



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

СОГЛАСОВАНО  
Руководитель ОП

(подпись)

Штарев Д. С.

(Ф.И.О.)



УТВЕРЖДАЮ

Директор департамента ядерных технологий

(подпись)

Тананаев И.Г.

(Ф.И.О.)

19 декабря 2021 г.

Методы микроскопии в материаловедении  
Направление подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов  
Программа магистратуры «Цифровое материаловедение (совместно с МИСИС)»  
Форма подготовки очная

курс 1 семестр 2  
лекции 10 час.  
практические занятия 24 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 34 час.  
самостоятельная работа 74 час.  
зачет 2 семестр  
экзамен не предусмотрен

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 24 апреля 2018 г. № 306.

Рабочая программа обсуждена на заседании Департамента ядерных технологий Института наукоемких технологий и передовых материалов  
протокол № 3 от «19» декабря 2021 г.  
Директор департамента ядерных технологий Тананаев И. Г.  
Составитель: д. ф.-м. н., Пустовалов Е.В.

Владивосток

2022

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента ядерных технологий:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента ядерных технологий:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**III. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента ядерных технологий:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента ядерных технологий:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## I Цели и задачи освоения дисциплины

**Цель:** Изучение методов микроскопии и микроанализа, основ электронной оптики, формирования изображения и обработки результатов экспериментов.

**Задачи:**

- приобретение знаний о взаимодействии заряженных частиц с веществом;
- приобретение знаний об электронной оптике, конструкциях электронных микроскопов;
- приобретение знаний о подготовке образцов к исследованиям;
- овладеть методикой электронно-микроскопического анализа.

Для успешного изучения дисциплины «Методы микроскопии в материаловедении» у обучающихся должны быть сформированы предварительные общепрофессиональные компетенции выпускников бакалавриата естественнонаучных и инженерных направлений подготовки, в том числе:

- способен моделировать процессы обработок и прогнозировать результаты их осуществления при различных режимах, в том числе с использованием стандартных пакетов компьютерных программ и средств автоматизированного проектирования (ПК-4).

Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
научно-исследовательский	ПК-1 – Способен обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач	ПК-1.1 – Использует знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач
технологический	ПК-5 – Способен определять соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам; прогнозировать и описать процесс достижения заданного уровня свойств в материале	ПК-5.1 – Оценивает соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам; ПК-5.2 – Прогнозирует и описывает процесс достижения заданного уровня свойств в материале

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-1.1 – Использует знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач	Знает взаимодействия заряженных частиц с веществом, об электронной оптике, конструкциях электронных микроскопов
	Умеет использовать знания о взаимодействии заряженных частиц с веществом, об электронной оптике, конструкциях электронных микроскопов для решения профессиональных задач
	Владеет навыками применения электронных микроскопов для решения профессиональных задач
ПК-5.1 – Оценивает соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам;	Знает формулировки основных положений теории статического и динамического рассеяния света, различных приближений, их применимости.
	Умеет подготовить образцы к исследованиям
	Владеет навыками использования методики электронно-микроскопического анализа
ПК-5.2 – Прогнозирует и описывает процесс достижения заданного уровня свойств в материале	Знает формулировки основных положений теории статического и динамического рассеяния света, различных приближений, их применимости
	Умеет верно решить задачу применения методов микроскопии для описания свойств материала
	Владеет навыками на основе данных электронно-микроскопического анализа прогнозировать свойства материала

## II Трудоемкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы (108 академических часа), (1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам).

Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (10 час.) и практические занятия (24 час.), самостоятельная работа (74 час.). Дисциплина реализуется во 2 семестре на 1 курсе. Форма контроля зачет.

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Лаб	Практические работы
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения

Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Контроль	Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР		
1	МОДУЛЬ 1. Современные методы экспериментальных исследований конденсированных сред	2	5		6		24		УО-1, УО-3, Пр-6, ПР-4, ТС1
2	МОДУЛЬ 2. Методы обработки, анализа и моделирования экспериментальных данных	2	5		8		24		УО-1, УО-3, Пр-6, ПР-4, ТС1
3	МОДУЛЬ 3. МОДУЛЬ 3. Просвечивающая электронная микроскопия структуры и состава	2	0		6		26		УО-1, УО-3, Пр-6, ПР-4, ТС1
	Итого:		14		20		74		

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Характеристика теоретической части курса

Теоретическая часть курса направлена на освещение основных положений дисциплины «Методы микроскопии в материаловедении» в лекционной форме. В дальнейшем самостоятельная проработка конспектов лекций позволяет глубже освоить материал и применять его на практических занятиях.

**Лекционные занятия (10 час.)**

#### **МОДУЛЬ 1.**

**Современные методы экспериментальных исследований конденсированных сред (5 час.)**

### **Тема 1. Физические принципы современных научных приборов. (2 час.)**

Методы исследования структуры и свойств конденсированных сред. Взаимосвязь методов исследования и изучаемых свойств.

