

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

<b>Код модуля</b>	<b>Модуль</b>
1158782	Методы изучения наноматериалов

Екатеринбург

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Материалы микро- и наносистемной техники	<b>Код ОП</b> 1. 28.04.01/33.01
<b>Направление подготовки</b> 1. Нанотехнологии и микросистемная техника	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 28.04.01

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Ахматханов Андрей Ришатович	кандидат физико-математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
2	Гаврилова Людмила Яковлевна	кандидат химических наук, доцент	Доцент	Департамент фундаментальной и прикладной химии
3	Мурзакаев Айдар Марксович	кандидат физико-математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
4	Пилюгин Виталий Прокофьевич	кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник	Доцент	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Методы изучения наноматериалов

## 1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входят курсы «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов», «Методы нанолитографии», «Кинетика и механизм твердофазного синтеза», «Физическое материаловедение нанокристаллических структур с различным типом связей», «Эмиссионная электроника и основы работы приборов». Дисциплины «Эмиссионная электроника и основы работы приборов» и «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов» рассматривают поведение электронов в твёрдом теле, на границе металл-вакуум, виды эмиссии электронов, взаимодействие электронов с твердым телом, и методы и приборы для изучения микроструктуры наноматериалов. В дисциплине «Кинетика и механизм твердофазного синтеза» рассматриваются термодинамические теории твердофазного взаимодействия и влияние различных факторов на скорость реакций, изучаются различные модели твердофазных взаимодействий и с использованием программных пакетов выполняются задания по установлению режима взаимодействия для конкретной реакции в порошковой смеси. Курс «Методы нанолитографии» посвящен изучению основных методов создания тонкопленочных наноструктур в рамках подхода «сверху-вниз» и рассматривает основные подходы и методы микро- и нанолитографии. Курс «Физическое материаловедение нанокристаллических структур с различным типом связей» посвящен изучению процессов формирования и свойств субмикро- и наноструктур при интенсивной пластической деформации в материалах с различным типом связи.

## 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	Методы нанолитографии	3
2	Физическое материаловедение нанокристаллических структур с различным типом связей	3
3	Эмиссионная электроника и основы работы приборов	3
4	Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов	4
5	Кинетика и механизм твердофазного синтеза	3
ИТОГО по модулю:		16

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Не предусмотрены
Постреквизиты и кореквизиты модуля	Не предусмотрены

**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
Кинетика и механизм твердофазного синтеза	ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания	<p>З-2 - Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и общинженерных 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 общинженерных наук</p> <p>У-2 - Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и общинженерных наук</p>
	ПК-5 - Способен предлагать актуальные методы и подходы решения научных и технологических задач в области наноматериалов, а также смежных областей	<p>З-1 - Описывать основные научные достижения и современные методы экспериментальных и теоретических исследований</p> <p>П-1 - Использовать методы решения научно-технологических задач на основе анализа согласованных научных знаний</p>
Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов	ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания	<p>З-1 - Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и общинженерных наук</p> <p>З-2 - Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и общинженерных 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,</p>

		<p>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>Д-1 - Проявлять лидерские качества и умения командной работы</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-1 - Сформулировать основные принципы организации и планирования научного исследования</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-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>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>Д-1 - Проявлять умение видеть детали, упорство, аналитические умения</p>
	<p>ПК-1 - Способен организовывать, планировать и</p>	<p>З-1 - Демонстрировать понимание физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур, устройств, принципов работы</p>

	<p>контролировать процессы измерений параметров и свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>и правил эксплуатации оборудования для исследования свойств наноматериалов и наноструктур</p> <p>У-1 - Работать на технологическом оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией, получать, анализировать, обобщать данные по измерению свойств и параметров</p> <p>П-1 - Осуществлять планирование эксперимента, ставить и анализировать задачи для оптимизации и совершенствования исследований</p>
	<p>ПК-5 - Способен предлагать актуальные методы и подходы решения научных и технологических задач в области наноматериалов, а также смежных областей</p>	<p>З-1 - Описывать основные научные достижения и современные методы экспериментальных и теоретических исследований</p> <p>У-1 - Определять конкретную задачу в рамках научного эксперимента</p> <p>П-1 - Использовать методы решения научно-технологических задач на основе анализа согласованных научных знаний</p>
<p>Методы нанолитографии</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>У-1 - Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы 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</p>	<p>З-1 - Сформулировать основные принципы организации и планирования научного исследования</p> <p>З-2 - Характеризовать возможности исследовательской аппаратуры и методов исследования, используя технические характеристики и области применения</p>

<p>проведение измерений, планирование и постановку экспериментов, интерпретацию полученных результатов</p>	<p>З-3 - Сделать обзор основных методов статистической обработки и анализа результатов измерений</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>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>Д-1 - Проявлять умение видеть детали, упорство, аналитические умения</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>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>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>ПК-5 - Способен предлагать актуальные методы и подходы решения научных и технологических задач в области наноматериалов,</p>	<p>З-1 - Описывать основные научные достижения и современные методы экспериментальных и теоретических исследований</p>

	а также смежных областей	П-1 - Использовать методы решения научно-технологических задач на основе анализа согласованных научных знаний
Физическое материаловедение нанокристаллических структур с различным типом связей	ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания	<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>Д-1 - Проявлять лидерские качества и умения командной работы</p>
	ПК-1 - Способен организовывать, планировать и контролировать процессы измерений параметров и свойств наноматериалов и наноструктур	<p>З-1 - Демонстрировать понимание физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур, устройств, принципов работы и правил эксплуатации оборудования для исследования свойств наноматериалов и наноструктур</p> <p>У-1 - Работать на технологическом оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией, получать, анализировать, обобщать данные по измерению свойств и параметров</p> <p>П-1 - Осуществлять планирование эксперимента, ставить и анализировать</p>



		задачи для оптимизации и совершенствования исследований
	ПК-5 - Способен предлагать актуальные методы и подходы решения научных и технологических задач в области наноматериалов, а также смежных областей	<p>З-1 - Описывать основные научные достижения и современные методы экспериментальных и теоретических исследований</p> <p>У-1 - Определять конкретную задачу в рамках научного эксперимента</p>
Эмиссионная электроника и основы работы приборов	ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания	<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>Д-1 - Проявлять лидерские качества и умения командной работы</p>
	ОПК-3 - Способен планировать и проводить комплексные исследования и изыскания для решения инженерных задач относящихся к профессиональной деятельности, включая	<p>З-2 - Характеризовать возможности исследовательской аппаратуры и методов исследования, используя технические характеристики и области применения</p> <p>У-2 - Обоснованно выбрать необходимую аппаратуру и метод исследования для решения инженерных задач, относящихся к профессиональной деятельности</p>

