

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Директор по образовательной
деятельности

_____ С.Т. Князев
«__» _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1159334	Плазмохимические процессы для создания и диагностики материалов

Екатеринбург

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
Образовательная программа 1. Физическая электроника	Код ОП 1. 11.04.04/33.02
Направление подготовки 1. Электроника и наноэлектроника	Код направления и уровня подготовки 1. 11.04.04

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Чолах Сеиф Османович	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	электрофизики

Согласовано:

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Плазмохимические процессы для создания и диагностики материалов

1.1. Аннотация содержания модуля

В модуле рассматриваются основы низкотемпературной плазмы, изучаются методы применения плазмохимических технологий для создания микро- и нанoeлектронных приборов, а также физико-химические подходы к разработке нанoeлектронных структур. Изучаются современные представления о физике поверхности твердых тел, а также о физической природе, характеристиках и возможностях наиболее информативных методов диагностики поверхности и приповерхностных объемов твердых тел.

1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Физика низкотемпературной плазмы	4
2	Физические основы технологий микро- и нанoeлектроники	4
3	Диагностика вещества и его поверхности	4
ИТОГО по модулю:		12

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Не предусмотрены
Постреквизиты и кореквизиты модуля	1. Спектроскопия атомов, молекул и твердых тел

1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3

<p>Диагностика вещества и его поверхности</p>	<p>ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания</p>	<p>З-1 - Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и инженерных наук</p> <p>З-2 - Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и инженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания</p> <p>У-1 - Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и инженерных наук</p> <p>У-2 - Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и инженерных наук</p> <p>П-1 - Работая в команде, разрабатывать варианты формулирования и решения научно-исследовательских, технических, организационно-экономических и комплексных задач, применяя знания фундаментальных и инженерных наук</p>
	<p>ПК-4 - Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с использованием пучков корпускулярного и электромагнитного излучения, электрического разряда в газах и вакууме, потоков плазмы</p>	<p>З-1 - Определять возможности и порядок использования лабораторного оборудования для исследовательских и экспериментальных работ по анализу материалов и опробованию технологических процессов</p> <p>У-1 - Формулировать техническое задание на проведение исследований материалов для приборов оптоэлектроники и фотоники и экспериментальную проверку технологических процессов</p> <p>П-1 - Осуществлять обоснованный выбор оптимального варианта технологического процесса</p> <p>П-2 - Оформлять результаты исследовательских и проектных работ</p>
<p>Физика низкотемпературной плазмы</p>	<p>ОПК-3 - Способен планировать и проводить комплексные исследования и изыскания для решения</p>	<p>З-1 - Сформулировать основные принципы организации и планирования научного исследования</p>

	<p>инженерных задач относящихся к профессиональной деятельности, включая проведение измерений, планирование и постановку экспериментов, интерпретацию полученных результатов</p>	<p>З-2 - Характеризовать возможности исследовательской аппаратуры и методов исследования, используя технические характеристики и области применения</p> <p>З-3 - Сделать обзор основных методов статистической обработки и анализа результатов измерений</p> <p>З-4 - Перечислить основные нормативные документы, регламентирующие оформление научно-технических отчетов и защиту прав интеллектуальной собственности</p> <p>У-1 - Собирать и анализировать научно-техническую информацию для оптимального планирования исследования и изыскания</p> <p>У-2 - Обоснованно выбрать необходимую аппаратуру и метод исследования для решения инженерных задач, относящихся к профессиональной деятельности</p> <p>У-3 - Оценивать оформление научно-технических отчетов, публикаций научных результатов, документов защиты интеллектуальной собственности на соответствие нормативным требованиям</p> <p>П-1 - Выполнять в рамках поставленного задания экспериментальные комплексные научно-технические исследования и изыскания для решения инженерных задач в области профессиональной деятельности, включая обработку, интерпретацию и оформление результатов</p> <p>П-2 - Оформить научно-технический отчет, публикацию научных результатов, документы защиты интеллектуальной собственности в соответствии с нормативными требованиями</p>
	<p>ОПК-4 - Способен разрабатывать технические объекты, системы и технологические процессы в своей профессиональной деятельности с учетом экономических,</p>	<p>З-1 - Объяснить основные принципы функционирования разрабатываемых технических объектов, систем, технологических процессов</p> <p>З-3 - Привести примеры сравнения предложенных решений с мировыми аналогами</p>

<p>экологических, социальных ограничений</p>	<p>З-4 - Описать основные подходы к оценке экологических и социальных последствий внедрения инженерных решений</p> <p>У-1 - Предложить нестандартные варианты разработки технических объектов, систем, в том числе информационных, и технологических процессов</p> <p>У-2 - Доказать научно-техническую и экономическую состоятельность и конкурентоспособность предложенных инженерных решений</p> <p>У-3 - Оценить экологические и социальные риски внедрения предложенных инженерных решений</p> <p>У-4 - Провести всесторонний анализ принятых инженерных решений для выполнения разработки технических объектов, систем, в том числе информационных, и технологических процессов</p> <p>П-1 - Выполнять в рамках поставленного задания разработки технических объектов, систем, в том числе информационных, и технологических процессов в своей профессиональной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных ограничений</p> <p>Д-1 - Демонстрировать креативное мышление, творческие способности</p>
<p>ПК-4 - Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с использованием пучков корпускулярного и электромагнитного излучения, электрического разряда в газах и вакууме, потоков плазмы</p>	<p>З-1 - Определять возможности и порядок использования лабораторного оборудования для исследовательских и экспериментальных работ по анализу материалов и опробованию технологических процессов</p> <p>У-1 - Формулировать техническое задание на проведение исследований материалов для приборов оптоэлектроники и фотоники и экспериментальную проверку технологических процессов</p> <p>П-1 - Осуществлять обоснованный выбор оптимального варианта технологического процесса</p>