Взаимодействие излучения с веществом. Разрушающие и неразрушающие методы. Структурные, спектральные методы, масс-спектрометрические методы.

### **Тема 2. Электронно-микроскопические методы исследования структуры конденсированных сред (2 час.)**

Принципы геометрической оптики, электронная, рентгеновская оптика. Конструкция электронного микроскопа, его характеристики. Формирование изображений структуры объекта. Искажения экспериментальных данных, абберации.

Интерактивная демонстрация модели электронного микроскопа.

### **Тема 3. Методы исследования физических полей в электронной микроскопии (1 час.)**

Электромагнитные поля в конденсированных средах. Физические принципы регистрации результатов взаимодействия электронов с электромагнитными полями конденсированной среды.

## **МОДУЛЬ 2.**

### **Методы обработки, анализа и моделирования экспериментальных данных (5час.)**

#### **Тема 1. Методы обработки экспериментальных данных (2 час.)**

Понятие об обратном пространстве. Спектральные методы (Фурье) обработки изображений. Фильтрация в обратном и прямом пространстве и типы фильтров. Корреляционные методы. Томографические методы. Фрактальные и статистические методы.

Интерактивная демонстрация различных методов обработки изображений.

#### **Тема 2. Методы анализа электронно-микроскопических данных (2 час.)**

Метрологические аспекты электронно-микроскопических исследований. Тест-объекты и калибровки. Оценка достоверности данных.

Аппроксимация экспериментальных данных аналитическими зависимостями.

#### **Тема 3. Методы моделирования электронно-микроскопических данных (1 час.)**

Теоретические основы моделирования. Аналитические модели. Стохастические модели. Трехмерные модели структуры. Моделирование атомной структуры. Моделирование электронно-микроскопических изображений.

## **IV СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Характеристика практической части курса и самостоятельной работы**

Практическая часть курса и самостоятельная работа обучающихся являются дополняющими друг друга видами деятельности по освоению дисциплины «Методы микроскопии в материаловедении». Самостоятельная работа включает в себя разбор конспектов лекционного материала и предварительной индивидуальной и/или групповой подготовки предполагаемых к разбору на практических занятиях тем, подготовке рефератов, докладов.

### **Практические занятия (20 час.)**

#### **МОДУЛЬ 1.**

#### **Сканирующая электронная микроскопия (6 час.)**

##### **Практическое занятие 1. Основы сканирующей электронной микроскопии. (2 час.)**

Методы подготовки образцов к исследованию. Основные функции СЭМ. Основные элементы управления СЭМ. Детекторы в СЭМ. Начальная настройка: фокусировка и астигматизм. Исследование структуры поверхности, определение размеров объектов.

Получение изображений структуры поверхности тестового объекта. Определение размеров.

Отчет по работе.

##### **Практическое занятие 2. Сканирующая электронная микроскопия высокого разрешения. (2 час.)**

Методы подготовки образцов к исследованию на высоком разрешении. Ограничения, накладываемые природой исследуемых объектов и загрязнениями. Методы удаления загрязнений с поверхности объектов для СЭМ исследований. Методы работы с непроводящими объектами. Взаимосвязь рабочего расстояния, тока пучка, ускоряющего напряжения и разрешения в СЭМ. Влияние стабильности характеристик окружающей среды на разрешение.

Получение изображений структуры поверхности тестового объекта с высоким разрешением. Определение разрешения СЭМ.

Отчет по работе.

##### **Практическое занятие 3. Рентгеновский микроанализ и дополнительные методы в сканирующей электронной микроскопии. (2 час.)**

Типы спектрометров: энергодисперсионный и волновой. Параметры СЭМ для оптимального исследования состава объекта. Тест объекты и калибровки спектрометров. Получение элементного состава в точке, по линии и карты. Обработка результатов анализа состава. Электронная дифракция на отражение в исследовании фазового состава. Сканирующая просвечивающая микроскопия в СЭМ.

Получение элементного состава поверхности тестового объекта. Определение разрешения СЭМ.

Отчет по работе.

## **МОДУЛЬ 2.**

### **Фокусированный ионный пучок в исследовании структуры и состава (8 час.)**

#### **Практическое занятие 1. Основы микроскопии фокусированным ионным пучком. (4 час.)**

Методы подготовки образцов к исследованию. Основные функции ФИП. Основные элементы управления ФИП. Начальная настройка: фокусировка и астигматизм. Травление поверхности, определение размеров объектов. Взаимосвязь ускоряющего напряжения, тока ионного пучка и разрешения. Методы минимизации артефактов при модификации поверхности ионным пучком.

Получение изображений структуры поверхности созданного объекта. Определение размеров.

Отчет по работе.