<p>проведение измерений, планирование и постановку экспериментов, интерпретацию полученных результатов</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>Д-1 - Проявлять умение видеть детали, упорство, аналитические умения</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>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-3 - Обоснованно корректировать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов, добиваясь повышения уровня энерго и 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>ПК-1 - Способен организовывать, планировать и контролировать процессы измерений параметров и свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>З-1 - Демонстрировать понимание физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур, устройств, принципов работы и правил эксплуатации оборудования для исследования свойств наноматериалов и наноструктур</p> <p>У-1 - Работать на технологическом оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией, получать,</p>

		<p>анализировать, обобщать данные по измерению свойств и параметров</p> <p>П-1 - Осуществлять планирование эксперимента, ставить и анализировать задачи для оптимизации и совершенствования исследований</p>
	<p>ПК-5 - Способен предлагать актуальные методы и подходы решения научных и технологических задач в области наноматериалов, а также смежных областей</p>	<p>З-1 - Описывать основные научные достижения и современные методы экспериментальных и теоретических исследований</p> <p>У-1 - Определять конкретную задачу в рамках научного эксперимента</p> <p>П-1 - Использовать методы решения научно-технологических задач на основе анализа согласованных научных знаний</p>

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Методы нанолитографии**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Ахматханов Андрей Ришатович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 1 от 18.01.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Ахматханов Андрей Ришатович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 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	Предмет, цель, задачи и структура курса. История фотолитографии. Фотолитография как один из основных промышленных методов получения микро- и наноструктур. Области применения фотолитографии: микроэлектроника, нанофотоника, микро- и наноэлектромеханические системы (MEMS, NEMS). Развитие микроэлектронной промышленности. Закон Мура, увеличение степени интеграции и размеров пластин, уменьшение характерных размеров элементов. Фабрики микроэлектронного производства. Классификация литографических методов микро- и наноструктурирования. Основные этапы технологического процесса фотолитографии.
P2	Резисты	Классификация резистов. Позитивные резисты. ДХН Резисты. Негативные резисты. Химические процессы при экспонировании и проявлении резистов. Растворители для резистов, их основные свойства. Хранение резистов, старение. Параметры резистов (толщина, чувствительность, спектральный диапазон, оптические свойства, стойкость к термической, химической и плазменной обработке). Спектральный диапазон резистов. Резисты для ближнего УФ диапазона. Особенности резистов для дальнего и экстремального УФ диапазонов. Химически усиленные резисты. Электронорезисты, рентгенорезисты.

<b>P3</b>	Подготовка поверхности	<p>Необходимость очистки поверхности. Классификация типов загрязнений по форме и виду. Источники загрязнений. Контроль загрязнений, микроскопические и аналитические методы контроля. Методы предотвращения загрязнений. Физические и химические методы очистки в жидкой и газовой фазе, механические методы очистки. Методы повышения эффективности очистки. Очистка с помощью плазменных технологий. Промывка и сушка. Смачиваемость поверхности как индикатор чистоты. Обработка поверхности промоутерами адгезии.</p>
<b>P4</b>	Процессы нанесения резиста	<p>Требуемые характеристики пленок резиста. Типы процессов нанесения: центрифугирование, распыление. Контроль параметров слоя резиста. Дефекты нанесения и методы борьбы с ними. Адгезия резиста к различным поверхностям.</p>
<b>P5</b>	Термическая обработка резиста	<p>Необходимость термической обработки. Типы термической обработки. Предварительная термическая обработка резиста после нанесения. Роль содержания растворителя и воды в пленке резиста на ее свойства. Термическая обработка после проявления: сушка и задубливание. Физико-химические процессы при термической обработке резиста. Оборудование для термической обработки резиста.</p>
<b>P6</b>	Совмещение и экспонирование	<p>Процесс экспонирования. Типы фотолитографии: контактная и проекционная. Принципы формирования изображения. Преимущества и особенности проекционной фотолитографии. Оборудование для фотолитографии. Безшаблонные методы экспонирования: электронно-лучевая литография, лазерная литография. Скорость обработки пластин в технологическом процессе экспонирования.</p> <p>Многослойный характер процессов литографии при создании микроэлектронных устройств – необходимость совмещения слоев. Совмещение слоев в контактной и проекционной фотолитографии. Метки совмещения. Точность совмещения. Усовершенствованные методы для совмещения с высокой точностью. Автоматизация процесса совмещения.</p> <p>Пространственное разрешение процесса фотолитографии. Элементы дифракционной теории формирования изображений при контактной и проекционной литографии. Эффекты близости. Методики улучшения разрешения фотолитографии: уменьшение длины волны излучения, иммерсионная литография, технологические методики улучшения разрешения (коррекция эффекта близости, фазосдвигающие маски, двойное экспонирование). Современное состояние и прогнозы развития технологии фотолитографии.</p>
<b>P7</b>	Проявка резиста	<p>Принципиальные отличия позитивных и негативных резистов. Механизмы проявки изображения. Технология обращения изображения. Скорость проявки, контраст резиста. Поперечный профиль резистивной маски. Методы и</p>

		оборудование для проявки резиста. Методы контроля и оптимизации процесса проявки.
<b>P8</b>	Снятие резиста	Жидкостные химические методы снятия резиста: растворители, кислотные и щелочные составы. Плазмохимические методы снятия резиста. Снятие сильно задубленного резиста. Подбор оптимального метода снятия резиста.
<b>P9</b>	Фотошаблоны	Фотошаблоны для контактной и проекционной фотолитографии. Процесс разработки и изготовления фотошаблонов. Метрология и контроль фотошаблонов.
<b>P10</b>	Методы переноса изображения	<p>Классификация методов обработки материала с использованием резистивной маски: нанесение, травление и модификация.</p> <p>Классификация методов нанесения тонких пленок. Типы наносимых веществ. Физическое нанесение через газовую фазу (PVD): электронно-лучевое и термическое испарение, молекулярно-лучевая эпитаксия, распыление, магнетронное распыление, реактивное распыление. Проблема получения тонкой пленки заданного состава. Химическое нанесение через газовую фазу (CVD). Золь-гель технология. Гальваническое осаждение. Применимость методов для нанесения различных типов веществ.</p> <p>Использование фоторезиста в качестве маски при нанесении. Прямая и обратная (взрывная, lift-off) литография. Механизм взрывной литографии. Требования к профилю резиста.</p> <p>Травление. Жидкостное химическое травление. Процесс травления. Растворение, диффузия, конвекция. Травители, практические рецепты.</p> <p>Плазмохимическое и реактивно-ионное сухое травление. Изотропное и анизотропное травление. Классификация методик сухого травления. Оборудование для сухого травления. Используемые газы, практические рецепты. Использование резистивной маски при травлении. Контроль размеров элементов при травлении.</p> <p>Методики модификация поверхностного слоя: диффузия, ионная имплантация.</p>
<b>P11</b>	От микро- к нанолитографии	<p>Потребность в разработке методов нанолитографии: развитие микроэлектроники, нанотехнологии, нанофотоники, наноэлектромеханические системы. Возможности и перспективы оптической фотолитографии. Литография в области экстремального ультрафиолета (EUV). Масочная электронная и рентгеновская литография.</p> <p>Прямая запись электронным пучком. Преимущества и недостатки. Рассеяние пучка электронов при экспонировании резистов, эффект близости, методы коррекции эффекта близости. Многолучевые методы. Оборудование для электронно-лучевой литографии. Ионно-лучевая литография.</p>

