68
занятия семинарского типа, в т.ч.	100
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	16 (16)
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	84 (84)
курсовое проектирование (КР или КП)	34 (16+18)
КСР	-
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>158</b>
<b>Формы текущего контроля</b>	
<b>Форма промежуточной аттестации</b>	6 семестр - экзамен (36 час.); КР 7 семестр - экзамен (36 час.); КП

#### 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	Вводная лекция	2				ПК-1
2	Материалы электронной техники: классификация, основные характеристики, получение и назначение	4			14	ПК-3
3	Основные этапы и процессы для получения полупроводниковых материалов и ИМС, механическая обработка полупроводниковых материалов	6		6	14	ПК-3
4	Материалы, технология и оборудование для формирования изображения в планарной технологии	6	2	6	12	ПК-1
5	Технологии легирования полупроводниковых материалов	6	8	18	16	ПК-1
6	Технологии и типовое оборудование для получения тонких пленок	8	6	18	12	ПК-1
	<b>Итого 6 семестр</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>48</b>	<b>68</b>	
7	Перспективные направления развития тонкопленочной технологии, нанотехнология	12		12	30	ПК-2
8	Вакуумная гигиена и вспомогательные процессы на предприятиях электронной промышленности	10		8	25	ПК-2
9	Особенности проектирования и решения экологических вопросов в производстве материалов и изделий электронной техники	8		16	25	ПК-2
10	Пленочные структуры в планарной технологии и интегральные устройства на их основе	6			10	ПК-2
	<b>Итого 7 семестр</b>	<b>36</b>	<b>-</b>	<b>36</b>	<b>90</b>	
	<b>ИТОГО</b>	<b>68</b>	<b>16</b>	<b>84</b>	<b>158</b>	

#### 4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1	ПК-1.2	Вводная лекция Материалы, технология и оборудование для формирования изображения в планарной технологии Технологии легирования полупроводниковых материалов Технологии и типовое оборудование для получения тонких пленок
2	ПК-2.2	Перспективные направления развития тонкопленочной технологии, нанотехнология Вакуумная гигиена и вспомогательные процессы на предприятиях электронной промышленности Особенности проектирования и решения экологических вопросов в производстве материалов и изделий электронной техники Пленочные структуры в планарной технологии и интегральные устройства на их основе
3	ПК-3.1	Материалы электронной техники: классификация, основные характеристики, получение и назначение Основные этапы и процессы для получения полупроводниковых материалов и ИМС, механическая обработка полупроводниковых материалов