#### **Практическое занятие 2. Пробоподготовка фокусированным ионным пучком. (2 час.)**

Методы подготовки образцов к исследованию на просвечивающем электронном микроскопе. Ограничения, накладываемые природой исследуемых объектов. Подготовка поперечного сечения объекта.

Получение поперечного сечения тестового объекта.

Отчет по работе.

#### **Практическое занятие 3. Масс-спектрометрический анализ химического состава в сканирующей электронной микроскопии. (2 час.)**

Масс-спектрометр вторичных ионов. Настройка ФИП Настройка спектрометра. Типы спектрометров: энергодисперсионный и волновой. Параметры СЭМ для оптимального исследования состава объекта. Получение элементного состава в точке, по линии и карты. Обработка результатов анализа состава.

Интерактивное получение элементного состава поверхности тестового объекта.

Отчет по работе.

## **МОДУЛЬ 3.**

### **Просвечивающая электронная микроскопия структуры и состава (6 час.)**

#### **Практическое занятие 1. Основы просвечивающей электронной микроскопии. (2 час.)**

Методы подготовки образцов к исследованию. Основные функции ПЭМ. Основные элементы управления ПЭМ. Начальная настройка: юстировка осветителя, фокусировка и астигматизм. Получение изображения в режиме дифракции. Светлопольный и темнопольный режим. Спектроскопия края потерь энергии электронов, Омега фильтр.

Получение изображений структуры поперечного сечения объекта. Определение размеров.

Отчет по работе.



## **Практическое занятие 2. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения. (2 час.)**

Юстировка ПЭМ для высокого разрешения. Настройка осветителя, коррекция астигматизма. Ограничения, накладываемые природой исследуемых объектов. Определение оси зоны для кристаллических объектов. Калибровка увеличений по решетке кремния.

Структура атомных плоскостей поперечного сечения тестового объекта (интерактивная форма).

Отчет по работе.

## **Практическое занятие 3. Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия. (2 час.)**

Юстировка режима СПЭМ. Кольцевой детектор темного поля – выбор режимов ADF и HAADF. Зависимость контраста от толщины и среднего атомного номера. Основы определения химического состава в СПЭМ.

Основы электронной томографии в режиме СПЭМ и ПЭМ.

Интерактивное получение элементного состава тестового объекта (интерактивная форма).

Отчет по работе.

## **V УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Методы микроскопии в материаловедении» включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### **План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине**

<b>№ п/п</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
1	1-2 неделя	Проработка конспекта лекций. Подготовка к практическим занятиям.	7 часов	УО-1, УО-3
2	3-4 неделя	Проработка конспекта лекций. Подготовка к практическим занятиям	7 часов	Пр-6, ПР-4

3	5-6 неделя	Проработка конспекта лекций. Подготовка к практическим занятиям	7 часов	ТС1
4	6-7 неделя	Проработка конспекта лекций. Подготовка к практическим занятиям	7 часов	УО-1, УО-3
5	8-9 неделя	Проработка конспекта лекций. Подготовка к практическим занятиям	7 часов	Пр-6, ПР-4
6	10-11 неделя	Проработка конспекта лекций. Подготовка к практическим занятиям	7 часов	ТС1
7	12-13 неделя	Проработка конспекта лекций. Подготовка к практическим занятиям	7 часов	УО-1, УО-3
8	14-15 неделя	Проработка конспекта лекций. Подготовка к практическим занятиям	7 часов	Пр-6, ПР-4
9	16-18 неделя	Проработка конспекта лекций. Подготовка к практическим занятиям	7 часов	ТС1
10	19-20 неделя	Проработка конспекта лекций. Подготовка к практическим занятиям	11 часа	УО-1, УО-3

### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Самостоятельная работа по дисциплине «Методы микроскопии в материаловедении» заключается в проработке конспектов лекций, подготовке рефератов, докладов.

### **Требования к представлению и оформлению рефератов**

Реферат относится к категории «письменная работа» и оформляется по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ.

Рефераты представляются в печатной и электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MSWord.

Структурно реферат, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

– Титульный лист – обязательная компонента реферата, первая страница (титульный лист реферата должен размещаться в общем файле, где представлен текст реферата);

- Основная часть – материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: пункты – подпункты и т. д. (рекомендуется в основной части реферата заголовки рубрик (подрубрик) давать исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных);
- Выводы – обязательная компонента реферата, содержит обобщающие выводы по работе;
- Список литературы – обязательная компонента реферата, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии).

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- интервал межстрочный – полуторный;
- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта - 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- выравнивание текста – «по ширине»;
- поля страницы: левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;
- нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).
- режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все приложения включаются в общую в сквозную нумерацию страниц работы.