		<p>Наноимпринт литография. Типы наноимпринт литографии. Материалы и оборудование. Литографическая индуцированная самосборка.</p> <p>Формирование наноструктур с помощью сканирующей туннельной микроскопии и сканирующей зондовой микроскопии. «Nanoink Dip-реп» литография.</p>
<b>P12</b>	Технологии чистоты в микро- и нанолитографии	<p>Введение в технологии чистоты. Определение термина «чистое помещение». Роль чистых помещений в развитии науки и техники, в частности в нанотехнологии. Принципы построения чистых помещений. История чистых помещений. Стандарты классификации чистых помещений. Класс чистоты помещения. Классификация чистых помещений по типам воздухообмена. Турбулентные чистые помещения. Чистые помещения с однонаправленным движением воздуха. Характеристики воздухообмена. Способы снижения издержек, изоляторы, мини-зоны. Конструкционные материалы для чистых помещений. Высокоэффективная фильтрация воздуха. Определение концентрации частиц. Основы эксплуатации чистых помещений. Одежда для чистых помещений и дополнительные компоненты чистых помещений.</p> <p>Чистые технологические среды и материалы. Особо чистые химические реактивы, газы, твердые вещества. Свойства, применение и методы получения деионизованной воды.</p>

### 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

### Методы нанолитографии

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Барыбин, А. А.; Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2008; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75443> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Барыбин, А. А.; Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы : учеб. пособие для вузов.; Физматлит, Москва; 2006 (1 экз.)
2. Ефимов, И. Е., Горбунов, Ю. И., Козырь, И. Я.; Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность : [учеб. пособие для приборостроит. специальностей вузов].; Высшая школа, Москва; 1986 (21 экз.)



3. Ефимов, И. Е., Горбунов, Ю. И., Козырь, И. Я.; Микроэлектроника. Проектирование, виды микросхем, функциональная микроэлектроника : учеб. пособие для вузов.; Высшая школа, Москва; 1987 (26 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Institute of Physics (IOP). <http://iopscience.iop.org>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru>
3. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
4. Электронная научная библиотека: <https://elibrary.ru>
5. Зональная научная библиотека УрФУ URL: <http://lib.urfu.ru>
6. Официальные сайты международных и российских конференций по физике наноматериалов

### **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. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Методы нанолитографии**

#### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

<b>№ п/п</b>	<b>Виды занятий</b>	<b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения</b>
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

2	Практические занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM</p> <p>Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p>
3	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<b>Не требуется</b>
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<b>Не требуется</b>
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM</p> <p>Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p>

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Физическое материаловедение**  
**нанокристаллических структур с**  
**различным типом связей**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Пилюгин Виталий Прокофьевич	кандидат физико- математических наук, старший научный сотрудник	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 1 от 18.01.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Пилюгин Виталий Прокофьевич, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 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, основные понятия	Исторический обзор и история возникновения наноматериаловедения и его современные наиболее заметные достижения. Терминология наноматериалов и нанозифики. Классификация наноматериалов по своему химическому составу и структуре. Методы получения наноматериалов: химические, механические, экстремального воздействия и конденсации. Получение и строение кластеров: газовые безлигандные кластеры, коллоидные кластеры, твёрдотельные нанокластеры и матричные нанокластеры.
P2	Наноматериалы. Структура, методы получения и аттестации наноматериалов	Кластерные кристаллы и фуллериты. Аллотропные модификации углерода. Углеродные наноматериалы: Фуллерены, фуллериты, нанотрубки их классификация, графен. Наноалмазы. Уникальные механические и электрические свойства свойства углеродных наноматериалов. Применение в нанотехнологиях. Методы изучения структуры и аттестации наноматериалов их особенности и возможности: рентгеноструктурный метод, методы сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, электронной микроскопии высокого разрешения, ядерной гамма-резонансной спектроскопии, ядерной магнитной резонансной спектроскопии, электронной парамагнитной резонансной спектроскопии. Объёмные нанокристаллические материалы из d-переходных металлов. Субмикроскопические, нанокристаллические и аморфные металлы и сплавы. Методы

		их получения и аттестации структуры. Электрические, магнитные и механические свойства нанокристаллических и аморфных металлов. Связь размеров нанокристаллитов с доминирующим типом межзатомного взаимодействия.
<b>P3</b>	Фазовые переходы, их классификация. Термодинамика фазовых переходов в массивных и нанокристаллических материалах	Основные определения фазовых переходов I и II родов. Движущая сила фазового перехода, сдерживающая сила фазового перехода. Гистерезис фазового перехода. Механизмы фазовых переходов: диффузионный, бездиффузионный, смешанный. Мартенситные фазовые переходы и их кристаллографические особенности. Примеры мартенситных превращений в железе и его сплавах, в сплавах с эффектом памяти формы. Влияние давления на вещество. Международная шкала давлений и абсолютная шкала давлений. Фазовые P-T диаграммы чистых элементов и некоторых простых соединений. Особенности фазовых переходов в нанокристаллических материалах. Гистерезис термических и барических фазовых превращений I и II рода в наноматериалах и механизмы его увеличения.
<b>P4</b>	Строение, структура и дефекты в объёмных и наноструктурных материалах	Структура кристаллических объёмных материалов. Классификация дефектов кристаллического строения: точечные, линейные, двумерные и объёмные дефекты. Модели и реальная микроструктура наноматериалов кластеров, изолированных нанокристаллов, объёмных нанокристаллических материалов и нанокомпозитов. Дефекты и специфика дефектов в наноматериалах. Формулы концентрации структурных дефектов от размеров нанокристаллов: точечных дефектов, дислокаций, междолинитных границ, двойных, тройных и четверных стыков.
<b>P5</b>	Механика наноматериалов, упругие модули и механические характеристики изолированных и объёмных наноматериалов и нанокомпозитов	Соотношение Холла-Петча для физического предела текучести и диапазон его применимости в микро-, субмикро- и наноструктурах. Механизмы деформации, отвечающие за выполнение и исключают выполнение соотношения Холла-Петча. Наноиндентирование как метод измерения упруго-пластических свойств, измерения модуля Юнга и энергомеханических характеристик объёмных наноматериалов. Термическая структурная и фазовая стабильность наноматериалов, поведение при высоких давлениях, способность к прессованию давлением и связь процесса прессования с гомологической температурой материала.
<b>P6</b>	Микро- и наномашиностроение и микросистемная техника	Применяемые и разрабатываемые микромеханические и наномеханические устройства, нанотехнологические процессы самосборки- диспергирования, испарения-и конденсации, растворения –выпадения из растворов, фильтрации, захвата и перемещения с применением квантовых генераторов и давления световых пучков. Примеры применения в медицине, биологии, фармацевтике, связи, микросистемной технике: актуаторы, струнные и мембранные датчики, рентгеновская литография, создание наноразмерных фильтров и наномембран высокоэнергетическими пучками элементарных частиц на ускорителях. Рекордные значения физических, механических