#### 4.3. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p><b>Вводная лекция.</b></p> <p>Предмет курса и его задачи. Электроника как наука, классификация. Роль химии и химической технологии в области создания тонкопленочных и других видов материалов и изделий электронной техники. Некоторые исторические аспекты развития электронной и вакуумной техники. Роль российских ученых в создании новых видов технологий и оборудования. Важность защиты окружающей среды от вредных продуктов производства и как один из главных путей решения экологических проблем - создание безотходных и малоотходных процессов. Необходимость технико-экономической оценки новых процессов и оборудования. Роль вычислительной техники в электронной промышленности на стадиях проектирования и производства.</p>	2	Лекция-беседа
2	<p><b>Материалы электронной техники: классификация, основные характеристики и назначение</b></p> <p>Основные, вспомогательные, технологические и конструкционные материалы, их классификация. Основные характеристики полупроводниковых материалов, требования к ним и области применения в электронной технике. Кристаллизация, физико-химические основы технологии и оборудование для выращивания монокристаллов.</p> <p>Сорбционные и каталитические системы и их применение в технологии материалов и изделий электронной техники.</p>	4	Лекция-беседа
3	<p><b>Основные этапы и процессы для получения полупроводниковых материалов и ИМС, механическая обработка полупроводниковых материалов</b></p> <p>Общая технологическая схема производства полупроводниковых приборов: подготовительные процессы, групповая обработка, индивидуальная обработка.</p> <p>Механическая обработка полупроводниковых материалов и монокристаллов: резка, шлифовка, полировка, теххимическая обработка, скрайбирование и разделение пластин на отдельные кристаллы. Теххимическая обработка поверхности полупроводников.</p>	6	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
4	<p><b>Материалы, технология и оборудование для формирования изображения в планарной технологии</b></p> <p>Литографические процессы, их назначение и основные виды. Фоторезисты, виды (органические и неорганические), требования к ним, оборудование для нанесения фоторезистов на поверхность подложек.</p> <p>Фотошаблоны, технология и оборудование для их изготовления (координаторы, редуцирующие фотокамеры, фотоповторители, генераторы изображения).</p> <p>Оборудование литографических процессов, основные операции фотолитографии (литографическая «линейка»), в технологии микроэлектронных устройств. Сравнительные характеристики фотолитографии с другими видами литографических процессов (электронно-лучевая, рентгеновская, ионно-лучевая и др. виды литографических процессов).</p>	6	Лекция-беседа
5	<p><b>Технологии легирования полупроводниковых материалов</b></p> <p>Диффузия в планарной технологии: физико-химические основы диффузионных процессов, вещества - диффузаны и требования к ним. Способы проведения диффузии, двухстадийная диффузия, понятия «загонки» и «разгонки», схемы установок. Типовое оборудование диффузионных процессов: реакционные камеры, автозагрузчики, блок автоматизированного управления и т.д. Методы расчета диффузионных процессов: прямая и обратная задачи.</p> <p>Физико-химические основы ионной имплантации, вещества - источники легирующих добавок. Схема, принцип действия и основные узлы установки ионной имплантации: источник ионов, источник высокого напряжения, ускорительная трубка, магнитный генератор, система фокусировки и сканирования, приемная камера. Виды установок ионного легирования. Методы расчета процессов ионной имплантации: прямая и обратная задачи</p>	6	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
6	<p><b>Технологии и типовое оборудование для получения тонких пленок</b></p> <p>Классификация методов получения тонких пленок. Процессы и оборудование для получения защитных диэлектрических пленок в планарной технологии (оксидные и нитридные пленки кремния), процессы металлизации и др.: термическое окисление, термовакуумное испарение, катодное, ионно-плазменное и магнетронное распыление, пиролитическое осаждение; схемы установок и принцип их действия, основные технологические характеристики, методы расчета процессов напыления в вакууме и катодного распыления. Технология эпитаксиальных слоев.</p> <p>Оборудование для контроля качества тонких пленок. Перспективы развития технологии о оборудования для получения тонких пленок.</p>	8	Лекция-беседа
7	<p><b>Перспективные направления развития тонкопленочной технологии, нанотехнология</b></p> <p>Газофазное химическое осаждение пленок и покрытий. Установка молекулярно - лучевой эпитаксии. Физико-химические основы нанотехнологии, технологические приемы и оборудование. Физические основы туннельно-зондовой нанотехнологии. Установки для получения пленок Ленгмюра-Блоджетт. Оборудование послойной атомной эпитаксии. Химические основы нанотехнологии на принципах метода МН. Установки и оборудование для проточного и вакуумного вариантов технологии химической сборки материалов и изделий электронной техники.</p>	12	Лекция-беседа
8	<p><b>Вакуумная гигиена и вспомогательные процессы на предприятиях электронной промышленности</b></p> <p>Чистые комнаты, их классификация, основные контролируемые и регулируемые параметры производственных помещений. Требования к персоналу производственных помещений.</p> <p>Вопросы газо- и водоподготовки в технологии микроэлектронных устройств: виды используемых газов и их назначение, требования к газам, оборудование для осушки и очистки азота, кислорода, водорода, аргона, воздуха. Требования к воде и оборудование для ее подготовки и контроля; дистиллированная и деионизованная вода.</p>	10	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
9	<p><b>Особенности проектирования и решения экологических вопросов в производстве материалов и изделий электронной техники</b></p> <p>Типы химико-технологических процессов и их основные характеристики. Гомогенные и гетерогенные процессы. Виды гетерогенных процессов. Гетерогенные процессы в системе газ - твердое тело.</p> <p>Основные требования, предъявляемые к современному оборудованию. Значение стандартизации и унификации узлов и конструкций.</p> <p>Приборы для контроля температуры, давления (вакуума), расхода, влажности.</p> <p>Организационно - экономические вопросы создания и освоения производства материалов и изделий электронной техники.</p> <p>Экологические проблемы и общие подходы для их решения.</p> <p>Особенности решения экологических проблем на предприятиях электронной промышленности.</p>	8	Лекция-беседа
10	<p><b>Пленочные структуры в планарной технологии и интегральные устройства на их основе</b></p> <p>Конструкции и технология элементов полупроводниковых интегральных устройств. Интегральные микросхемы на биполярных транзисторах с диэлектрической изоляцией и изоляцией р-п переходом. Интегральные микросхемы на МДП-транзисторах. Технология интегральных микросхем на арсениде галлия.</p> <p>Контакты и коммутации в интегральных схемах. Технология многоуровневой коммутации в производстве БИС и СБИС.</p> <p>Методы, оснастка и оборудование для повышения надежности изделий электронной техники в процессе производства, хранения и эксплуатации: стабилизация газовой среды во внутреннем объеме герметичных изделий, влагогазопоглощающие материалы и патроны, методы их расчета и проектирования.</p> <p>Защита материалов и оборудования от коррозии. Методы консервации оборудования, ингибиторы коррозии.</p>	6	Лекция-беседа