## VI КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	МОДУЛЬ 1. Современные методы экспериментальных исследований конденсированных сред	<b>ПК-1.1</b> – Использует знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач  <b>ПК-5.1</b> – Оценивает соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам <b>ПК-5.2</b> – Прогнозирует и описывает процесс достижения заданного уровня свойств в материале	Знает основные принципы работы электронной и ионной микроскопии	Собеседование (УО-1), Доклад (УО-3)	Вопросы к зачёту № 1-3
			Умеет выбирать оптимальный алгоритм исследования основываясь на свойствах материала и задаче исследования	ЛР № 1-2 (Пр-6), Реферат (ПР-4)	Вопросы к зачёту № 4-7
			Владеет знаниями основных режимов электронно-микроскопического исследования структуры и навыками выбора оптимального режим исследования материала, основываясь на его свойствах и задаче исследования	Работа на оборудовании (ТС1)	Вопросы к зачёту № 8-15
2	МОДУЛЬ 2. Методы обработки, анализа и моделирования экспериментальных данных МОДУЛЬ 3. Просвечивающая электронная микроскопия структуры и состава	<b>ПК-1.1</b> – Использует знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач  <b>ПК-5.1</b> – Оценивает соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам <b>ПК-5.2</b> – Прогнозирует и описывает процесс достижения	Знает методы электронно-микроскопического оценивания готового изделия на соответствие потребительским характеристикам.	Собеседование (УО-1), Доклад (УО-3)	Вопросы к зачёту № 16-19
			Умеет пользоваться методами прогнозирования и описания процесса достижения заданного уровня свойств материалов основываясь на результатах электронно-микроскопических исследований	ЛР № 2-4 (Пр-6), Реферат (ПР-4)	Вопросы к зачёту № 20-22
			Владеет способностью собрать и провести сравнительный анализ данных электронно-микроскопических исследований материала, его структуре и свойствах, способах разработки новых материалов с заданными технологическими и функциональными	Работа на оборудовании (ТС1)	Вопросы к зачёту № 6-18

		заданного уровня свойств в материале	свойствами применительно к решению поставленных задач с использованием баз данных и литературных источников		
--	--	--------------------------------------	---	--	--

## **VII СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Панова, Т. В. Современные методы исследования вещества. Электронная и оптическая микроскопия : учебное пособие / Т. В. Панова. — Омск : Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2016. — 80 с. — ISBN 978-5-7779-2052-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/60748.htm> 1

Методы зондовой микроскопии : учебное пособие / Н. Б. Рыбин, Н. В. Рыбина, В. Г. Литвинов, А. В. Ермачихин. — Рязань : Рязанский государственный радиотехнический университет, 2014. — 48 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/121483.html>

Выполнение расчетно-графической работы по теме «Растровая электронная микроскопия» : учебно-методическое пособие / составители Д. В. Фомин, В. Л. Дубов. — Саратов : Вузовское образование, 2017. — 41 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/57256.html>

### **Дополнительная литература**

*(печатные и электронные издания)*

1. Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения : пер. с англ. / Дж. Спенс ; под ред. В. Н. Рожанского. Москва : Наука, 1986. 320 с.

ПОК НБ ДВФУ:

<https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:668653&theme=FEFU>

2. Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов / Б. Фульц, Дж. М. Хау ; пер. с англ. В. И. Даниленко Москва : Техносфера, 2011 903 с.

ПОК НБ ДВФУ:

<https://library.dvfu.ru/lib/document/EK/6476F060-65FE-45C2-AB8A-A41A66C7E823/>К.W. Andrews et.all Inrpretation of electron diffraction Patterns. II ed./London 1971. 239p.

3. Обработка и моделирование микроскопических изображений / Б. Н. Грудин, В. С. Плотников Владивосток : Дальнаука, 2010 349 с.

ПОК НБ ДВФУ:

<https://library.dvfu.ru/lib/document/EK/48D46EB0-66B8-49B3-9AE5-CCBA78DCD436/>

4. Справочник по вакуумной электронике. Компоненты и устройства / [Г. Баснер, К. Бланкенбах, Г.-Й. Блум и др.] ; под ред. Дж. Айхмайера, М. Тамма ; пер. с англ. Е. Б. Махияновой Москва : Техносфера, 2011 503 с., [4] л. цв. ил.

ПОК НБ ДВФУ:

<https://library.dvfu.ru/lib/document/EK/5C571969-A195-48E7-939C-682F724D8CB8/>

5. Справочник по микроскопии для нанотехнологии : пер. с англ. / Московский государственный университет, Научно-образовательный центр по нанотехнологиям ; под ред. Нан Яо, Чжун Лин Ван ; науч. ред. И. В. Яминский. Москва : Научный мир, 2011 711 с., [6] л. цв. ил.