		свойств и служебных характеристик. Примеры веществ с рекордными свойствами и ближайшие перспективы.
<b>Р7</b>	Прогнозы в области нанотехнологий, наномашиностроения и микросистемной техники	Современное применение и совершенствование 3D-принтеров. Аддитивные технологии. Примеры применения в фармацевтике, медицине, протезирование, создание и применение напечатанных на 3D-принтере искусственных органов: почки, сердца, роговицы глаза. Анализ и обзор создания рекордных материалов для получения сверхвысоких по значениям физических параметров и экстремальных условий: температуры, давления, сверхпроводящих материалов, электрических и магнитных полей, плотности записи информации, химической чистоты материалов и совершенства механической объёмной и поверхностной обработок. Метрологические и ГОСТовские стандарты в наноматериаловедении и микросистемной технике.

### 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

### **Физическое материаловедение нанокристаллических структур с различным типом связей**

#### **Электронные ресурсы (издания)**

1. Неволин, В. К.; Зондовые нанотехнологии в электронике : монография.; Техносфера, Москва; 2014; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260697> (Электронное издание)
2. Неволин, В. К.; Зондовые нанотехнологии в электронике; Техносфера, Москва; 2014; <http://www.iprbookshop.ru/26894.html> (Электронное издание)
3. , Шустиков, А. А., Ханнинк, Р., Хилл, А.; Наноструктурные материалы : монография.; РИЦ Техносфера, Москва; 2009; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=115678> (Электронное издание)
4. Гусев, А. И.; Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии : монография.; Физматлит, Москва; 2009; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68859> (Электронное издание)

#### **Печатные издания**

1. Неволин, В. К.; Зондовые нанотехнологии в электронике; Техносфера, Москва; 2005 (5 экз.)
2. Гусев, А. И.; Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2009 (6 экз.)
3. Гусев, А. И.; Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии; Физматлит, Москва; 2005 (3 экз.)
4. Валиев, Р. З., Александров, И. В.; Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией; Логос, Москва; 2000 (20 экз.)
5. Андриевский, Р. А.; Наноструктурные материалы : учеб. пособие для вузов.; Academia, Москва; 2005 (23 экз.)
6. Уорден, К., Баженов, С. Л.; Новые интеллектуальные материалы и конструкции. Свойства и

применение; Техносфера, Москва; 2006 (6 экз.)

7. ; Методы получения и свойства нанобъектов : учебное пособие.; Флинта, Москва; 2009 (5 экз.)

8. Ратнер, М., Назаренко, А. В.; Нанотехнология. Простое объяснение очередной гениальной идеи; [Вильямс], Москва; 2007 (3 экз.)

9. Пул, Ч., Головин, Ю. И., Лучинин, В. В.; Нанотехнологии : учеб. пособие для вузов.; Техносфера, Москва; 2005 (22 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Institute of Physics (IOP). <http://iopscience.iop.org>

2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru>

3. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>

4. Электронная научная библиотека: <https://elibrary.ru>

5. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

6. Официальные сайты международных и российских конференций по физике наноматериалов

### **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. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>

2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Физическое материаловедение нанокристаллических структур с различным типом связей**

#### **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	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		<p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	
2	Практические занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM</p> <p>Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p>
3	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<b>Не требуется</b>
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<b>Не требуется</b>
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM</p> <p>Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p>



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Эмиссионная электроника и основы работы**  
**приборов**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Мурзакаев Айдар Маркович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института** Естественных наук и математики

Протокол № 1 от 18.01.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Мурзакаев Айдар Марксович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 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	Предмет, цель, задачи и структура курса.
P2	Элементы электронной теории металлов	Уравнение Шредингера. Частица в одномерной прямоугольной потенциальной яме. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Атом водорода. Движение электронов в периодическом поле кристалла. Уравнение Шредингера для кристалла. Энергетические зоны в приближении сильной связи. Общие свойства волновой функции электрона в периодическом потенциале. Теорема Блоха. Модель Кронига-Пени. Заполнение энергетических зон электронами. Металлы, полупроводники и диэлектрики. Статистическое описание коллектива частиц. Функция распределения частиц по состояниям. Фермионы и бозоны. Функция распределения Ферми-Дирака. Уровень Ферми. Энергия Ферми. Влияние температуры на распределение Ферми-Дирака. Функция плотности состояний электронов и дырок.
P3	Потенциальный барьер на границе металл-вакуум	Задача об отражении частицы от прямоугольного полубесконечного потенциального барьера. Полная работа выхода электрона. Надбарьерный выход электронов. Подбарьерный выход электронов. Поправка Шоттки. Эффект Шоттки. Коэффициент прохождения частицы через потенциальный барьер или коэффициент прозрачности.

<p><b>P4</b></p>	<p>Термоэлектронная эмиссия</p>	<p>Основные особенности ТЭЭ: зависимость термоэмиссионного тока от температуры, работы выхода, внешнего электрического поля. Термодинамический вывод основного уравнения ТЭЭ. Универсальность постоянной Ричардсона. Статистический вывод уравнения ТЭЭ при наличии у поверхности катода внешнего электрического поля. Влияние температурной зависимости работы выхода на термоэмиссионный ток. Средняя энергия термоэлектронов. Экспериментальные методы определения термоэмиссионных констант. Метод определения усредненного коэффициента отражения электронов. Определение работы выхода. Метод полного тока, способы измерения площади поверхности эмиттера и температуры. Метод прямых Ричардсона. Калориметрический метод определения работы выхода. Причины неоднородности поверхности катодов. Адсорбция, ее влияние на физико-химические свойства поверхностей. Локализованная и нелокализованная адсорбция. Миграция адсорбата. Эффективные термокатоде. Основные рабочие параметры. Оксидные катоды, оксидно-ториевые катоды, гексабориды щелочноземельных и редкоземельных металлов.</p>
<p><b>P5</b></p>	<p>Автоэлектронная эмиссия</p>	<p>Уравнение Фаулера-Нордгейма для автоэмиссионного тока. Функция Нордгейма. Распределение автоэлектронов по энергиям, полуширина распределения. Эффект Ноттинггама. Экспериментальные исследования автоэлектронной эмиссии. Автоэлектронный микроскоп, методы изготовления острий, увеличение и разрешение прибора. Измерения с отдельных граней острия. Измерение энергетического распределения автоэлектронов. Методы определения работы выхода, констант поверхностной диффузии. Особенности автоэлектронной эмиссии с полупроводников. Вольтамперная характеристика, зависимость от температуры и освещения катода. Разогрев электронного газа, горячие электроны. Ударная ионизация, межзонное туннелирование.</p> <p>Практическое использование автоэлектронной эмиссии. Методы исследований поверхностных явлений. Применение автокатодов в технике, их преимущества и недостатки. Причины нестабильности рабочих характеристик в техническом вакууме: адсорбция, ионная бомбардировка.</p> <p>Автоионный микроскоп. Принципы его работы, разрешающая способность.</p> <p>Сканирующая туннельная микроскопия, ее возможности. Эффективный потенциальный барьер для электронов между острием и образцом. Зависимость туннельного тока от расстояния между острием и образцом. Особенности конструкции сканирующего туннельного микроскопа: пьезодвигатели, защита от вибраций, изготовление острий. Зависимость туннельного тока от плотности электронных состояний. Сканирующая туннельная спектроскопия. Определение эффективной высоты потенциального барьера.</p>
<p><b>P6</b></p>	<p>Фотоэлектронная эмиссия</p>	<p>Основные закономерности внешнего фотоэффекта. Красная граница ФЭЭ. Уравнение Эйнштейна. Чувствительность и</p>