		<p>П-2 - Оформлять результаты исследовательских и проектных работ</p>
<p>Физические основы технологий микро- и нанoeлектроник и</p>	<p>ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания</p>	<p>З-1 - Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и инженерных наук</p> <p>З-2 - Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и инженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания</p> <p>У-1 - Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и инженерных наук</p> <p>У-2 - Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и инженерных наук</p> <p>П-1 - Работая в команде, разрабатывать варианты формулирования и решения научно-исследовательских, технических, организационно-экономических и комплексных задач, применяя знания фундаментальных и инженерных наук</p>
	<p>ОПК-3 - Способен планировать и проводить комплексные исследования и изыскания для решения инженерных задач относящихся к профессиональной деятельности, включая проведение измерений, планирование и постановку экспериментов, интерпретацию полученных результатов</p>	<p>З-2 - Характеризовать возможности исследовательской аппаратуры и методов исследования, используя технические характеристики и области применения</p> <p>З-3 - Сделать обзор основных методов статистической обработки и анализа результатов измерений</p> <p>У-2 - Обоснованно выбрать необходимую аппаратуру и метод исследования для решения инженерных задач, относящихся к профессиональной деятельности</p> <p>П-1 - Выполнять в рамках поставленного задания экспериментальные комплексные научно-технические исследования и изыскания для решения инженерных задач в области профессиональной деятельности, включая обработку, интерпретацию и оформление результатов</p>

	Д-1 - Проявлять умение видеть детали, упорство, аналитические умения
ОПК-4 - Способен разрабатывать технические объекты, системы и технологические процессы в своей профессиональной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных ограничений	<p>З-1 - Объяснить основные принципы функционирования разрабатываемых технических объектов, систем, технологических процессов</p> <p>З-2 - Изложить принципы расчета экономической эффективности предложенных технических решений</p> <p>З-3 - Привести примеры сравнения предложенных решений с мировыми аналогами</p> <p>З-4 - Описать основные подходы к оценке экологических и социальных последствий внедрения инженерных решений</p> <p>У-1 - Предложить нестандартные варианты разработки технических объектов, систем, в том числе информационных, и технологических процессов</p> <p>У-2 - Доказать научно-техническую и экономическую состоятельность и конкурентоспособность предложенных инженерных решений</p> <p>У-3 - Оценить экологические и социальные риски внедрения предложенных инженерных решений</p> <p>У-4 - Провести всесторонний анализ принятых инженерных решений для выполнения разработки технических объектов, систем, в том числе информационных, и технологических процессов</p> <p>П-1 - Выполнять в рамках поставленного задания разработки технических объектов, систем, в том числе информационных, и технологических процессов в своей профессиональной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных ограничений</p> <p>Д-1 - Демонстрировать креативное мышление, творческие способности</p>
ОПК-5 - Способен планировать, организовывать и	З-1 - Изложить основные нормы и правила, регламентирующие работы по созданию, установке и модернизации

	<p>контролировать работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования и технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p>	<p>технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>З-2 - Объяснить принципы и типовой порядок планирования, организации и контроля выполнения работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>З-3 - Перечислить основные разделы документов (технического задания, технических условий и т.п.), в соответствии с которыми выполняются работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>З-4 - Показать возможности использования цифровых технологий (создание цифровых двойников) для оптимизации работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>У-1 - Обосновать детальный план проведения работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>У-2 - Анализировать задания, распределять и объяснять их работникам коллектива при выполнении работ по созданию, установке и модернизации оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>У-3 - Оценивать исполнение работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем на соответствие регламентам</p> <p>У-4 - Использовать при необходимости техники цифрового моделирования при выполнении работ по созданию, установке и модернизации технологического</p>
--	--	--

		<p>оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>П-1 - Самостоятельно составить план работ в целом по этапам создания, установки и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем либо отдельных этапов этой работы</p> <p>П-2 - Провести контроль выполнения заданий с учетом соответствия регламентам, срокам исполнения и материальным затратам</p> <p>Д-1 - Демонстрировать требовательность и принципиальность в процессе контроля выполнения заданий</p>
	<p>ОПК-6 - Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта</p>	<p>З-1 - Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого оборудования и реализуемых технологических процессов</p> <p>З-2 - Назвать имеющиеся ограничения режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>З-3 - Объяснить принципы энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>У-1 - Технически грамотно формулировать задания по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов с учетом имеющихся ограничений режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>У-2 - Оценивать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов на основании визуального анализа и показаний контрольно-измерительной аппаратуры</p> <p>У-3 - Обоснованно корректировать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов, добиваясь повышения уровня энерго и</p>

		<p>ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>П-1 - Организовать в соответствии с разработанным утвержденным планом выполнение работ по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p> <p>П-2 - Предлагать и аргументированно доказывать целесообразность корректировок параметров эксплуатации оборудования и реализации технологических процессов для повышения уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p>
	<p>ОПК-7 - Способен планировать и управлять жизненным циклом инженерных продуктов и технических объектов, включая стадии замысла, анализа требований, проектирования, изготовления, эксплуатации, поддержки, модернизации, замены и утилизации</p>	<p>З-1 - Изложить принципы имитационного моделирования для принятия инженерных решений</p> <p>З-2 - Дать определение жизненного цикла инженерного продукта, его основных стадий и моделей</p> <p>У-1 - Формулировать инженерные задачи с учетом формализованных требований</p> <p>У-2 - Определять основные потребности стейкхолдеров (заинтересованных сторон) и формулировать требования к эффективности инженерных продуктов и технических объектов</p> <p>П-1 - Освоить практики построения и применения имитационных моделей в процессе проектирования</p>
	<p>ПК-2 - Способен разрабатывать и применять специализированное программно-математическое обеспечение для проведения исследований и решения инженерных задач</p>	<p>З-1 - Характеризовать методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств</p> <p>З-2 - Привести примеры негативного влияния конфликтных ситуаций на качество трудовой жизни коллектива</p> <p>У-1 - Формулировать постановку задачи и определять набор параметров, с учётом которых должно быть проведено</p>