ПОК НБ ДВФУ:

<https://library.dvfu.ru/lib/document/EK/D797FCA1-DA08-46AE-9ECC-8286D8DE95B6/>

6. Z.G.Pinsker Electron Diffraction/ London. 1953. 443p.

7. J.C.Spence Experimental High-Resolution Electron Microscopy/ Oxford. 1998. 427p.

8. D.Shindo, K.Hiraga High-Resolution electron Microscopy for Material Science/Springer. 1998. 190p.

9. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ под ред.Голштейн Кн.1-2. Пер.с англ./М.: Мир. 1984. 303с.

10. Дж.Каули Физика дифракции/М.:Мир. 1979. 432с.

11. H.Rose Geometrical Charged-Particle Optics ed.2 /Springer. 2012. 507p.

12. Earl J. Kirkland Advanced Computing in Electron Microscopy/Springer. 2010. 289p.

## **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Справочник по конструкционным материалам:  
<http://www.materialscience.ru/>

### **VIII МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **Рекомендации по планированию и организации времени, отведенного на изучение дисциплины**

Время, отведённое на самостоятельную работу, должно быть использовано обучающимся планомерно в течение семестра.

Планирование – важнейшая черта человеческой деятельности. Для организации учебной деятельности эффективным вариантом является использование средств, напоминающих о стоящих перед вами задачах, и их последовательности выполнения. В роли таких средств могут быть ИТ-технологии (смартфоны, планшеты, компьютеры и т.п.), имеющие приложения/программы по организации распорядка дня/месяца/года и сигнализирующих о важных событиях, например, о выполнении заданий по дисциплине «Методы микроскопии в материаловедении».

Регулярность – первое условие поисков более эффективных способов работы. Рекомендуется выбрать день/дни недели для регулярной подготовки по дисциплине «Методы микроскопии в материаловедении», это позволит морально настроиться на выполнение поставленных задач, подготовиться к ним и выработать правила выполнения для них, например, сначала проработка материала лекций, чтение первоисточников, затем выделение и фиксирование основных идей. Рекомендуемое среднее время два часа на одно занятие.

#### **Описание последовательности действий обучающихся при изучении дисциплины**

В соответствии с целями и задачами дисциплины студент изучает на занятиях и дома разделы лекционного курса, готовится к практическим занятиям, проходит контрольные точки текущей аттестации, включающие разные формы проверки усвоения материала (собеседование, тестирование и др.).

Освоение дисциплины включает несколько составных элементов учебной деятельности:

1. Внимательное чтение рабочей программы учебной дисциплины (помогает целостно увидеть структуру изучаемых вопросов). В ней содержится перечень контрольных испытаний для всех разделов и тем, включая экзамен; указаны сроки сдачи заданий, предусмотренных учебной программой курса дисциплины «Методы микроскопии в материаловедении».
2. Неотъемлемой составной частью освоения курса является посещение лекций и их конспектирование. Глубокому освоению лекционного материала способствует предварительная подготовка, включающая чтение предыдущей лекции, работу с учебниками.
3. Регулярная подготовка к практическим занятиям и активная работа на них, включающая:
  - повторение материала лекции по теме;
  - знакомство с планом занятия и списком основной и дополнительной литературы, с рекомендациями по подготовке к занятию;
  - изучение научных сведений по данной теме в разных учебных пособиях;
  - чтение первоисточников и предлагаемой дополнительной литературы;
  - посещение консультаций с целью выяснения возникших сложных вопросов при подготовке к практическим занятиям.
4. Подготовка к экзамену (в течение семестра), повторение материала всего курса дисциплины.

### **Рекомендации по работе с литературой**

Изучение дисциплины следует начинать с проработки тематического плана лекций, уделяя особое внимание структуре и содержанию темы и основным понятиям. Изучение «сложных» тем следует начинать с составления логической схемы основных понятий, категорий, связей между ними. Целесообразно прибегнуть к классификации материала, в частности при изучении тем, в которых присутствует большое количество незнакомых понятий, категорий, теорий, концепций, либо насыщенных информацией типологического характера.

При работе с литературой обязательно выписывать все выходные данные по каждому источнику. Можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц). Ищите аргументы «за» или «против» идеи автора.

Чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Её цель – извлечение из текста необходимой информации. От того на сколько



осознанна читающим собственная внутренняя установка (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия.

Используйте основные установки при чтении научного текста:

1. информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);
2. усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
3. аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
4. творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

Для работы с научными текстами применяйте следующие виды чтения:

1. библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;
2. просмотрное – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;
3. ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц, цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;
4. изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;
5. аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач. Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым или в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Основным для студента является изучающее чтение – именно оно позволяет в работе с учебной литературой накапливать знания в профессиональной области.

При работе с литературой можно использовать основные виды систематизированной записи прочитанного:

1. Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.
2. Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.
3. Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.
4. Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.
5. Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного.

### **Подготовка к практическим занятиям**

При подготовке к практическим занятиям рекомендуется пользоваться материалами лекций, рекомендованной литературой и ресурсами интернет. Вопросы, которые вызывают затруднение при подготовке, должны быть заранее сформулированы и озвучены во время занятий в аудитории для дополнительного разъяснения преподавателем. Ответы, выносимые на обсуждение, должны быть тщательно подготовлены и по ним составлена схема (план), которой студент пользуется на занятии. При ответе надо логически грамотно выражать и обосновывать свою точку зрения, свободно оперировать понятиями и категориями. При самостоятельном решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса.

### **Задание на дом к практическим занятиям**

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к научной дискуссии и групповому обсуждению полученных результатов. Защита реферата. Ответы на вопросы преподавателя.

### **Подготовка к сдаче коллоквиумов**

При подготовке к сдаче коллоквиума воспользуйтесь материалами лекций и рекомендованной литературой.

### Подготовка к экзамену

В процессе подготовки к экзамену, следует ликвидировать имеющиеся пробелы в знаниях, углубить, систематизировать и упорядочить знания. Особое внимание следует уделить организации подготовки к экзаменам. Для этого важны следующие моменты - соблюдение режима дня: сон не менее 8 часов в сутки; занятия заканчивать не позднее, чем за 2-3 часа до сна; прогулки на свежем воздухе, неустойчивые занятия спортом во время перерывов между занятиями. Наличие полных собственных конспектов лекций является необходимым условием успешной сдачи экзамена. Если пропущена какая-либо лекция, необходимо ее восстановить, обдумать, устранить возникшие вопросы, чтобы запоминание материала было осознанным. Следует помнить, что при подготовке к экзаменам вначале надо просмотреть материал по всем вопросам сдаваемой дисциплины, далее отметить для себя наиболее трудные вопросы и обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

## IX МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные занятия по дисциплине могут проводиться в следующих помещениях, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением, расположенных по адресу 690022, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10:

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы <sup>1</sup>	Оснащенность специальных помещений и помещений для проведения учебных занятий, для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебные аудитории для проведения учебных занятий:		
L325	Сканирующий электронный микроскоп с энергодисперсионным и волновым микроанализом, электронный микроскоп с фокусированным ионным пучком, просвечивающий электронный микроскоп, высокопроизводительные рабочие станции для моделирования и обработки результатов.	

<sup>1</sup> В соответствии с п.4.3. ФГОС

D501, D601	<p>Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; Компьютерный класс на 26 рабочих мест. Рабочее место: Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK</p>	
Помещения для самостоятельной работы:		
A1042 аудитория для самостоятельной работы студентов	<p>Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 115 шт.; Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox; Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C; Полноцветный копир-принтер-сканер Xerox WorkCentre 7530 (WC7530CPS Оборудование для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья: Дисплей Брайля Focus-40 Blue – 3 шт.; Дисплей Брайля Focus-80 Blue; Рабочая станция Lenovo ThinkCentre E73z – 3 шт.; Видео увеличитель ONYX Swing-Arm PC edition; Маркер-диктофон Touch Memo цифровой; Устройство портативное для чтения плоскопечатных текстов PEarl; Сканирующая и читающая машина для незрячих и слабовидящих пользователей SARA; Принтер Брайля Emprint SpotDot - 2 шт.; Принтер Брайля Everest - D V4; Видео увеличитель ONYX Swing-Arm PC edition; Видео увеличитель Topaz 24" XL стационарный электронный; Обучающая система для детей тактильно-речевая, либо для людей с ограниченными возможностями здоровья; Увеличитель ручной видео RUBY портативный – 2 шт.; Экран Samsung S23C200B; Маркер-диктофон Touch Memo цифровой.</p>	<p>Microsoft Windows 7 Pro MAGic 12.0 Pro, Jaws for Windows 15.0 Pro, Open book 9.0, Duxbury BrailleTranslator, Dolphin Guide (контракт № А238-14/2); Неисключительные права на использование ПО Microsoft рабочих станций пользователей (контракт ЭА-261-18 от 02.08.2018): - лицензия на клиентскую операционную систему; - лицензия на пакет офисных продуктов для работы с документами включая формат.docx , .xlsx , .vsd , .ptt.; - лицензия на право подключения пользователя к серверным операционным системам , используемым в ДВФУ : Microsoft Windows Server 2008/2012; - лицензия на право подключения к серверу Microsoft Exchange Server Enterprise; - лицензия на право подключения к внутренней информационной системе документооборота и portalу с возможностью поиска информации во множестве удаленных и локальных хранилищах, ресурсах, библиотеках информации, включая порталные хранилища, используемой в ДВФУ: Microsoft SharePoint; - лицензия на право подключения к системе централизованного управления рабочими станциями, используемой в ДВФУ: Microsoft System Center.</p>

## X ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### Оценочные средства для промежуточной аттестации

Код и наименование индикатора компетенции	Результаты обучения	Шкала оценивания промежуточной аттестации	
		Не зачтено	Зачтено
ПК-1.1 – Использует знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач	Знает взаимодействия заряженных частиц с веществом, об электронной оптике, конструкциях электронных микроскопов	Отсутствие знаний	Студент показал систематические знания, возможны не структурированные знания, представляющие собой связное, логическое раскрытие вопроса, возможны неточности в ответе на поставленный вопрос
	Умеет использовать знания о взаимодействии заряженных частиц с веществом, об электронной оптике, конструкциях электронных микроскопов для решения профессиональных задач	Отсутствие умений	Успешное или в целом успешное, но не систематическое умение в применении знаний для выполнения практических задач
	Владеет навыками применения электронных микроскопов для решения профессиональных задач	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Полностью или в целом сформированные навыки (владения), применяемые при решении практических задач
ПК-5.1 – Оценивает соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам;	Знает формулировки основных положений теории статического и динамического рассеяния света, различных приближений, их применимости.	Отсутствие знаний	Студент показал систематические знания, возможны не структурированные знания, представляющие собой связное, логическое раскрытие вопроса, возможны неточности в ответе на поставленный вопрос

	Умеет подготовить образцы к исследованиям	Отсутствие умений	Успешное или в целом успешное, но не систематическое умение в применении знаний для выполнения практических задач
	Владеет навыками использования методики электронно-микроскопического анализа	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Полностью или в целом сформированные навыки (владения), применяемые при решении практических задач
ПК-5.2 – Прогнозирует и описывает процесс достижения заданного уровня свойств в материале	Знает формулировки основных положений теории статического и динамического рассеяния света, различных приближений, их применимости	Отсутствие знаний	Студент показал систематические знания, возможны не структурированные знания, представляющие собой связное, логическое раскрытие вопроса, возможны неточности в ответе на поставленный вопрос
	Умеет верно решить задачу применения методов микроскопии для описания свойств материала	Отсутствие умений	Успешное или в целом успешное, но не систематическое умение в применении знаний для выполнения практических задач
	Владеет навыками на основе данных электронно-микроскопического анализа прогнозировать свойства материала	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Полностью или в целом сформированные навыки (владения), применяемые при решении практических задач

### Список вопросов к зачёту

1. Основные процессы при взаимодействии электронов с веществом. Рассеяние электронов. Генерация вторичных электронов.
2. Основные процессы при взаимодействии электронов с веществом. Характеристическое рентгеновское излучение. Тормозное рентгеновское излучение.
3. Основные процессы при взаимодействии электронов с веществом. Като�олюминесценция, генерация плазмонов и фононов. Радиационные повреждения.

4. Параметры электронного пучка. Интенсивность, когерентность, спектр. Источники электронов (электронные пушки).
5. Характеристики магнитных линз. Аберрации магнитных линз. Корректоры аберраций.
6. Разрешение электронного микроскопа. Глубина фокуса и глубина поля.
7. Системы регистрации электронов.
8. Вакуумная система электронного микроскопа.
9. Подготовка образцов. Основные виды загрязнений. Держатели образцов.
10. Рентгеновская спектрометрия (EDS). Спектрометры рентгеновского излучения. Полупроводниковые детекторы рентгеновского излучения.Arteфакты EDS. Пространственное разрешение в EDS.
11. Спектрометрия потерь энергии электронов (EELS). Пик нулевых потерь. Малые потери энергии. Область больших потерь.
12. Режимы просвечивающего электронного микроскопа в параллельном и сходящемся пучке. Дифракция выбранной области. Светлопольное и темнопольное изображение. Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия.
13. Режим дифракции. Кинематическое приближение. Закон Брэгга-Вульфа. Обратная решетка. Индексы Миллера-Вейса. Сфера Эвальда. Вектор отклонения. Атомный и структурный факторы рассеяния. Разрешенные и запрещенные рефлексы. Размерные эффекты в дифракции.
14. Динамическая дифракция. Экстинкция. Колонковое приближение.
15. Дифракция в сходящемся пучке. Кикучи-линии.
16. Контраст и изображение в просвечивающем электронном микроскопе. Контраст плотности и толщины. Z-контраст. Дифракционный контраст, двух-пучковая геометрия. Эффекты толщины и изгиба пленки.
17. Изображение плоских дефектов. Трансляционный контраст. Дефекты упаковки. Границы фаз.
18. Поля упругих напряжений. Контраст от одиночной дислокации. Дислокационные петли и диполи.
19. Матрица рассеяния.
20. Фазовый контраст. Просвечивающая микроскопия высокого разрешения.
21. Функция передачи электронного микроскопа.
22. Лоренцева просвечивающая электронная микроскопия.

## **Пример экзаменационного билета**

1. Системы регистрации электронов.
2. Основные процессы при взаимодействии электронов с веществом. Характеристическое рентгеновское излучение. Тормозное рентгеновское излучение.