		<p>интегральная чувствительность. Квантовый выход ФЭЭ. Селективный внешний фотоэффект: размерный, векториальный (поляризационный). Особенности ФЭЭ с полупроводников. Фотоэлектрическая работа выхода. Глубина выхода фотоэлектронов. Влияние загиба зон на поверхности. Влияние дополнительной подсветки. Отрицательное сродство. Особенности энергетического распределения фотоэлектронов.</p> <p>ФЭЭ со щелочно-галогидных соединений. Центры окраски. Экситоны.</p> <p>Фотоэлектронная спектроскопия. Вольтамперная характеристика, измерение фотоэлектрической работы выхода, величины загиба зон на поверхности. Определение распределения по энергиям заполненных и свободных состояний для электронов. Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением, экспериментальное определение дисперсионных зависимостей <math>E(k)</math>. Электронная спектроскопия для химического анализа. Химический сдвиг внутренних уровней.</p> <p>Эффективные фотокатоды. Основные параметры фотоэлементов. Кислородно – серебряно - цезиевый фотокатод.</p>
<p><b>P7</b></p>	<p>Вторичная электронная эмиссия</p>	<p>Первичные и вторичные электроны. Коэффициент ВЭЭ, его зависимость от энергии первичных электронов <math>E_p</math>. Закон подобия в случае металлов. Длина свободного пробега электронов, ее зависимость от энергии электронов. Особенности зависимости <math>s(E_p)</math> в случае диэлектриков. Угловая зависимость коэффициента ВЭЭ.</p> <p>Энергетическое распределение вторичных электронов по энергиям, три основные группы вторичных электронов.</p> <p>Упруго отраженные электроны. Зависимость коэффициента упругого отражения от энергии первичных электронов. Угловое распределение упруго отраженных электронов, дифракция медленных электронов (ДМЭ), дифракция быстрых электронов (ДБЭ).</p> <p>Неупруго отраженные электроны. Общие закономерности поведения коэффициента неупругого отражения электронов. Плазмоны: объемные и поверхностные. Спектроскопия потерь энергии медленных электронов. Спектроскопия характеристических потерь энергии. Оже электронная спектроскопия.</p> <p>Истинно вторичные электроны. Зависимость коэффициента истинно вторичной эмиссии от энергии первичных электронов, угла падения первичного пучка, угла выхода вторичных электронов.</p> <p>Эффективные эмиттеры вторичных электронов. Вторично электронные умножители, фотоэлектронные умножители, электронно-оптические преобразователи. Коэффициент усиления, шумы.</p>

<b>P8</b>	Другие виды электронной и ионной эмиссии	Общая классификация явлений эмиссии. Кинетическая ионно-электронная эмиссия. Экзоэлектронная эмиссия. Потенциальная ионно-электронная эмиссия (потенциальное вырывание). Эмиссия горячих электронов Комбинированные виды эмиссии.
<b>P9</b>	Токи, ограниченные пространственным зарядом	Закон «трех вторых». Общая схема расчета самосогласованных полей и объемных зарядов. Плоскопараллельная электродная система. Цилиндрическая электродная система. Сферическая электродная система. Влияние пространственного заряда на автоэлектронную эмиссию.
<b>P10</b>	Взрывная электронная эмиссия (ВЭЭ)	Феноменология ВЭЭ. Импульсный пробой при острейном катоде. Импульсный пробой при плоских электродах. Пробой постоянным напряжением. Джоулев механизм вакуумного пробоя. Вольт-амперная характеристика искрового разряда.
<b>P11</b>	Электронная оптика (электростатические линзы)	Сила, действующая на заряженную частицу. Уравнения движения. Аналогия между движением заряженных частиц в электростатическом поле и распространением световых лучей в прозрачной среде. Центрированные электронно-оптические системы. Основное уравнение электронной оптики для аксиально-симметричных полей. Фокусировка в аксиально-симметричном поле. Уравнение Гельмгольца - Лагранжа. Тонкая линза. О приближенных методах в электронной оптике. Некоторые электронные приборы с электростатическими полями. Усилитель света (электронно-оптический преобразователь). Электронный умножитель. Электронный осциллограф.
<b>P12</b>	Электронная оптика (магнитные линзы)	Движение в однородном магнитном поле. Аксиально-симметричное магнитное поле. Фокусировка с помощью короткой катушки. Электронный микроскоп. Движение в медленно изменяющемся магнитном поле. Адиабатический инвариант. Радиационные пояса Земли. Фокусировка в поперечных электрических и магнитных полях. Сильная фокусировка. Движение заряженных частиц под действием однородного электрического поля и однородного магнитного поля. Спектрометры.
<b>P13</b>	Взаимодействие электронов с веществом	Динамика взаимодействия. Поляризационные эффекты. Эффекты, наблюдаемые при взаимодействии электронов с веществом: упругое и неупругое рассеяние, возбуждение фононов, радиационный захват, захват на дефекты, прямые и не прямые межзонные переходы, возбуждение электронно дырочных пар, наведенная проводимость, дифракция низкоэнергетических электронов, возбуждение и ионизация атомных остовов, тормозное и характеристическое рентгеновское излучение, вторичная электронная эмиссия, Оже-электронная эмиссия, характеристические потери энергии электронов, электронно-ионная эмиссия, электронно-атомная эмиссия, образование и исчезновение дефектов, дифракция быстрых электронов, упругое смещение атомов электронным ударом, каналирование электронов в кристаллах.