#### 4.4. Занятия семинарского типа

##### 4.4.1. Семинары, практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в т.ч. на практическую подготовку	
4	<b>Фотолитография</b> Подобрать условия проведения иммерсионной литографии и тип фоторезиста с целью получения маски для элементов с заданными минимальной длиной и шириной	2	2	
5	<b>Технология легирования полупроводниковых пластин</b> Расчет распределения примесей и режимов диффузионных процессов и ионной имплантации в планарной технологии (прямая и обратная задачи).	4	4	
	<b>Физические вакуумные методы получения тонких пленок</b> Расчет коэффициентов катодного распыления материалов. Получение тонких пленок термовакуумным испарением (прямая и обратная задачи)	4	4	
6	<b>Расчет процесса молекулярного наслаивания</b> По заданным исходным данным провести расчет толщины нанослоя, полученного на кремниевой пластине методом молекулярного наслаивания с использованием паров хлоридов элементов и воды. Определить строение функциональных групп при заданных значениях концентрации исходных гидроксидов, а также содержания элемента и хлора в продуктах взаимодействия с парами галогенидов. Определить необходимое минимальное количество реагентов для выпуска партии кремниевых пластин при заданных параметрах продукции и исходных реагентов.	2	2	
	<b>Расчет и проектирование оборудования для газоподготовки</b> Расчет установок для осушки газов и их применение в различных технологических процессах.	4	4	Разбор конкретных ситуаций

#### 4.4.2. Лабораторные занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Примечания
		всего	в т.ч. на практическую подготовку	
3	<b>Пленочные материалы и их идентификация.</b> Интерференционное определение толщины. Электроннографическое определение структуры и параметров кристаллической решетки в эпитаксиальных слоях тонких пленок. Определение ориентации полупроводниковых кристаллов по фигурам травления	6	6	
4	<b>Формирование изображения ИМС</b> Нанесение и закрепление пленки фоторезиста, операции совмещения и экспонирования, проявление изображения, удаление пленки	6	6	Выполняются 2 лабораторные работы по выбору преподавателя
5	<b>Легирование полупроводниковых пластин</b> Проведение двухстадийной термической диффузии полупроводниковых пластин. Ионное легирование материалов.	18	18	
6	<b>Традиционные тонкопленочные технологии</b> Ионно-плазменные методы получения пленок. Получение пленок металлов термическим испарением. Технология получения резистивных пленок. Технология получения пленок магнетронным распылением.	18	18	Выполняются 3 лабораторные работы по выбору преподавателя
7	<b>Перспективные процессы в нанoeлектронике</b> Получение оксидных пленок методом молекулярного наслаивания – химическая нанотехнология	12	12	
8	<b>Контроль вспомогательных процессов в планарной технологии</b> Контроль влагосодержания газовых сред с использованием цветового индикатора визуального действия на основе ванадийсодержащего силикагеля и его сравнение с традиционным индикатором – кобальтсодержащим силикагелем.	8	8	
9	<b>Пленочные структуры в планарной технологии</b> Электроннографическое определение структуры и параметров кристаллической решетки в эпитаксиальных слоях тонких пленок; электрофизические характеристики тонких пленок.	16	16	

#### 4.5. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
2	Характеристика основных видов электроники (вакуумная, твердотельная, СВЧ, оптоэлектроника и др.)	14	контрольный опрос
3	Высокотемпературные полупроводники. Получение и свойства. Материалы высокотемпературных сверхпроводников Халькогенидные стекла: технология получения, свойства, области применения. Новые материалы оптоэлектроники. Полимерные композиты в электронике. Материалы молекулярной электроники.	14	контрольный опрос
4	Оборудование для выращивания монокристаллов кремния. Термодинамика кристаллизации, методы выращивания кристаллов из расплавов, из растворов, из газовой фазы, рост кристаллов в твердой фазе	12	контрольный опрос
5	Различные виды литографических процессов (электронно-лучевая, ионная, галографическая, рентгеновская). Аморфные и неорганические резисты. Синхротронное излучение в литографии.	16	контрольный опрос
6	Конструктивные особенности установок ионной имплантации с различными энергетическими характеристиками. Подготовка газовых сред в процессах диффузионного легирования.	12	контрольный опрос
7	Макрокинетика химических реакций в системе газ - твердое тело. Химические основы нанотехнологии материалов для твердотельных лазеров. Технология электрооптических и магнитных монокристаллов и пленок. Технология основных узлов и элементов приборов вакуумной электроники: люминесцентные, теплозащитные и другие экраны, катодноподогревательные узлы, электронные пушки. Начальные стадии роста пленок. Капиллярная модель образования зародышей на гладких поверхностях. Аккомодация атомов и молекул. Метастабильная и равновесная концентрация критических зародышей. Строение и роль границы раздела в формировании слоя. Механизм образования зародышей при эпитаксиальном росте пленок и его влияние на ориентацию. Рост пленок на аморфных поверхностях.	30	контрольный опрос
8	Адсорбционные явления на поверхности кристаллов. Адсорбированные комплексы и поверхностные соединения на реальной поверхности. Реакционная способность поверхности. Методы оценки. Диффузионные характеристики адсорбатов.	25	контрольный опрос

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
	Роль различных факторов при адсорбции. Оборудование туннельно – зондовой нанотехнологии. Особенности магнитных характеристик наноструктур.		
9	Компоновка оборудования в гермозонах. Подготовка газовых и водных сред	25	контрольный опрос
10	Физические явления в тонкопленочных структурах. Элементы барьерной теория проводимости. Фотопроводимость в тонких слоях. Гетероструктуры. Получение методом молекулярно-лучевой эпитаксии гетероструктур $A^{III}B^V$ - $A^{III}B^{VI}$ и $A^{IV}$ - $A^{III}B^V$ . Получение, свойства и применение полупроводниковых наноструктур. Сверхрешетки и приборы на их основе. Контактные явления в полупроводниковых структурах. Барьер Шоттки и приборы на его основе. МДП-структуры в ИМС. Регулирование плотности поверхностных состояний модифицированием поверхности полупроводников. Тонкопленочные структуры магнитных композиционных материалов.	10	контрольный опрос

#### 4.5.1 Темы курсовых работ

1. Полупроводниковые оксиды. Получение, свойства и применение.
2. Газотранспортные реакции и их использование в технологии особо чистых веществ и эпитаксиальных структур.
3. МОС-гидридная технология в производстве эпитаксиальных полупроводниковых структур.
4. Молекулярно-лучевая эпитаксия в развитии полупроводниковых наноструктур и сверхрешеток.
5. Выращивание монокристаллов в электронной технике.
6. Получение нитридов галлия и индия.
7. Карбид кремния, его получение и использование в электронике.
8. Технология и оборудование ионного легирования.
9. Установки и способы диффузионного легирования.
10. Установка катодного распыления, диодные схемы на постоянном токе и высокочастотные.
11. Технология и оборудование для химического осаждения пленок из газовой фазы.
12. Механическая обработка монокристаллов при получении полупроводниковых пластин
13. Установки ионного легирования полупроводниковых пластин с различным расположением основных узлов.
14. Установка молекулярного наслаивания.
15. Установки катодного распыления, триодная схема.
16. Установка магнетронного распыления.
17. Оборудование для получения пленок испарением в вакууме.
18. Оборудование для получения фотошаблонов и фотолитографии.
19. Установка ионного легирования, конструкция ускорительной трубки.
20. Разработка технологического процесса изготовления интегральных схем.
21. Установка для получения пленок Ленгмюра-Блоджетт.
22. Установка ионной имплантации и основные виды ионизационных источников.
23. Сканирующий туннельный и атомно-силовой микроскопы.
24. Чистые комнаты и оборудование газоподготовки.
25. Установка молекулярно-лучевой эпитаксии.



#### 4.5.2 Тема курсового проекта и этапы его выполнения

Разработка технологического процесса изготовления полупроводниковых интегральных микросхем.

Этапы проектирования

1. Выбор параметров полупроводниковых материалов для изготовления интегральных микросхем.
2. Определение основных требований к классу чистоты производственных помещений, качеству применяемых материалов, реагентов, воды.
3. Обоснование применения технологических процессов с учетом требований технического задания на изделие.
4. Разработка технологического маршрута изготовления интегральных микросхем.
5. Экономические показатели спроектированного технологического процесса.

Задание на разработку технологического процесса изготовления полупроводниковых интегральных микросхем является индивидуальным и выдается руководителем.

#### 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. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 108 с. (ЭБ)
2. Ежовский, Ю. К. Разработка технологического процесса изготовления полупроводниковых интегральных схем: методические указания к курсовому проекту / Ю.К.Ежовский – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2013. – 38 с. (ЭБ)
3. Ежовский, Ю.К. Основы расчета вакуумной техники: учебное пособие / Ю.К. Ежовский, А.А. Малыгин. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016. - 45 с. (ЭБ)
4. Захарова, Н.В. Метрологическое обеспечение измерений наноразмерных объектов: учебное пособие / Н.В.Захарова, Е.А.Соснов. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014. - 92 с. (ЭБ)
5. Исследование наноструктур с применением сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие / К.Л.Васильева, О.М.Ищенко, Е.А.Соснов, А.А.Малыгин. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2010. - 64 с. (ЭБ)
6. Малыгин, А.А. Химическая сборка функциональных наноматериалов методом молекулярного наслаивания: конспект лекций / А.А.Малыгин. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. - 74 с. (ЭБ)
7. Малыгин, А.А. Свойства и применение функциональных наноматериалов: текст лекций / А.А.Малыгин, А.А.Малков. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2013. - 71 с. (ЭБ)
8. 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. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. - 188 с. (ЭБ)
9. 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

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 6 и 7 семестров в виде защиты курсовой работы и курсового проекта соответственно, а также экзаменов в устной форме. Экзамен предусматривает проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Результаты экзаменов включаются в приложение к диплому.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Примеры вопросов, предлагаемых на экзамене:

1. Виды установок с разным взаимным расположением узлов в зависимости от энергетических характеристик.
2. Органические фоторезисты, их виды, назначение, требования к ним.
3. Расчет диффузионных структур (прямая и обратная задачи).
4. Процессы испарения и конденсации вещества в вакууме. Термическое вакуумное испарение.
5. Оборудование для получения фотошаблонов и его основные характеристики.
6. Химические методы получения тонких пленок, в том числе, с применением иницирующих воздействий.
7. МОС-гидридная технология в производстве полупроводниковых слоев.
8. Приборы для измерения влажности газов, классификация, схемы, принцип действия.
9. Основные технологические операции изготовления МДП- транзисторов ИМС.

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

### **а) печатные 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.
2. Ежовский, Ю. К. Разработка технологического процесса изготовления полупроводниковых интегральных схем: методические указания к курсовому проекту / 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), 2013. – 38 с.
3. Ежовский, Ю.К. Основы расчета вакуумной техники: учебное пособие / Ю.К. Ежовский, 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), 2016. - 45 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. Захарова, Н.В. Метрологическое обеспечение измерений наноразмерных объектов: учебное пособие / Н.В.Захарова, Е.А.Соснов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014. - 92 с.

6. Исследование наноструктур с применением сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие / К.Л.Васильева, О.М.Ищенко, Е.А.Соснов, А.А.Мальгин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2010. - 64 с.
7. Мальгин, А.А. Химическая сборка функциональных наноматериалов методом молекулярного наслаивания: конспект лекций / А.А.Мальгин; 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.
8. Мальгин, А.А. Свойства и применение функциональных наноматериалов: текст лекций / А.А.Мальгин, А.А.Малков; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2013. - 71 с.
9. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю.А.Чаплыгина. - Москва: Техносфера, 2005. - 446 с. - ISBN 5-94836-059-8
10. 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.; 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.
11. 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
12. 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

#### **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: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
2. Ежовский, Ю. К. Разработка технологического процесса изготовления полупроводниковых интегральных схем: методические указания к курсовому проекту / 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), 2013. – 38 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
3. Ежовский, Ю.К. Основы расчета вакуумной техники: учебное пособие / Ю.К. Ежовский, А.А. Мальгин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016. - 45 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
4. Захарова, Н.В. Метрологическое обеспечение измерений наноразмерных объектов: учебное пособие / Н.В.Захарова, Е.А.Соснов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016. - 45 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

- Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014. - 92 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
5. Исследование наноструктур с применением сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие / К.Л.Васильева, О.М.Ищенко, Е.А.Соснов, 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), 2010. - 64 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
  6. 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: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
  7. Малыгин, А.А. Свойства и применение функциональных наноматериалов: текст лекций / А.А.Малыгин, А.А.Малков; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2013. - 71 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
  8. 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. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
  9. 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: 15.12.2020). - Режим доступа: по подписке.

#### **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. [www.nt-mdt.ru](http://www.nt-mdt.ru)
5. [www.nanoscopus.org](http://www.nanoscopus.org)

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

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

1. СТО СПбГТИ(ТУ) 026-2016. Положение о бакалавриате./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2016.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 38 с.
2. СПП 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) 018-2014. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2014.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.- 16 с.
4. 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.
5. 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.
6. СПП 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.
7. 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 студенту 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 студентов 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 6 и 7 семестров в виде защиты курсовой работы и курсового проекта соответственно, а также экзаменов в устной форме. Экзамен включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин. Результаты экзаменов 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»

## **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 25 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024x758).
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 25 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024x758).
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 18.03.01 Химическая технология, 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  
"Технология материалов электронной техники"**

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

<b>Индекс компетенции</b>	<b>Содержание</b>	<b>Этап формирования</b>
<b>ПК-1</b>	Способен и готов осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции	промежуточный
<b>ПК-2</b>	Способен принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции	промежуточный
<b>ПК-3</b>	Способен проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности	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)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
ПК-1.2 Осуществление технологических процессов изготовления изделий микроэлектроники в соответствии с технологическим регламентом	Знает классификацию материалов и изделий электронной техники (ЗН-1).	Ответы на вопросы №№ 1-6 к экзамену	Имеет представление о классификации материалов и изделий электронной техники	Знает основные принципы классификации материалов и изделий электронной техники	Знает классификацию материалов и изделий электронной техники
	Знает основные технологии и их параметры в микроэлектронике (ЗН-2).	Ответы на вопросы №№ 7-21 к экзамену	Имеет представление о некоторых основных технологиях и их параметрах в микроэлектронике	Знает как оценивать основные технологии и их параметры в микроэлектронике	Знает основные технологии и их параметры в микроэлектронике
	Умеет формулировать перечень основных параметров технологических процессов, сырья и продукции (У-1).	Ответы на вопросы №№ 22-29 к экзамену	Имеет слабые представления о перечне основных параметров технологических процессов, сырья и продукции	Имеет представление о перечне основных параметров технологических процессов, сырья и продукции	Владеет перечнем основных параметров технологических процессов, сырья и продукции
	Владеет основами средств контроля ТП, сырья и продукции (Н-1).	Ответы на вопросы №№ 30-36 к экзамену	Имеет представление об основных средствах контроля ТП, сырья и продукции	Владеет основными средствами контроля ТП, сырья и продукции	Владеет основными средствами контроля ТП, сырья и продукции и применяет их на практике



Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
ПК-2.2 Выбор технических средств для технологических процессов производства микроэлектронных изделий	Знает общую технологическую схему производства интегральных микросхем и используемые материалы и сырье (ЗН-3).	Ответы на вопросы №№ 37-41 к экзамену	Имеет представление об общей технологической схеме производства интегральных микросхем и используемых материалах и сырье	Знает основные процессы, включенные в общую технологическую схему производства интегральных микросхем	Знает общую технологическую схему производства интегральных микросхем и используемые материалы и сырье
	Знает основные характеристики оборудования, применяемого в технологии микроэлектроники (ЗН-4).	Ответы на вопросы №№ 42-45 к экзамену	Имеет представление об основных характеристиках оборудования, применяемого в технологии микроэлектроники	Знает основные принципы, заложенные в характеристики оборудования, применяемого в технологии микроэлектроники	Знает основные характеристики оборудования, применяемого в технологии микроэлектроники
	Умеет оценивать применимость различных видов оборудования и технологических процессов в микроэлектронике (У-2).	Ответы на вопросы №№ 48-55 к экзамену	Имеет слабые представления об оценке применимости различных видов оборудования и технологических процессов в микроэлектронике	Имеет представление об оценке применимости различных видов оборудования и технологических процессов в микроэлектронике	Умеет оценивать применимость различных видов оборудования и технологических процессов в микроэлектронике
	Умеет формулировать возможные экологические последствия при применении ТП, материалов (У-3)	Ответы на вопросы №№ 46-47 к экзамену	Имеет слабые представления о возможных экологических последствиях при применении ТП, материалов	Имеет представление о возможных экологических последствиях при применении ТП, материалов	Умеет формулировать возможные экологические последствия при применении ТП, материалов

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	Владеет приборами и методиками для оценки готовности оборудования к использованию (Н-2).	Ответы на вопросы №№ 56-62 к экзамену	Имеет слабые представления о приборах и методиках для оценки готовности оборудования к использованию	Имеет представления о приборах и методиках для оценки готовности оборудования к использованию	Владеет приборами и методиками для оценки готовности оборудования к использованию
ПК-3.1 Проведение анализа сырья, материалов и готовой продукции микроэлектроники	Знает основные параметры, по которым контролируют сырье, материалы и готовую продукцию (ЗН-5).	Ответы на вопросы №№ 63-66; к экзамену	Имеет слабые представления об основных параметрах, по которым контролируют сырье, материалы и готовую продукцию	Имеет представления об основных параметрах, по которым контролируют сырье, материалы и готовую продукцию	Знает основные параметры, по которым контролируют сырье, материалы и готовую продукцию
	Умеет: осуществлять выбор методов и методик для анализа (У-4).	Ответы на вопросы №№ 71-80 к экзамену	Имеет представления о методах и методиках для анализа	Способен осуществлять выбор методов и методик для анализа	Умеет осуществлять выбор методов и методик для анализа
	Владеет основными методиками анализа характеристик сырья, материалов и готовой продукции (Н-3).	Ответы на вопросы №№ 67-70 к экзамену	Имеет слабые представления об основных методиках анализа характеристик сырья, материалов и готовой продукции	Имеет представления об основных методиках анализа характеристик сырья, материалов и готовой продукции	Владеет основными методиками анализа характеристик сырья, материалов и готовой продукции

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ (ТУ): промежуточная аттестация проводится в форме экзамена. Критерии оценивания – «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично» приведены в таблице 2.

Оценка «не удовлетворительно» 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**

#### **3.1. Тесты для самооаттестации**

##### **Вариант 1**

1. Какие из перечисленных материалов относятся к полупроводниковым:
  - оксид кремния;
  - кремний;
  - тантал;
  - тетрахлорид кремния.
2. Виды механической обработки полупроводниковых материалов при изготовлении пластин для ИС:
  - резка, шлифовка, полировка;
  - размол, рассев;
  - прокатка;
  - сверление.
3. Область применения диффузионно-термических процессов в планарной технологии:
  - получение толстых пленок;
  - получение тонких пленок;
  - легирование полупроводниковых пластин;
  - полировка поверхности.
4. Назначение установки ионной имплантации:
  - очистка поверхности пластин;
  - получение толстых пленок;
  - полировка поверхности;
  - легирование полупроводниковых пластин.