## **Текущая аттестация**

### **Примеры тем для докладов (УО-3) и рефератов (ПР-4)**

#### **Модуль 1. Тема 1. Физические принципы современных научных приборов**

1. Передовые методы исследования структуры и свойств конденсированных сред. Современное развитие и тенденции методов.
2. Атомная томография (Atom probe tomography). Современное состояние. Принципы и ограничения. Получаемые данные.
3. Масс-спектрометрия в электронном микроскопе. Современное состояние. Принципы и ограничения. Получаемые данные.
4. Характеристическое рентгеновское излучение. Волновой метод регистрации. Современное состояние. Принципы и ограничения. Получаемые данные.

#### **Модуль 1. Тема 2. Электронно-микроскопические методы исследования структуры конденсированных сред**

1. Корректоры aberrаций в просвечивающем электронном микроскопе.
2. Дифракционные методы исследования структуры. Дифракция на отражение в СЭМ. Основы и характеристики метода. Получаемые результаты.
3. Сканирующий просвечивающий режим работы СЭМ. Основы и характеристики метода. Получаемые результаты.
4. Электронная томография. Основы и характеристики метода. Получаемые результаты.

#### **Модуль 1. Тема 3. Методы исследования физических полей в электронной микроскопии**

1. Лоренцева микроскопия.



2. Исследование магнитных полей в СЭМ.

### **Модуль 2. Тема 1. Методы обработки экспериментальных данных**

1. Обработка результатов исследования поверхности в программе ImageJ.
2. Обработка результатов исследования поверхности в программе Digital Micrograph.
3. Обработка результатов электронной томографии.

### **Модуль 2. Тема 2. Методы анализа электронно-микроскопических данных**

1. Вейвлет анализ электронно-микроскопических изображений.
2. Фурье преобразование и его использование в анализе электронно-микроскопических изображений.
3. Фильтрация изображений. Фильтры в прямом и обратном пространстве.
4. Статистический анализ электронно-микроскопических изображений.

### **Модуль 2. Тема 3. Методы моделирования электронно-микроскопических данных**

1. Методы моделирования атомной структуры.
2. Моделирование СЭМ в программе TRIM.
3. Использование GPU в моделировании электронно-микроскопических изображений.

### **Критерии оценивания докладов и рефератов**

Текущая аттестация студентов по дисциплине «Методы микроскопии в материаловедении», осуществляемая в докладов (УО-3) и рефератов (ПР-4), оценивается нижеприведённой шкалой.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если студент выразил своё мнение по сформулированной проблеме, аргументировал его, точно определив ее содержание и составляющие.; приведены данные отечественной и зарубежной литературы, статистические сведения, информация нормативно-правового характера; студент знает и владеет навыком самостоятельной исследовательской работы по теме исследования, методами и приёмами анализа теоретических и/или практических аспектов изучаемой области;

фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет; графически работа оформлена правильно.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если работа характеризуется смысловой цельностью, связностью и последовательностью изложения; допущено не более 1 ошибки при объяснении смысла или содержания проблемы; для аргументации приводятся данные отечественных и зарубежных авторов; продемонстрированы исследовательские умения и навыки; фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет; допущены 1-2 ошибки в оформлении работы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если студент проводит достаточно самостоятельный анализ основных этапов и смысловых составляющих проблемы; понимает базовые основы и теоретическое обоснование выбранной темы; привлечены основные источники по рассматриваемой теме; допущено не более 2 ошибок в смысле или содержании проблемы, оформлении работы.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если: если работа представляет собой пересказанный или полностью переписанный исходный текст без каких бы то ни было комментариев, анализа; не раскрыта структура и теоретическая составляющая темы; допущено три или более трех ошибок в смысловом содержании раскрываемой проблемы, в оформлении работы.

### **Пример работы на оборудовании (ТС-1)**

#### **Работа на СЭМ**

1. Закрепление тестового образца в держателе и на столике
2. Замена столика с образцом в сканирующем электронном микроскопе
3. Включение заданного режима исследования
4. Фокусировка и поиск области интереса на образце
5. Корректировка астигматизма
6. Фотографирование
7. Извлечение столика с образцом

#### **Обработка результатов**

1. Выбор оптимальных для дальнейшей обработки фотографий структуры из серии
2. Калибровка размеров изображения/пикселя в программе обработки (DM или ImageJ)

3. Подготовка изображения к статистической обработке (выравнивание яркости/бинаризация)
4. Статистический подсчет объектов
5. Обработка статистических данных (диаграммы/графики)
6. Выводы

### **Критерии оценивания работы на оборудовании**

Текущая аттестация студентов по дисциплине «Методы микроскопии в материаловедении», осуществляемая в практической работе (ТС-1), оценивается пропорционально объёму правильно выполненных заданий: «отлично» - 86-100 %; «хорошо» – 76-85 %; «удовлетворительно» – 61-75 %; «неудовлетворительно» – 60 % и менее.