<p><b>P14</b></p>	<p>Взаимодействие ионов и атомов с веществом</p>	<p>Виды ионно-электронной эмиссии (ИЭЭ). Коэффициент ИЭЭ, его зависимость от энергии и сорта первичных ионов. Потенциальная ионно-электронная эмиссия, ее главные особенности. Механизм Олифанта-Муна, механизм Шехтера. Кинетическая ионно-электронная эмиссия, ее основные особенности. Возможные объяснения кинетической ИЭЭ: термическая модель Капицы, модель "стряхивания" Френкеля, радиационная модель, деформационная модель.</p> <p>Рассеяние ионов. Модель парного столкновения. Распределение рассеянных ионов по энергиям. Эффект затенения.</p> <p>Катодное распыление. Основные особенности. Угловое распределение слетающих частиц. Явление каналирования. Импульсная теория.</p> <p>Вторичная ионно-ионная эмиссия. Вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС). Зависимость коэффициента вторичной эмиссии ионов от матрицы.</p> <p>Количественные характеристики упругого и неупругого взаимодействия. Механизмы взаимодействия: адсорбция, химическое травление, резонансная перезарядка, возбуждение фононов, ионно-электронная эмиссия, ионно-атомная эмиссия, десорбция, образование дефектов, внедрение ионов (ионное легирование), каналирование ионов.</p>
<p><b>P15</b></p>	<p>Взаимодействие фотонов с веществом</p>	<p>Уравнения Максвелла. Оптические константы. Диэлектрическая проницаемость и ее зависимость от частоты, напряженности электрического поля и температуры. Основные модели электрической поляризации: электронно-деформационная, ионно-деформационная, дипольная. Механизмы поглощения фотонов в кристаллах: возбуждение фононов, эксионных, экситонных, фононных и плазменных поляритонов, полосы остаточных лучей, многофононное поглощение, фотоионизация примесных центров, межзонные переходы, взаимодействие со свободными носителями, возбуждение плазмонов, фотоионизация глубоких атомных уровней.</p> <p>Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Возникновение плазмы. Образование и отжиг дефектов в приповерхностной области кристаллов. Взаимодействие фотонов с электронной и атомной подсистемами твердого тела. Основные физические явления в твердых телах при воздействии фононов: нагрев, фотохромный эффект (изменение коэффициента поглощения на примесях), фоторефракция, фотопамять (изменение показателя преломления вследствие возникновения локальных помех на примесях), изменение двойного лучепреломления при высоких интенсивностях, оптическая активность (поворот плоскости поляризации), фотогирация (поворот при одновременном действии фотонов и электрического поля), фотополяризация, фотоэдс Дембера и барьерная, вторичное излучение</p>

		(комбинационное, люминесценция, фосфоресценция), фотоакустический эффект.
--	--	---

### 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

### Эмиссионная электроника и основы работы приборов

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Уваров, Н. Ф.; Химия твердого тела : учебное пособие.; Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск; 2019; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575292> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Фистуль, В. И.; Физика и химия твердого тела : Учебник для вузов: В 2 т. Т. 1. ; Металлургия, Москва; 1995 (10 экз.)
2. Литвинов, Е. А., Уйманов, И. В., Чолах, С. О., Сюткин, Н. Н.; Эмиссионная электроника : учебное пособие.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2007 (21 экз.)
3. Модинос, А., Фурсей, Н. Г., Баскин, Л. М.; Авто-, термо- и вторично-электронная эмиссионная спектроскопия; Наука, Москва; 1990 (2 экз.)
4. Вудраф, Д.; Современные методы исследования поверхности; Мир, Москва; 1989 (5 экз.)
5. Шимони, К., Раховский, В. И., Сурский, Ю. Н., Фонштейн, Н. М.; Физическая электроника; Энергия, Москва; 1977 (5 экз.)
6. Месяц, Г. А.; Эктонны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга; Наука, Москва; 2000 (8 экз.)
7. Владимиров, Г. Г.; Физическая электроника. Эмиссия и взаимодействие частиц с твердым телом : учебное пособие.; Лань, Санкт-Петербург [и др.]; 2013 (3 экз.)

#### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Institute of Physics (IOP). <http://iopscience.iop.org>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru>
3. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
4. Электронная научная библиотека: <https://elibrary.ru>
5. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

### 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. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Эмиссионная электроника и основы работы приборов**

#### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

<b>№ п/п</b>	<b>Виды занятий</b>	<b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения</b>
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная  Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  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  Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная	<b>Не требуется</b>



4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<b>Не требуется</b>
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	<p>Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM</p> <p>Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p>

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Методы анализа и контроля**  
**наноструктурированных материалов**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Мурзакаев Айдар Маркович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института** Естественных наук и математики

Протокол № 1 от 18.01.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Мурзакаев Айдар Марксович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 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. Предмет и задачи курса	Предмет, цель, задачи и структура курса. Понятие структуры материалов, специфические требования к методам диагностики наночастиц и наноматериалов. Общие характеристики методов изучения, анализа и диагностики объемных и наноструктурированных материалов. Определяющее значение аналитических методов в исследовательской практике и в условиях производства для создания наноматериалов с заданными свойствами и контроля качества материалов и приборов.
P2	Методы и приборы для определения элементного состава наноматериалов	Рентгеноспектральный анализ элементного состава вещества. Введение в рентгеноспектральный анализ. Методы возбуждения рентгеновских спектров. Источники рентгеновского излучения. Работа рентгеновской трубки. Классификация рентгеновских переходов. Сплошной и характеристический рентгеновский спектр. Синхротронное излучение. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Явления, сопровождающие прохождение рентгеновских лучей через вещество. Классическая теория поглощения рентгеновских лучей. Квантовая теория поглощения рентгеновских лучей. Закон поглощения рентгеновских лучей, рентгеновская дефектоскопия, фильтрация рентгеновского излучения. Преломление рентгеновских лучей. Флюоресцентное излучение. Спектрометры рентгеновского излучения с волновой и