		<p>моделирование процессов, теоретические и математические модели, проводить анализ полученных результатов моделирования работы в области нанoeлектроники</p> <p>У-2 - Оценивать последствия конфликтных ситуаций и выбирать эффективные способы предотвращения и разрешения трудовых конфликтов</p> <p>П-1 - Иметь практический опыт работы с современными программными средствами (CAD) моделирования, оптимального проектирования и конструирования приборов, схем и устройств электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения</p> <p>П-2 - Предлагать способы эффективного поведения в разнообразных ситуациях трудовых конфликтов</p>
	<p>ПК-3 - Способен определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ</p>	<p>З-1 - Соотнести передовой отечественный и зарубежный опыт разработки и эксплуатации электронных средств и электронных систем</p> <p>З-2 - Привести примеры негативного влияния конфликтных ситуаций на качество трудовой жизни коллектива</p> <p>У-1 - Выбирать пути создания новых электронных средств и электронных систем используя теоретические и экспериментальные методы исследования</p> <p>У-2 - Оценивать последствия конфликтных ситуаций и выбирать эффективные способы предотвращения и разрешения трудовых конфликтов</p> <p>П-1 - Разрабатывать рекомендации по подготовке технического задания на выполнение проектных работ, а также научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области электронных средств и электронных систем</p> <p>П-2 - Предлагать способы эффективного поведения в разнообразных ситуациях трудовых конфликтов</p>

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Физика низкотемпературной плазмы

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Дмитрий Леонидович	кандидат физико- математических наук, доцент	Доцент	электрофизики

Рекомендовано учебно-методическим советом института Физико-технологический

Протокол № 9 от 15.05.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Кузнецов Дмитрий Леонидович, Доцент, электрофизики

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Введение	Понятие низкотемпературной плазмы. Термодинамическое равновесие. Локальное термодинамическое равновесие. Неравновесная плазма.
2	Элементарные процессы	Эффективное сечение парного взаимодействия. Упругие столкновения. Кулоновские столкновения. Упругое рассеяние электронов на атомах и молекулах. Неупругие столкновения электронов с атомами и молекулами.
3	Заряженные частицы в неравновесной плазме	Передача энергии электрического поля заряженным частицам плазмы. Нарастание энергии электронов в переменном поле. Функция распределения электронов по энергии (ФРЭЭ). Убегающие электроны. Влияние неупругих столкновений на ФРЭЭ. Процессы ионизации в неравновесной плазме. Прямая ионизация электронным ударом. Ступенчатая ионизация электронами. Ионизация при столкновении тяжелых частиц. Процессы гибели заряженных частиц. Электронно-ионная рекомбинация. Прилипание электронов к нейтральным частицам. Разрушение отрицательных ионов. Ион-ионная рекомбинация. Диффузионные потери заряженных частиц. Режимы поддержания стационарного состояния неравновесной плазмы. Рекомбинационный режим. Прилипательный режим. Диффузионный режим.
4	Возбужденные атомы в плазме	Кинетика заселения возбужденных состояний. Система кинетических уравнений баланса для населенности возбужденных состояний. Инверсная населенность при

		рекомбинационном распаде плазмы. Метастабильные и резонансно-возбужденные атомы в плазме. Перенос возбуждения в газе. Радиационный перенос возбуждения. Особенности плазмы смесей газов.
5	Кинетика молекулярной плазмы	Возбуждение колебательных состояний молекул электронным ударом. Вращательное возбуждение молекул электронным ударом. Распределение энергии электронов по различным каналам возбуждения. Поступательная релаксация. Вращательно-поступательная релаксация. Колебательно-поступательная релаксация. Неравновесность возбужденных частиц и их химические превращения в плазме. Колебательно-поступательная неравновесность, обусловленная: высокой степенью ионизации, быстрым охлаждением газа, быстрым переносом колебательной энергии.
6	Некоторые применения неравновесной низкотемпературной плазмы	Кинетика лазеров на самоограниченных переходах атомов и молекул. СО ₂ -лазер - лазер на колебательных переходах. Кинетика эксимерных лазеров с накачкой электронным пучком и объемным разрядом. Конверсия оксидов серы и азота в неравновесной плазме. Конверсия примесей сероуглерода при ионизации воздуха импульсными пучками электронов.
7	Заключение	Плазмохимия высокого давления - новое направление развития физики и техники низкотемпературной плазмы. Возможные области применения плазмохимических процессов в различных областях науки и техники.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика низкотемпературной плазмы

Электронные ресурсы (издания)

1. Фортов, В. Е.; Физика неидеальной плазмы; Физматлит, Москва; 2009; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=76654> (Электронное издание)
2. Арцимович, Л. А.; Физика плазмы для физиков; Атомиздат, Москва; 1979; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=492300> (Электронное издание)
3. Лонгмайр, К., К.; Физика плазмы: элементарный курс; Атомиздат, Москва; 1966; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=492328> (Электронное издание)
4. Литвинов, Е. А., Чолах, С. А., Вершинин, Ю. Н.; Электрофизика : учебник : [в 9 ч.]. Ч. 1. Физика плазмы; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2004; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1605> (Электронное издание)
5. Бобылёв, Ю. В.; Нелинейные явления при электромагнитных взаимодействиях электронных пучков с плазмой : монография.; Физматлит, Москва; 2009; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68965>

(Электронное издание)