##### **Вариант 2**

1. Суть процесса получения тонких пленок испарением в вакууме:
  - испарение материала катода;
  - испарение вещества для пленки;
  - распыление анода;
  - распыление катода.
2. Суть процесса получения тонких пленок катодным распылением:
  - испарение анода;
  - распыление анода;
  - распыление катода;
  - испарение анода.
3. В каком случае применяют высокочастотные установки катодного распыления:
  - при напылении металлических пленок;
  - при напылении органических пленок;
  - при напылении диэлектрических пленок;
  - при легировании пластин.
4. В чем особенность установки магнетронного распыления по сравнению с другими приемами катодного распыления:
  - процесс протекает при пониженном напряжении;
  - процесс протекает при высоком напряжении;
  - процесс протекает в скрещенном магнитных и электрическом полях;
  - процесс протекает в вакууме.

### **Вариант 3**

1. От какого основного параметра зависит толщина пленки в процессе молекулярного наслаивания:
  - от времени;
  - от количества пропущенного вещества;
  - от числа циклов молекулярного наслаивания;
  - от давления.
2. Суть процесса получения пленок Ленгмюра-Блоджетт:
  - напыление органической пленки из газовой фазы на поверхность твердой подложки;
  - испарение органического вещества и осаждение на поверхность твердой подложки;
  - перенос органической пленки с поверхности жидкой фазы на поверхность твердой подложки;
  - прокатка валиком.
3. На чем основан принцип действия туннельного микроскопа:
  - на использовании низкого напряжения;
  - на использовании эффекта туннелирования электронов;
  - на использовании высокого сопротивления;
  - на использовании сверхпроводимости.
4. На чем основан принцип действия атомно-силового микроскопа:
  - на различии в силе взаимодействия между телами от расстояния;
  - на использовании эффекта туннелирования электронов;
  - на использовании сверхпроводимости;
  - на использовании сопротивления материала.
5. Основные два узла в конструкции туннельного микроскопа:
  - зонд и пьезосканер;
  - зонд и источник напряжения;
  - пьезосканер и омметр;
  - амперметр и вольтметр.

### **Вариант 4**

1. Назначение процесса фотолитографии в планарной технологии:
  - нанесение тонких пленок;
  - нанесение толстых пленок;
  - легирование пластин;
  - перенос изображения.
2. Длина волны актиничного света в проекционной фотолитографии:
  - 1 нм;
  - 100 нм;
  - 450 нм;
  - 1000 нм.
3. Длина облучающей волны в электронно-лучевой и рентгенолитографии:
  - 10 – 40 нм;
  - 50 - 100 нм;
  - 0,1 – 5,0 нм;
  - 1000 - 2000 нм.
4. Назначение координатографа при изготовлении фотошаблонов:
  - изготовление оригинала фотошаблона;
  - изготовление промежуточного фотошаблона;
  - изготовление рабочего фотошаблона;
  - изготовление фоторезиста.

- На заполнение тестовых карт отводится 10 минут. Тестирование используется для:
- промежуточного контроля знаний студентов;
  - развития навыков принятия решений;
  - корректировки содержания и/или формы представления лекций с учетом особенностей восприятия и усвоения материала аудиторией.

Контрольные карты хранятся на кафедре.

### **3.2 Оценка сформированности элементов компетенции**

#### **а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-1**

1. Классификация электроники как науки.
2. Основные этапы развития микроэлектроники.
3. Роль химических процессов в микроэлектронике.
4. Кремний, его основные свойства и применение в планарной технологии.
5. Арсенид галлия, его свойства и использование в технологии ИМС.
6. Полупроводниковые соединения  $A^{II}B^{VI}$  и их использование в оптоэлектронике.
7. Перспективные методы и оборудование литографии: рентгено- и электролитография, ионно-лучевая, нанолитография.
8. Основные узлы установки, их назначение и требования к ним.
9. Виды установок с разным взаимным расположением узлов в зависимости от энергетических характеристик.
10. Схема установки ионной имплантации и ее описание.
11. Виды установок вакуумного испарения (периодические, полунепрерывные, непрерывного действия), основные характеристики.
12. Технологические характеристики установок катодного распыления: триодная и магнетронная схемы, схема с автономным источником ионизации, основные узлы установок и их назначение.
13. Назначение и суть процесса фотолитографии в создании интегральных схем.
14. Органические фоторезисты, их виды, назначение, требования к ним.
15. Неорганические фоторезисты: их виды, требования к ним, перспективы применения.
16. Виды и методы получения фотошаблонов.
17. Виды литографических процессов, основные характеристики.
18. Основные стадии фотолитографии и их характеристики (фотолитографическая «линейка»).
19. Получение структур методом диффузии: физико-химические основы процесса.
20. Диффузанты: классификация, виды и назначение.
21. Способы проведения диффузии, распределение примесей по глубине в зависимости от режимов и стадии процесса легирования.
22. Расчет диффузионных структур (прямая и обратная задачи).
23. Получение структур методом ионной имплантации: физико-химические основы процесса.
24. Расчет процесса ионной имплантации, распределение примеси по глубине (прямая и обратная задачи).
25. Классификация методов получения тонких пленок (механические, физические, физико-химические, химические).
26. Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме: суть метода, состав оборудования.
27. Расчет процесса вакуумного испарения (прямая и обратная задачи).
28. Суть процесса катодного распыления, диодная схема и ее описание.
29. Расчет коэффициента катодного распыления.
30. Схема и описание триодной установки катодного распыления.
31. Схема и описание установки катодного распыления с автономным источником ионов.
32. Суть процесса магнетронного распыления.