		<p>энергетической дисперсией. Микрорентгеноспектральный анализ, схема прибора, особенности применения. Спектрометрические схемы в рентгеноспектральном флуоресцентном анализе. Интенсивность линий флуоресценции. Количественный анализ в рентгеноспектральном флуоресцентном анализе. Аналитические возможности метода.</p>
<b>P3</b>	<p>Исследования состава наноматериалов методами электронной спектроскопии</p>	<p>Исследования состава наноматериалов методами электронной спектроскопии. Сущность методов электронной спектроскопии, Оже- электронные и рентгеновские фотоэлектронный спектры. Информационная глубина. Схема спектрометров, типы приборов. Элементарная чувствительность. Подготовка образцов. Изучение профилей распределения концентрации по глубине. Качественный и количественный Оже- и ЭСХА- анализ. Характеристика применений.</p>
<b>P4</b>	<p>Исследование состава наноматериалов методом вторичной ионной масс-спектрометрии</p>	<p>Исследование состава наноматериалов методом вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС). Физические основы метода ВИМС и формирование сигнала. Аппаратура метода и его аналитические характеристики. Статический и динамический режимы работы. Подготовка образцов. Анализ распределений концентрации по глубине. Количественный анализ ВИМС. Области применимости метода.</p>
<b>P5</b>	<p>Методы и приборы для изучения микроструктуры наночастиц и наноматериалов</p>	<p>Методы и приборы для изучения микроструктуры наночастиц и наноматериалов. Теоретические основы дифракционных методов исследования структуры материалов. Кинематическая теория рассеяния, основные положения кинематической теории рассеяния и область ее применения. Вектор и угол рассеяния. Выражения для амплитуды рассеяния волн в кинематическом приближении. Рассеяние на объектах с периодической структурой. Обратная решетка, связь между прямой и обратной решетками. Уравнение дифракции Лауэ. Формула Вульфа-Брегга. Построение Эвальда. Фактор формы и рассеяние кристаллами конечных размеров. Угловая ширина дифракционного максимума в кинематическом приближении. Рассеяние поликристаллами, аморфными телами.</p>
<b>P6</b>	<p>Элементы динамической теории рассеяния</p>	<p>Элементы динамической теории рассеяния. Рассеяние идеальными кристаллами. Волновое поле в кристалле. Экстинкция. Двухволновое приближение. Отражение по схеме Брегга. Область полного интерференционного отражения. Интегральный коэффициент отражения в динамическом приближении.</p>
<b>P7</b>	<p>Рентгеновские методы исследования структуры наноматериалов</p>	<p>Рентгеновские методы исследования структуры наноматериалов. Рассеяние рентгеновских лучей электроном. Поляризация рассеянного излучения. Рассеяние атомов - атомная амплитуда когерентного рассеяния рентгеновских лучей. Рассеяние кристаллом - структурная амплитуда рассеяния. Влияние температуры на интенсивность дифракционной картины. Интегральный коэффициент отражения.</p>

<b>P8</b>	Способы регистрации рентгеновской дифракционной картины	Способы регистрации рентгеновской дифракционной картины. Работа рентгеновского дифрактометра. Метод поликристалла (Дебая-Шерера). Геометрия рентгенограмм и интенсивность дифракционных максимумов на рентгенограммах поликристаллов. Расчет и индцирование рентгенограмм.
<b>P9</b>	Фазовый анализ материалов	Идентификация вещества по данным межплоскостных расстояний. Фазовый анализ материалов. Возможности количественного и качественного анализа. Прецизионное определение параметров кристаллической решетки и его приложения в материаловедении. Оценка точности. Рентгенографическое определение напряжений 1 рода, коэффициентов теплового расширения, исследование твердых растворов. Анализ уширения профиля рентгеновских дифракционных максимумов. Оценка размеров нанокристаллов.
<b>P10</b>	Использование высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии для изучения наноразмерных пленок, эпитаксиальных композиций	Влияние текстуры на дифракционную картину поликристаллов. Понятие о полюсных фигурах. Работа и устройство двухкристального рентгеновского спектрометра. Использование высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии для изучения наноразмерных пленок, эпитаксиальных композиций, диффузионных и ионно-имплантированных слоев, анализа глубины и профиля искажений.
<b>P11</b>	Методы, основанные на дифракции электронов	Методы, основанные на дифракции электронов. Электронография. Особенности рассеяния электронов атомами вещества. Принцип работы электронографа и типы электронограмм. Подготовка образцов. Применение электронографии. Симметрия точечных электронограмм. Расчет и индцирование электронограмм. Электронограммы поликристаллов, влияние текстуры.  Исследование структуры поверхности кристаллов методом дифракции медленных электронов (ДМЭ). Схема эксперимента, формирование дифракционной картины. Анализ поверхностных сверхструктур. Основные результаты и области применений.
<b>P12</b>	Просвечивающая электронная микроскопия	Оптическая схема электронного микроскопа. Наблюдение в светлом и темном поле. Микродифракция. Разрешающая способность электронного микроскопа. Понятие о дифракционном контрасте. Колонковое приближение. Использование амплитудно-фазовых диаграмм для анализа контраста. Контраст на границах зерен, дефектах упаковки, дислокациях. Возможность определения направления и знака вектора Бюргера дислокаций, типа дислокационных петель.
<b>P13</b>	Методы и приборы для анализа геометрических параметров и размеров наночастиц	Методы и приборы для анализа геометрических параметров и размеров наночастиц Растровая электронная микроскопия (РЭМ). Основные принципы электронно-зондового анализа и взаимодействие электронного пучка с образцом. Схема РЭМ и особенности формирования изображения. Виды контраста в РЭМ. Разрешающая способность и качество изображения. Дополнительная обработка сигнала в РЭМ для получения

		информации. Подготовка образцов различных материалов для исследования с помощью РЭМ. Области применений.
<b>P14</b>	Сканирующая зондовая микроскопия	Сканирующие туннельный и атомно-силовой микроскопы. Принципы построения и работы приборов. Режимы работы СТМ и АСМ. Дополнительные возможности сканирующей зондовой микроскопии. Применение метода для определения шероховатости сверхгладких поверхностей. Просвечивающая электронная микроскопия для определения геометрических параметров и размеров наночастиц. Сравнительный анализ возможностей методов микроскопии для изучения наноструктур и наночастиц.
<b>P15</b>	Плазмонный резонанс	Плазмонный резонанс. Оптические свойства металлических наночастиц. Оптические свойства электронного газа в металлах. Поверхностный плазмонный резонанс сферической металлической наночастицы. Измерение спектров оптического пропускания на спектрофотометре. Определение размеров металлических наночастиц из спектра плазмонного резонанса.
<b>P16</b>	Методы, основанные на спектроскопии магнитного резонанса	Методы, основанные на спектроскопии магнитного резонанса. Введение в радиоспектроскопию. Магнитный резонанс. Классификация методов магнитного резонанса. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР). Ядерный магнитный резонанс (ЯМР). Электронный ферромагнитный резонанс (ФМР). Электронный антиферромагнитный резонанс (АФМР). Двойной электронно-ядерный магнитный резонанс (ДЭЯР). Оптически детектируемый магнитный резонанс (ОДМР). Циклотронный резонанс (ЦР).
<b>P17</b>	Основы метода ЭПР и его применение для изучения низкоразмерных систем	Основы метода ЭПР. Условие возникновения электронного парамагнитного резонанса. Основные параметры спектров ЭПР. Положение сигнала ЭПР и g-фактор. Интенсивность, ширина и форма линий ЭПР. Сверхтонкая структура спектров ЭПР. Тонкая структура спектров ЭПР. Техника эксперимента электронного парамагнитного резонанса. ЭПР спектрометры. Проведение экспериментов и методика обработки спектров электронного парамагнитного резонанса. Определение g фактора. Определение числа парамагнитных центров.
<b>P18</b>	Специальные методы исследования	Специальные методы исследования. Нейтронография. Возможности применения нейтронографии для изучения наночастиц и наноматериалов. Эмиссионная микроскопия. Ионный проектор. Метод резерфордовского обратного рассеяния ионов.