6. Кузнецов, Д. Л., Чолах, С. О., Никулин, С. П.; Влияние процессов прилипания на параметры несамостоятельного разряда, поддерживаемого электронным пучком : метод. указания к лаб. работе для студентов дневной формы обучения физ.-техн. фак.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2004; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1532> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Кузнецов, Д. Л., Новоселов, Ю. Н., Чолах, С. О., Шмелев, Д. Л.; Физика и применение низкотемпературной плазмы : учеб. пособие.; УрФУ, Екатеринбург; 2011 (10 экз.)
2. Райзер, Ю. П.; Физика газового разряда; Интеллект, Долгопрудный; 2009 (16 экз.)
3. Никулин, С. П., Чолах, С. О., Яландин, М. И.; Электронные и ионные процессы в газоразрядных системах низкого давления : учебник для студентов специальности 210101 - Физическая электроника направления . 654100 - Электроника и микроэлектроника.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2008 (21 экз.)
4. Александров, А. Ф., Кузелев, М. В.; Радиофизика. Физика электронных пучков и основы высокочастотной электроники : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 010800.62 - Радиофизика по специальностям 010701.65 - Физика и 010802.65 - Фундам. радиофизика и физ. электроника.; КДУ, Москва; 2007 (2 экз.)
5. Пушкарев, А. И., Новоселов, Ю. Н., Ремнев, Г. Е., Шаманин, И. В.; Цепные процессы в низкотемпературной плазме : [монография].; Наука, Новосибирск; 2006 (6 экз.)
6. Вершинин, Ю. Н.; Электронно-тепловые и детонационные процессы при электрическом пробое твердых диэлектриков; УрО РАН, Екатеринбург; 2000 (5 экз.)
7. Базелян, Э. М.; Искровой разряд : Учеб. пособие для студентов вузов.; Изд-во МФТИ, Москва; 1997 (3 экз.)
8. Шимони, К., Раховский, В. И., Сурский, Ю. Н., Фонштейн, Н. М.; Физическая электроника; Энергия, Москва; 1977 (5 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Полнотекстовая БД American Chemical Society (<http://pubs.acs.org/>).
2. Полнотекстовая БД American Institute of Physics (<http://scitation.aip.org/>).
3. Полнотекстовая БД American Physical Society (<https://journals.aps.org/about>).
4. Полнотекстовая БД Annual Reviews Science Collection (<http://www.annualreviews.org>).
5. Полнотекстовая БД Applied Science & Technology Source (<http://search.ebscohost.com>).
6. Полнотекстовая БД eLibrary - научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru>).
7. Реферативная БД INSPEC. EBSCO publishing (<http://search.ebscohost.com/>).
8. Полнотекстовая БД Institute of Physics (IOP) (<http://iopscience.iop.org/>).
9. Библиографическая БД Journal Citation Reports (JCR). Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com/>).
10. Полнотекстовая БД Nature (<https://www.nature.com/siteindex>).
11. Полнотекстовая БД Optical Society of America (OSA) (<https://www.osapublishing.org/about.cfm>).
12. Полнотекстовая БД Questel Patent (<https://www.orbit.com/>).

13. Полнотекстовая БД Science AAAS (American Association for the Advancement of Science) (<http://www.sciencemag.org/>).
14. Полнотекстовая БД ScienceDirect Freedom Collection (<http://www.sciencedirect.com/>).
15. Реферативная БД Scopus (<http://www.scopus.com/>).
16. Полнотекстовая БД Springer Materials (<https://materials.springer.com/>).
17. Полнотекстовая БД Springer Nature Experiments (<https://experiments.springernature.com/>).
18. Полнотекстовая БД SpringerLink (<https://link.springer.com/>).
19. Реферативная БД Web of Science Core Collection (<http://apps.webofknowledge.com/>).
20. Полнотекстовая БД Wiley Journal Database (<http://onlinelibrary.wiley.com/>).

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>).
2. Зональная научная библиотека УрФУ (<http://lib.urfu.ru>).
3. Электронный научный архив УрФУ (<https://elar.urfu.ru>).
4. Официальный сайт Института электрофизики УрО РАН (<http://iep.uran.ru/>).

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика низкотемпературной плазмы

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Лабораторные занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		<p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Стенд лабораторного практикума по корпускулярному и электромагнитному излучениям, позволяющий в рамках одной установки генерировать электронные пучки, рентгеновское излучение, разряды различных типов и лазерное излучение.</p> <p>Компактный импульсный ускоритель электронов ЭЛИС.</p> <p>Многофункциональный источник низкотемпературной плазмы на основе частотного высоковольтного генератора с полупроводниковым прерывателем тока.</p>	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
4	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p>	Не требуется
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p>	Не требуется

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Физические основы технологий микро- и
наноэлектроники

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Жидков Иван Сергеевич	кандидат физико-математических наук, доцент	Доцент	электрофизики

Рекомендовано учебно-методическим советом института Физико-технологический

Протокол № 9 от 15.05.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- **Жидков Иван Сергеевич, Доцент, электрофизики**

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Исторический обзор, общая характеристика и основные определения микроэлектроники	Изделия микроэлектроники, их классификация. Интегральные микросхемы (ИС), элементы и компоненты ИС. Степень интеграции ИС. Классификация ИС: полупроводниковые ИС, гибридные ИС, пленочные ИС. Общая характеристика основных явлений и процессов, определяющих функционирование ИС.
P2	Общая характеристика базовых физико-химические методов создания микроэлектронных структур	Очистка. Метод вытягивания из расплава. Термическое окисление. Эпитаксия. Литография. Локальная диффузия примесей: диффузия из бесконечного и из ограниченного источников примесей. Ионная имплантация. Металлизация. Программное обеспечение для моделирования процессов роста кристаллов из расплава CGSim и виртуальные реакторы роста кристаллов. Цифровые двойники устройств, создаваемых методом эпитаксии (Virtual Reactor, SiLENS, EPITAXY project).
P3	Технология механической обработки подложек для ИС	Типы подложек ИС и их основные характеристики. Ориентация пластин перед резкой: рентгеновский и оптический методы ориентации. Резка, скрайбирование и разлом слитков и пластин. Шлифовка и полировка пластин. Строение нарушенного слоя после механической обработки пластин ИС.
P4	Технология химической обработки подложек для ИС	Механизм химической обработки пластин. Слой Гельмгольца. Анодное и катодное растворение (травление). Ограничение

		процесса травления. Электрополировка. Термохимическое (газовое) и ионно-плазменное травление.
P5	Формирование диэлектрических пленок на полупроводниковых пластинах ИС	Технология формирования пленок SiO ₂ термическим окислением. Стационарное термохимическое окисление: параболический и линейные законы. Химическое осаждение диэлектрических пленок из газовой фазы на поверхность пластин. Описание методов получения диэлектрических пленок в технологии гибридных ИС: термовакуумное реактивное испарение, анодное окисление, ионно-плазменное окисление и распыление.
P6	Общие принципы процесса ионного легирования	Теория ЛШШ. Ядерная и электронная тормозные способности. Распределение пробегов ионов. Потенциал Томаса-Ферми. Влияние радиационных дефектов на структуру поверхности пластин ИС. Кластер дефектов. Отжиг дефектов и электрические свойства ионно-легированных слоев. Лазерный отжиг. Маскирование в процессах ионного легирования. Создание компьютерных моделей легирования и виртуальных устройств на их основе (SPEC-1D, BESST).
P7	Элионные методы литографических процессов	Электронно-лучевая литография: описание технологических приемов. Особенности экспонирования в рентгенолучевой литографии. Технология рентгенолитографического процесса: изготовление шаблонов, выбор резистов, травление.
P8	Металлические пленки для ИС: их электрофизические параметры, удельное сопротивление	Коммутационные элементы ИС. Технология изготовления пленочных резисторов. Материалы для изготовления пленочных резисторов: чистый металл, сплав, кермет. Технология изготовления пленочных конденсаторов: оксиды металлов и полупроводников.
P9	Технология монтажа кристаллов ИС на носители: конструктивно-технологические варианты	Изготовление ленточных носителей. Технология получения внутренних выводов на кристаллах ИС. Описание монтажа кристалла ИС на гибкую ленту: термокомпрессия, импульсная пайка. Монтаж гибридных ИС и микросборок. Особенности сборки сверхбыстродействующих ИС и процессоров. Проектирование интегральных микросхем и плат в цифровой среде, создание цифровых двойников ИС (DipTrace).
P10	Герметизация ИС и микропроцессоров	Пассивирующие и защитные покрытия ИС. Принципы герметизации ИС в корпусах: учет факторов влияния, критерий герметичности. Герметизация ИС в металлических корпусах. Сварка и пайка. Герметизация твердым припоем, пайка без флюса, пайка без припойной прокладки, герметизация стеклянной фриттой. Герметизация ИС в пластмассовых корпусах: формовка заливкой и трансферная прессовка.
P11	Проблемы и теоретические основы одноэлектроники	Кулоновская блокада, кулоновская лестница, со-туннелирование, квантовые размерные эффекты. Классификация одноэлектронных приборов: по направлению протекания тока, по способу формирования квантовых точек, по количеству квантовых точек. Одноэлектронный прибор на основе сканирующего туннельного микроскопа. Субмикронный вертикальный одноэлектронный транзистор (транзистор Остина). Применение одноэлектронных приборов.

P12	Наночастицы и нанокластеры	Свойства наночастиц и их характеристики. Теоретическое моделирование наночастиц (модель «желе»). Геометрическая и электронная структуры нанокластеров. Реакционная способность наночастиц. Флуктуационные наноструктуры. Магнитные кластеры. Переход от макро- к нано-. Полупроводниковые наночастицы. Кулоновский взрыв. Молекулярные кластеры. Методы синтеза наночастиц. Химические методы синтеза наночастиц. Термолиз. Импульсные лазерные методы.
P13	Углеродные наноструктуры	Природа углеродной связи. Малые углеродные кластеры – C ₆₀ . Неуглеродная шарообразная молекула. Углеродные нанотрубки. Методы получения нанотрубок. Электрические свойства нанотрубок. Колебательные свойства нанотрубок. Механические свойства нанотрубок. Применение углеродных нанотрубок. Полевая эмиссия и экранирование. Информационные технологии, электроника. Топливные элементы. Химические сенсоры. Катализ. Механическое упрочнение материалов.
P14	Объемные наноструктурированные материалы: разупорядоченные и кристаллизованные	Методы синтеза разупорядоченных. Механизмы разрушения традиционных материалов. Механические свойства наноструктурированных материалов. Многослойные наноструктурированные материалы. Электрические свойства наноструктурированных материалов. Нанокластеры в оптическом материаловедении. Пористый кремний. Упорядоченные наноструктуры. Упорядоченные структуры в цеолитах. Кристаллы из металлических наночастиц. Нанокристаллы для фотоники.
P15	Наноприборы и наномашинны	Микроэлектромеханические устройства (MEMS). Нанозлектромеханические системы (NEMS). Наноактуаторы. Молекулярные и супрамолекулярные переключатели.
P16	Основы спинтроники и фотоники	Магнитоэлектрические эффекты. Мультиферроики. Магнитные полупроводники. Магнитооптические явления. Физические основы нанотехнологий фотоники. Технологии наноплазмоники. Физические основы нанотехнологий оптоинформатики.
P17	Солнечная энергетика 3-го поколения. Печатная электроника	Физические основы органической электроники. Органическая фотовольтаика. Перовскитные материалы для энергетики. Гибкие подложки. Органические материалы гибкой электроники. Электропроводящие материалы печатной электроники. Гибкая гибридная электроника. Методы нанесения и структурирования слоёв. Печатные технологии.
P18	Материалы и технологии квантовых компьютеров	Квантовая нанотехнология. Теоретические элементы для построения квантового компьютера. Получение запутанных квантовых состояний. Квантовые вычисления и операции. Структура квантового компьютера. Физические проблемы квантовых компьютеров. Общие требования для реализации квантового компьютера.
P19	Заключение	Современные и перспективные технологии микро- и нанозлектроники. Проблемы разработки нанозлектронных систем.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы технологий микро- и нанoeлектроники

Электронные ресурсы (издания)

1. Драгунов, В. П.; Микро- и нанoeлектроника : учебное пособие.; Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск; 2012; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228941> (Электронное издание)
2. Троян, П. Е.; Нанoeлектроника : учебное пособие.; Томский государственный университет систем управления и радиoeлектроники, Томск; 2010; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208663> (Электронное издание)
3. Барыбин, А. А.; Физико-технологические основы макро-, микро, и нанoeлектроники : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2011; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457643> (Электронное издание)
4. Филяк, М. М.; Конструктивно-технологические основы микроeлектроники : учебное пособие.; Оренбургский государственный университет, Оренбург; 2011; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260750> (Электронное издание)
5. Игумнов, В. Н.; Физические основы микроeлектроники : практикум.; Директ-Медиа, Москва, Берлин; 2014; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271707> (Электронное издание)
6. Игумнов, В. Н.; Физические основы микроeлектроники : учебное пособие.; Директ-Медиа, Москва, Берлин; 2014; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271708> (Электронное издание)

Печатные издания

1. , Кожитов, Л. В., Косушкин, В. Г., Крапухин, В. В., Пархоменко, Ю. Н.; Технология материалов микро- и нанoeлектроники : [монография].; МИСИС, Москва; 2007 (24 экз.)
2. Зацепин, Д. А., Чолах, С. О., Курмаев, Э. З.; Физические основы технологий микро- и нанoeлектроники : учебник для студентов специальности 210101 - Физ. eлектроника направления подгот. дипломир. специалистов 654100 - Eлектроника и микроeлектроника.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2006 (20 экз.)
3. Парфенова, Е. Л.; Физические основы микро- и нанoeлектроники : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 200101 "Приборостроение".; Феникс, Ростов-на-Дону; 2012 (1 экз.)
4. Дурнаков, А. А., Калмыков, А. А.; Физические основы микро- и нанoeлектроники : учебное пособие для студентов вуза, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.03 - Конструирование и технология электронных средств, 11.03.01 - Радиотехника.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2020 (20 экз.)
5. Борисенко, В. Е., Воробьева, А. И., Уткина, Е. А.; Нанoeлектроника : учеб. пособие для студентов вузов по специальностям "Микро- и нанoeлектрон. технологии и системы" и "Квантовые информ.

системы".; БИНОМ. Лаборатория знаний, Москва; 2009 (6 экз.)

6. Шишкин, Г. Г.; Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям 210600 "Нанотехнология", 152200 "Наноинженерия", 210100 "Электроника и нанoeлектроника".; БИНОМ. Лаборатория знаний, Москва; 2012 (5 экз.)

7. Черняев, В. Н.; Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров : Учеб. пособие для вузов по специальностям "Коструирование и пр-во радиоаппаратуры", "Коструирование и пр-во электрон.-вычисл. аппаратуры".; Энергия, Москва; 1977 (8 экз.)

8. Драгунов, В. П., Гридчин, В. А., Неизвестный, И. Г.; Основы нанoeлектроники : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Электроника и микрoeлектроника", специальностям "Микрoeлектроника и твердотельная электроника" и "Микросистем. техника".; Физматкнига : Логос, Москва; 2006 (9 экз.)

9. Росадо, Л., Баскаков, С. И., Терехов, В. А.; Физическая электроника и микрoeлектроника; Высшая школа, Москва; 1991 (23 экз.)

10. Ефимов, И. Е., Козырь, И. Я.; Основы микрoeлектроники : учебник.; Лань, Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар; 2008 (3 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Полнотекстовая БД American Chemical Society (<http://pubs.acs.org/>).

2. Полнотекстовая БД American Institute of Physics (<http://scitation.aip.org/>).

3. Полнотекстовая БД American Physical Society (<https://journals.aps.org/about>).

4. Полнотекстовая БД Annual Reviews Science Collection (<http://www.annualreviews.org>).

5. Полнотекстовая БД Applied Science & Technology Source (<http://search.ebscohost.com>).

6. Полнотекстовая БД eLibrary - научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru>).

7. Реферативная БД INSPEC. EBSCO publishing (<http://search.ebscohost.com/>).

8. Полнотекстовая БД Institute of Physics (IOP) (<http://iopscience.iop.org/>).

9. Библиографическая БД Journal Citation Reports (JCR). Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com/>).

10. Полнотекстовая БД Nature (<https://www.nature.com/siteindex>).

11. Полнотекстовая БД Optical Society of America (OSA) (<https://www.osapublishing.org/about.cfm>).

12. Полнотекстовая БД Questel Patent (<https://www.orbit.com/>).

13. Полнотекстовая БД Science AAAS (American Association for the Advancement of Science) (<http://www.sciencemag.org/>).

14. Полнотекстовая БД ScienceDirect Freedom Collection (<http://www.sciencedirect.com/>).

15. Реферативная БД Scopus (<http://www.scopus.com/>).

16. Полнотекстовая БД Springer Materials (<https://materials.springer.com/>).

17. Полнотекстовая БД Springer Nature Experiments (<https://experiments.springernature.com/>).

18. Полнотекстовая БД SpringerLink (<https://link.springer.com/>).

19. Реферативная БД Web of Science Core Collection (<http://apps.webofknowledge.com/>).

20. Полнотекстовая БД Wiley Journal Database (<http://onlinelibrary.wiley.com/>).

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Министерство образования и науки Российской Федерации (<http://минобрнауки.рф/>).
2. Федеральный портал «Российское образование» (<http://www.edu.ru/>).
3. ООО Научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>).
4. Зональная научная библиотека УрФУ (<http://lib.urfu.ru>).
5. Электронный научный архив УрФУ (<https://elar.urfu.ru>).
6. Официальный сайт Института электрофизики УрО РАН (<http://iep.uran.ru/>).

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы технологий микро- и нанoeлектроники

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Персональные компьютеры по количеству обучающихся	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		соответствии с количеством студентов Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
4	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	Не требуется
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	Не требуется

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Диагностика вещества и его поверхности

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кухаренко Андрей Игоревич	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	электрофизики

Рекомендовано учебно-методическим советом института Физико-технологический

Протокол № 9 от 15.05.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Кухаренко Андрей Игоревич, Доцент, электрофизики

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Краткая характеристика и краткое содержание дисциплины, цели, задачи, объем, порядок изучения материала. Формы контроля самостоятельной работы. Учебная литература.
P2	Физика поверхности	Теоретические модели и электронные свойства поверхности. Модель желе. Одномерная зонная теория. Трехмерная теория. Кристаллическая структура поверхности. Кристаллография. Динамика. Реконструкция и релаксация. Термодинамика поверхности. Поверхностное натяжение и поверхностное напряжение. Анизотропия поверхностного натяжения. Разупорядочивающий переход. Методы получения атомно чистой поверхности. Термическое испарение. Ионное распыление. Скол в высоком вакууме. Испарение в сильном электрическом поле. Физическая адсорбция и хемосорбция. Физическая адсорбция. Термодинамика. Электронная структура, хемосорбция. Металлы, полупроводники. Топография. Симметрия центров. Длина связей. Ориентация. Фазовые переходы. Электронная структура. Кинетика и динамика.
P3	Анализ поверхности слоев металлов с помощью легких высокоэнергетических ионов	Резерфордское обратное рассеяние. Упругие соударения с ядрами атомов. Неупругие соударения с ядрами атомов и связанными электронами. Спектры обратного рассеяния. Эффект каналирования. Открытые каналы. Выход обратно рассеянных атомов. Интерпретация спектров обратного рассеяния при наличии каналирования. Характеристическое рентгеновское излучение. Возбуждение характеристического

		излучения внутренних оболочек атомов. Возбуждение коротковолновым рентгеновским излучением. Возбуждение электронами (10 – 100 кэВ). Возбуждение ускоренными ионами (0,1 – 5 МэВ). Метод ядерных реакций. Кулоновский барьер. Возбуждение протонами, дейтронами, тритонами и ионами ^3He . Типы используемых ядерных реакций. Получение двухмерных распределений элементов на заданной глубине.
P4	Анализ поверхности с помощью эффекта Мессбауэра	Общее положение. Сущность эффекта Мессбауэра. Кривые резонансного поглощения. Параметры мессбауэровских спектров. Эмиссионная и адсорбционная методики. Методы регистрации эффекта Мессбауэра. Геометрия эксперимента. Детекторы гамма излучения. Эффект Мессбауэра на конверсионных электронах. Электроны конверсии. Коэффициент конверсии. Глубина выхода электронов конверсии. Проточные счетчики электронов. Анализ атомной и магнитной структуры, фазового состава и динамики поверхности с помощью эффекта Мессбауэра. Локальное атомное окружение мессбауэровских ядер. Возмущение зарядовой и спиновой плотности на ядрах ^{57}Fe атомами примеси. Связь атомной и магнитной структуры кристаллов со строением мессбауэровских спектров. Спектры различных фаз. Фазовый анализ. Динамика кристаллической решетки. Изменение вероятности эффекта Мессбауэра Релятивистский сдвиг мессбауэровского спектра.
P5	Активационный анализ	Активация материалов нейтронным облучением. Метод радиоактивных индикаторов.
P6	Масс-спектрометрия вторичных ионов	Распыление поверхности низкоэнергетическими ионами. Скорость распыления. Скорость ионизации. Масс-спектрометрические методы регистрации рассеянных ионов.
P7	Микрорентгеноспектральный анализ	Электронно-оптические системы (получение узких пучков электронов). Анализ характеристического рентгеновского излучения. Получение растровых изображений.
P8	Электронная спектроскопия химического анализа	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Толщина анализируемых слоев. Качественный и количественный анализ. Химические сдвиги. Аппаратура.
P9	Рентгеноструктурный анализ (рентгенодифракционные методы анализа тонких поверхностных слоев материалов)	Рентгеновское излучение. Вульф-Брэгговское рассеяние рентгеновских лучей. Уравнение Вульфа-Брэггов. Структурный фактор. Фазовый анализ. Исследование поверхности в скользящих пучках.
P10	Полевая ионная микроскопия	Основные характеристики метода. Принципы получения полевых ионных изображений. Роль туннелирования. «Испарение» поверхностных атомов сильным электрическим полем. Ионный микронд.
P11	Сканирующая туннельная микроскопия	Принцип действия сканирующего туннельного микроскопа. Чувствительность и применения метода.
P12	Оже-спектроскопия	Оже-эффект. Методы возбуждения электронов (ЭОС, ФОС, ИОС). Обозначения электронных переходов. Оже-спектрометры. Интерпретация спектров Оже-электронов.

P13	Заключение	Перспективы развития новых методов анализа поверхности.
------------	------------	---

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Диагностика вещества и его поверхности

Электронные ресурсы (издания)

1. Мамонова, М. В.; Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы : монография.; Физматлит, Москва; 2011; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457455> (Электронное издание)
2. Ашкрофт, Н., Н.; Физика твердого тела; Мир, Москва; 1979; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483336> (Электронное издание)
3. , Белых, Т. А., Овчинников, В. В.; Резерфордовское обратное рассеяние : Метод. указания для самостоят. работы студентов дневной формы обучения специальностей физ.-техн. фак. по дисциплине "Физика и диагностика вещества и его поверхности".; ГОУ УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2002; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1302> (Электронное издание)
4. , Архангельская, А. А., Ивченко, В. А., Овчинников, В. В., Чолах, С. О.; Кристаллографическая идентификация полевых ионных изображений монокристаллов : Метод. указания к лаб. работам для студентов дневной формы обучения физ.-техн. фак.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2001; <http://library.ustu.ru/dspace/handle/123456789/1154> (Электронное издание)
5. Фомин, Д. В.; Учебно-методическое пособие по выполнению расчетно-графической работы по теме: электронная оже-спектроскопия : методическое пособие.; Директ-Медиа, Москва, Берлин; 2015; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=278996> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Зенгуил, Э.; Физика поверхности; Мир, Москва; 1990 (7 экз.)
2. Владимиров, Г. Г.; Физика поверхности твердых тел : учебное пособие для студентов направлений подготовки "Физика", "Прикладная математика и физика", "Радиофизика".; Лань, Санкт-Петербург; 2016 (1 экз.)
3. Миронов, В. Л.; Основы сканирующей зондовой микроскопии : учеб. пособие для студентов старших курсов вузов.; Техносфера, Москва; 2005 (3 экз.)
4. , Оура, Оура К., Лифшиц, В. Г., Саранин, А. А., Зотов, А. В., Катаяма, М.; Введение в физику поверхности; Наука, Москва; 2006 (2 экз.)
5. Праттон, Праттон М., Кормилец, В. И., Трапезников, В. А.; Введение в физику поверхности; Регулярная и хаотическая динамика, Ижевск; 2000 (5 экз.)
6. Овчинников, В. В.; Мессбауэровские методы анализа атомной и магнитной структуры сплавов; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2002 (1 экз.)
7. Нефедов, В. И.; Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений : справочник.; Химия,

Москва; 1984 (5 экз.)

8. Еловиков; Электронная спектроскопия поверхности и тонких пленок; Изд-во МГУ, Москва; 1992 (1 экз.)

9. ; Электронная оже-спектроскопия металлов и сплавов : Физические основы электронной оже-спектроскопии: Учеб. пособие.; Б. и., Рига; 1987 (1 экз.)

10. Николаев, Г. И.; Атомно-абсорбционная спектроскопия в исследовании испарения металлов; Металлургия, Москва; 1982 (1 экз.)

11. Кузьмин, Р. Н.; Мессбауэровская спектроскопия сплавов; Изд-во Моск. ун-та, Москва; 1991 (1 экз.)

12. Стенсел, Стенсел Д.; Спектроскопия комбинационного рассеяния в катализе : Пер. с англ.; Мир, Москва; 1994 (1 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Полнотекстовая БД American Chemical Society (<http://pubs.acs.org/>).

2. Полнотекстовая БД American Institute of Physics (<http://scitation.aip.org/>).

3. Полнотекстовая БД American Physical Society (<https://journals.aps.org/about>).

4. Полнотекстовая БД Annual Reviews Science Collection (<http://www.annualreviews.org>).

5. Полнотекстовая БД Applied Science & Technology Source (<http://search.ebscohost.com>).

6. Полнотекстовая БД eLibrary - научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru>).

7. Реферативная БД INSPEC. EBSCO publishing (<http://search.ebscohost.com/>).

8. Полнотекстовая БД Institute of Physics (IOP) (<http://iopscience.iop.org/>).

9. Библиографическая БД Journal Citation Reports (JCR). Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com/>).

10. Полнотекстовая БД Nature (<https://www.nature.com/siteindex>).

11. Полнотекстовая БД Optical Society of America (OSA) (<https://www.osapublishing.org/about.cfm>).

12. Полнотекстовая БД Questel Patent (<https://www.orbit.com/>).

13. Полнотекстовая БД Science AAAS (American Association for the Advancement of Science) (<http://www.sciencemag.org/>).

14. Полнотекстовая БД ScienceDirect Freedom Collection (<http://www.sciencedirect.com/>).

15. Реферативная БД Scopus (<http://www.scopus.com/>).

16. Полнотекстовая БД Springer Materials (<https://materials.springer.com/>).

17. Полнотекстовая БД Springer Nature Experiments (<https://experiments.springernature.com/>).

18. Полнотекстовая БД SpringerLink (<https://link.springer.com/>).

19. Реферативная БД Web of Science Core Collection (<http://apps.webofknowledge.com/>).

20. Полнотекстовая БД Wiley Journal Database (<http://onlinelibrary.wiley.com/>).

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. ООО Научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>).
2. Зональная научная библиотека УрФУ(<http://lib.urfu.ru>).
3. Электронный научный архив УрФУ (<https://elar.urfu.ru>).
4. Официальный сайт Института электрофизики УрО РАН (<http://iep.uran.ru/>).
5. X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) Reference Pages (<http://www.xpsfitting.com>).

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Диагностика вещества и его поверхности

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Office 365 EDUA1 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr Faculty EES Office 365 EDUA1 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr Student EES
2	Лабораторные занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет Сканирующий электронный микроскоп. Рентгеновский дифрактометр D-9 DISCOVER. Фотоэлектронный спектрометр PHI 5000 VersaProbe.	Office 365 EDUA1 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr Student EES Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

3	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p>
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p>	Не требуется
5	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p>	Не требуется