33. Характеристика вакуумных методов. Достоинства и недостатки.
34. Процессы испарения и конденсации вещества в вакууме. Термическое вакуумное испарение.
35. Эпитаксия кремния и полупроводниковых соединений.
36. Метод химических транспортных реакций (ХТР). Получение полупроводниковых эпитаксиальных структур методом ХТР.

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

37. Общая технологическая схема производства интегральных микросхем (основные этапы и документация).
38. Основные требования, предъявляемые к современному технологическому оборудованию.
39. Общие сведения о материалах электронной техники. Виды полупроводниковых материалов, подложек и основные требования к ним.
40. Конструкционные материалы, классификация, основные характеристики, области применения в электронной технике.
41. Методы и требования к оборудованию для нанесения органических фоторезистов.
42. Оборудование для получения фотошаблонов и его основные характеристики.
43. Оборудование для контактной и проекционной фотолитографии.
44. Оборудование для диффузионного легирования полупроводниковых материалов и виды установок.
45. Анализ оборудования для получения тонких пленок катодным распылением: диодная схема (на постоянном токе и высокочастотная), распыление металлов и диэлектриков.
46. Экологические проблемы современных технологий, основные пути их решения при разработке и проектировании оборудования.
47. Особенности решения экологических проблем в микроэлектронике при проектировании новых технологических процессов.
48. Химические методы получения тонких пленок, в том числе, с применением иницилирующих воздействий.
49. Основные способы и оборудование для химического осаждения пленок из газовой фазы.
50. Перспективные процессы и оборудование тонкопленочной технологии и основные требования к ним.
51. Молекулярно-лучевая эпитаксия: схема установки и описание ее работы.
52. Молекулярное наслаивание: основные принципы, структурно-размерные эффекты, синтетические возможности.
53. Вакуумная и проточная установки молекулярного наслаивания, их схемы и основные характеристики.
54. Пленки Ленгмюра-Блоджетт в электронной технике: основы процесса их получения, схема установки и ее технологические характеристики.
55. Понятие нанотехнологии, основные приемы и виды оборудования: сканирующий туннельный и атомно-силовой микроскопы (принцип действия и схемы).
56. Газы в электронной технике, требования к ним, виды, области применения.
57. Схемы установок газоподготовки и их расчет.
58. Требования к воде в микроэлектронике, оборудование водоподготовки.
59. МОС-гидридная технология в производстве полупроводниковых слоев.
60. Химические реакторы: классификация, принципы проектирования, примеры схем и их описание.
61. Основы проектирования технологических процессов и оборудования.
62. Особенности проектирования процессов и оборудования в микроэлектронике. Компоновка оборудования.

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

63. Основные этапы механической обработка полупроводниковых материалов.
64. Резка полупроводниковых слитков на пластины (способы и оборудование); шлифовка, полировка.
65. Скрайбирование полупроводниковых пластин, разделение их на отдельные кристаллы, контроль качества продукции.
66. Виды и свойства абразивных материалов, классификация и использование в микроэлектронике.
67. Приборы для измерения температуры, классификация, схемы, принцип действия.
68. Приборы для измерения влажности газов, классификация, схемы, принцип действия.
69. Приборы для измерения расхода, классификация, схемы, принцип действия.
70. Кулонометрические измерители влажности, приборы по точке росы, сорбционно-индикаторные экспресс методы определения влагосодержания газов.
71. Полупроводниковые гетероструктуры и гетеропереходы. Методы получения гетероструктур.
72. Классификация и основные типы ИМС.
73. Основные этапы изготовления ИМС на биполярных транзисторов с диэлектрической изоляцией.
74. Основные технологические операции изготовления биполярных ИМС с изоляцией p-n переходом.
75. Интегральные схемы на диэлектрических подложках. КНД (КНС) – технология.
76. Основные технологические операции изготовления МДП- транзисторов ИМС.
77. Интегральные микросхемы на арсениде галлия. Технология МЭП и ГМЭП транзисторов.
78. Контакты и коммутации в интегральных микросхемах. Основные требования к металлам и роль технологических факторов.
79. Создание топологии элементов интегральных устройств.
80. Конструкция и технология пассивных элементов ИМС.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего и промежуточного контроля. При сдаче экзамена, студент получает два 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(ТУ) 026-2016. Положение о бакалавриате./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2016.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 38 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.