### 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**

### **Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов**

#### **Электронные ресурсы (издания)**

1. Гусев, А. И.; Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии : монография.; Физматлит, Москва; 2009; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68859> (Электронное издание)
2. Барыбин, А. А.; Физико-технологические основы макро-, микро, и наноэлектроники : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2011; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457643> (Электронное издание)
3. Елисеев, А. А.; Функциональные наноматериалы : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2010; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68876> (Электронное издание)

#### **Печатные издания**

1. Гусев, А. И.; Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2009 (6 экз.)
2. Гусев, А. И.; Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии; Физматлит, Москва; 2005 (3 экз.)
3. Елисеев, А. А., Лукашин, А. В., Третьяков, Ю. Д.; Функциональные наноматериалы : учеб. пособие для студентов ст. курсов, обучающихся по специальности 020101 (011000) - Химия.; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2010 (3 экз.)
4. Брандон, Д., Каплан, У., Баженов, С. Л., Егорова, О. В.; Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля : учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению подгот. "Прикладные математика и физика".; Техносфера, Москва; 2004 (43 экз.)
5. Стенсел, Стенсел Д.; Спектроскопия комбинационного рассеяния в катализе : Пер. с англ.; Мир, Москва; 1994 (1 экз.)
6. , Бородин, П. М.; Ядерный магнитный резонанс : учебное пособие.; Издательство Ленинградского университета, Ленинград; 1982 (4 экз.)
7. Пул, Ч., Головин, Ю. И., Лучинин, В. В.; Нанотехнологии : учеб. пособие для вузов.; Техносфера, Москва; 2005 (22 экз.)
8. Синдо, Д., Иванов, С. А.; Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия; Техносфера, Москва; 2006 (2 экз.)

#### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Institute of Physics (IOP). <http://iopscience.iop.org>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru>
3. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
4. Электронная научная библиотека <https://elibrary.ru>
5. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>
6. Официальные сайты международных и российских конференций по физике наноматериалов
7. Наноцентры. Нанотехнологии. Образование. Карьера. - <http://www.rsci.ru/nanotech>
8. Научно-информационный портал Всероссийского института научной и технической информации РАН. Интернет-энциклопедия по Нанотехнологияме [Электронный ресурс]. - <http://science.viniti.ru>
9. Российский электронный НАНОЖУРНАЛ - <http://www.nanorf.ru>

10. Сайт Нанотехнологического Сообщества - <http://www.nanometer.ru>

11. Федеральный интернет-портал "Нанотехнологии и наноматериалов" - <http://www.portalnano.ru>

### **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. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>

2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов**

#### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

<b>№ п/п</b>	<b>Виды занятий</b>	<b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения</b>
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM 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 Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	<b>Не требуется</b>



		соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	<b>Не требуется</b>
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Кинетика и механизм твердофазного синтеза**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Гаврилова Людмила Яковлевна	кандидат химических наук, доцент	Доцент	Департамент фундаментальной и прикладной химии

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 1 от 18.01.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Гаврилова Людмила Яковлевна, Доцент, Департамент фундаментальной и прикладной химии

## 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	Предмет и задачи дисциплины	Роль твердофазных реакций в современных технологиях. Основные положения химической кинетики. Активационные процессы. Классификация реакций твердых тел.
P2	Экспериментальные методы исследования твердых тел	Термогравиметрический метод. Анализ выделяющегося газа: масс-спектрометрия, хроматография. Изо- и неизотермические методы. Микроскопические методы: оптическая и электронная микроскопия. Рентгеновские методы. Спектроскопические методы: инфракрасная, комбинационное рассеяние, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Магнитные измерения. Измерение электропроводности и диэлектрических свойств. Химико-аналитические методы.
P3	Реакции в смесях порошков	Последовательное и параллельное протекание стадий. Индукционный период. Учение о лимитирующей стадии. Изо- и неизотермические условия осуществления. Геометрические модели реакций: Яндера, Вагнера, Коматсу. Модельные кинетические уравнения: Ерофеева-Авраами, сжимающейся сферы, Яндера, Гистлинга-Броунштейна и другие. Обработка экспериментальных данных (методы линеаризации, метод приведенных координат).
P4	Модельные представления о механизме твердофазных реакций	Окисление металлов. Термодинамическая теория Вагнера. Электрохимический перенос. Вывод основного уравнения. Сопряженная химическая диффузия заряженных частиц. Термодинамическая теория Вагнера-Шмальцрида. Исходные

		<p>посылки теории. Вывод основного уравнения. Рациональные константы скорости для различных соотношений коэффициентов диффузии ионов. Расчет рациональных констант и сравнение с экспериментальными данными для различных сложных ионных соединений. Возможные причины расхождения экспериментальных и расчетных констант.</p>
--	--	--

### 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

### Кинетика и механизм твердофазного синтеза

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Уваров, Н. Ф.; Химия твердого тела : учебное пособие.; Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск; 2019; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575292> (Электронное издание)
2. Артамонова, О. В.; Химия твердого тела : учебное пособие.; Ай Пи Ар Медиа, Москва; 2021; <http://www.iprbookshop.ru/108355.html> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Ярославцев, А. Б.; Химия твердого тела : [монография].; Научный Мир, Москва; 2009 (6 экз.)
2. Третьяков, Ю. Д., Путляев, В. И.; Введение в химию твердофазных материалов : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. "Химия, физика и механика материала".; Издательство Московского университета : Наука, Москва; 2006 (4 экз.)
3. Вест, Антони Р., А. Р.; Химия твердого тела. Теория и приложения : В 2 ч. : Пер. с англ. Ч. 1. ; Мир, Москва; 1988 (10 экз.)
4. Вест, Антони Р., А. Р.; Химия твердого тела. Теория и приложения : В 2 ч. : Пер. с англ. Ч. 2. ; Мир, Москва; 1988 (10 экз.)
5. Чеботин, В. Н., Козлова, В. И., Михайлов, А. Я.; Физическая химия твердого тела; Химия, Москва; 1982 (23 экз.)
6. Жуковский, В. М.; Термодинамика и кинетика реакций в твердых телах : Учеб. пособие. Ч. 1. ; Издательство Уральского университета, Свердловск; 1987 (58 экз.)
7. Жуковский, В. М.; Термодинамика и кинетика реакций в твердых телах : Учеб. пособие. Ч. 2. ; Изд-во Урал. гос. ун-та, Свердловск; 1987 (53 экз.)
8. Браун, М., Охотников, В. Б., Чупахин, А. П., Болдырев, В. В.; Реакции твердых тел; Мир, Москва; 1983 (1 экз.)

#### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru/>

2. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
3. Электронная научная библиотека: <https://elibrary.ru>
4. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

### 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. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

## 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Кинетика и механизм твердофазного синтеза

#### 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 Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM 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 Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Не требуется

		соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	<b>Не требуется</b>
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES