

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра нанотехнологий и микросистемной техники**

**Авторы-составители: Семенова Оксана Рифовна  
Волынцев Анатолий Борисович**

Рабочая программа дисциплины

**СКАНИРУЮЩАЯ И ПРОСВЕЧИВАЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ**

Код УМК 83788

Утверждено  
Протокол №9  
от «13» мая 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в обязательную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **28.03.01** Нанотехнологии и микросистемная техника  
направленность Материалы микро- и наносистемной техники

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**28.03.01** Нанотехнологии и микросистемная техника (направленность : Материалы микро- и наносистемной техники)

**ПК.1** Способен исследовать и контролировать структуру вещества на атомно-молекулярном уровне с помощью различных инструментальных методов

#### **Индикаторы**

**ПК.1.2** Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне

**ПК.4** Способен проектировать и сопровождать изготовление опытных партий новых объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники

#### **Индикаторы**

**ПК.4.2** Контролирует результаты технологических процессов производства объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника (направленность: Материалы микро- и наносистемной техники)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	9
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	42
<b>Проведение лекционных занятий</b>	14
<b>Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку</b>	28
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	66
<b>Формы текущего контроля</b>	Письменное контрольное мероприятие (3)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (9 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия**

#### **1. Физические аспекты взаимодействия излучения с веществом**

##### **1. Физические методы исследования поверхности твердых тел**

Физические основы и методы, основанные на взаимодействии первичного излучения (теплого, рентгеновского, электрических и магнитных полей, потока фотонов и электронов, потока ионов и нейтральных атомов) с веществом. Физические основы и методы, основанные на анализе рассеянного или вторичного излучения.

##### **2. Введение в теорию электронного микроскопа**

Взаимодействие между излучением и веществом. Соотношение де Бройля (вывод и релятивистские поправки). Формирование изображения в просвечивающем электронном микроскопе.

#### **2. Просвечивающий электронный микроскоп**

##### **1. Устройство просвечивающего электронного микроскопа**

Общая характеристика. Устройство ПЭМ. Ход лучей в ПЭМ. Увеличение. Диафрагмы и их применение. Контраст и разрешение. Калибровка ПЭМ. Определение дифракционной постоянной электронного микроскопа. Высокорастворяющая ПЭМ.

##### **2. Применение ПЭМ**

Контраст изображения кристаллических объектов. Поле смещения дислокаций. Контраст от дислокационных пар. Определение вектора Бюргерса дислокаций и плотности дислокаций. Скопления точечных дефектов и радиационные повреждения. Выделения. Границы зерен и поверхности раздела. Определение размера зерна.

#### **3. Сканирующий электронный микроскоп**

##### **1. Сканирующая (растровая) электронная микроскопия (РЭМ)**

Основы сканирующей электронной микроскопии. Формирование увеличения. Устройство РЭМ. Детектор Зверхарта-Торкли. Твердотельные парные детекторы: Принцип работы. Назначение.

##### **2. Применение РЭМ**

Изучение поверхности изломов. Классификация изломов (внутризеренный скол, квазискол, межзеренное разрушение, усталостные бороздки). Вязкое разрушение. Ямочный контраст. Выявление типа приложенных напряжений. Коррозионное разрушение. Рентгеновский микроанализ.

#### **4. Прикладные аспекты электронной микроскопии**

##### **1. Возможные ошибки при анализе электронно-микроскопических изображений**

Артефакты. Радиационное повреждение поверхности. Загрязнения. Искажения.

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

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

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

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Шеин А. Б. Физические методы исследований (металлография, электронная микроскопия, электронная спектроскопия): учебное пособие / А. Б. Шеин. - Пермь, 2008, ISBN 978-5-7944-1174-4. - 108. - Библиогр. в конце глав
2. Панова Т. В. Современные методы исследования вещества. Электронная и оптическая микроскопия: Учебное пособие / Панова Т. В.. - Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2016, ISBN 978-5-7779-2052-2. - 80. <http://www.iprbookshop.ru/60748.html>
3. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение [Электронный ресурс] / ред.: У. Жу, Ж. Л. Уанга. - 3-е изд. - М. : Лаборатория знаний, 2017. - ISBN 978-5-00101-478-2 <https://elis.psu.ru/node/576781>

### Дополнительная:

1. Рыков Сергей Александрович Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур: Учеб. пособие / Под ред. В. И. Ильина, А. Я. Шика. - СПб.: Наука, 2001, ISBN 5-02-024956-4. - 52. - Библиогр.: с. 51
2. Евстратова Н. Н., Компанеев В. Т., Сухарникова В. А. Материаловедение: пособие / Н. Н. Евстратова, В. Т. Компанеев, В. А. Сухарникова. - Ростов н/Д: Феникс, 2006, ISBN 5-222-10260-2. - 268. - Библиогр.: с. 263

## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

<http://www.iprbookshop.ru/69545.html> Филимонова, Н. И. Методы электронной микроскопии

<http://www.iprbookshop.ru/88490.html> Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий

<http://www.iprbookshop.ru/60748.html> Панова, Т. В. Современные методы исследования вещества.

Электронная и оптическая микроскопия

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

Образовательный процесс по дисциплине **Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС) ;
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

1. Операционная система "ALT Linux".
2. Приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC».
3. Программы, демонстрации видео материалов (проигрыватель)«WindowsMediaPlayer».
4. Программа просмотра интернет контента (браузер) «Google Chrome» или аналогичных.
5. Офисный пакет приложений «LibreOffice».

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru)).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой или маркерной доской.

Лабораторные занятия проходят в лаборатории «Электронной микроскопии», оснащенной специализированным оборудованием. Состав оборудования определен в Паспорте лаборатории.

Текущий контроль осуществляется в аудитории, оснащенной меловой (и) или маркерной доской.

Групповые (индивидуальные) консультации проводятся в аудитории, оснащенной меловой (и) или маркерной доской.

К помещениям для самостоятельной работы студентов относятся:

- Аудитория для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью



подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

• Помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания**

**ПК.4**

**Способен проектировать и сопровождать изготовление опытных партий новых объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники**

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
<p><b>ПК.4.2</b> Контролирует результаты технологических процессов производства объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники</p>	<p>знать назначение и области применения различных видов микроскопов и их детекторов; знать методы подготовки объектов исследований для фрактографического и микрорентгеноспектрального анализов; уметь проводить общий анализ материалов с использованием электронной микроскопии (РЭМ, СЭМ) поликристаллов, определять требуемые параметры исследования; уметь выбирать метод микрорентгеноспектрального анализа для решения конкретной научно-исследовательской задачи; владеть методами оценки качества и интерпретации электронномикроскопических изображений объектов, относящихся к компонентам нано- и микросистемной техники.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Студент не знает назначение и области применения различных видов микроскопов и их детекторов, не знает основные методики интерпретации изображений объектов на электронных микроскопах, не способен проводить оценку качества и интерпретацию электронномикроскопических изображений объектов, относящихся к компонентам нано- и микросистемной техники.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Студент знаком с назначением и областями применения различных видов микроскопов и их детекторов, знаком с основными методиками интерпретации изображений объектов на электронных микроскопах, но не способен самостоятельно проводить оценку качества и интерпретацию электронномикроскопических изображений объектов, относящихся к компонентам нано- и микросистемной техники.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>Студент знает назначение и области применения различных видов микроскопов и их детекторов, знает основные методики интерпретации изображений объектов на электронных микроскопах, способен проводить оценку качества и интерпретацию электронномикроскопических изображений объектов, относящихся к компонентам нано- и микросистемной техники, но с помощью преподавателя.</p> <p align="center"><b>Отлично</b></p> <p>Студент знает назначение и области</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>применения различных видов микроскопов и их детекторов, знает основные методики интерпретации изображений объектов на электронных микроскопах, а так же способен самостоятельно проводить оценку качества и интерпретацию электронномикроскопических изображений объектов, относящихся к компонентам нано- и микросистемной техники.</p>

### ПК.1

**Способен исследовать и контролировать структуру вещества на атомно-молекулярном уровне с помощью различных инструментальных методов**

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1.2</b> Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне</p>	<p>знать устройство, принцип и порядок работы на просвечивающем и сканирующем электронных микроскопах; порядок работы в программном обеспечении сканирующего микроскопа; знать с методику приготовления образцов для исследования; уметь применять сканирующий электронный микроскоп для исследования параметров наноструктур.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Студент не знает основные понятия и устройство просвечивающего и сканирующего электронных микроскопов, не знаком с методикой приготовления образцов для исследования.</p> <p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Студент обладает общими, но не структурированными знаниями в назначении и области применения различных видов микроскопов. У студента есть представление о проведении общего анализа материалов с использованием электронной микроскопии поликристаллов, определении параметров исследования. Знаком с методикой приготовления образцов для исследования.</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>В целом у студента успешные, но содержащие отдельные пробелы, знания об основных понятиях и устройстве просвечивающего и сканирующего электронных микроскопов. Студент знаком с методикой приготовления образцов для исследования. Способен проводить интерпретацию кристаллического строения твердых тел по электронномикроскопическим снимкам с</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>помощью преподавателя.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Студент знает назначение и области применения различных видов микроскопов. Приобрел навыки изготовления угольных реплик для исследования в просвечивающем электронном микроскопе и образцов для сканирующего электронного микроскопа. Умеет проводить общий анализ материалов с использованием электронной микроскопии поликристаллов, определять параметры исследования. Владеет методами анализа и интерпретации электронномикроскопических изображений.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Зачет

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>ПК.1.2</b> Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне	1. Устройство просвечивающего электронного микроскопа <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знание о видах излучений, возникающих при взаимодействии падающего электронного пучка с веществом. Знание о различии в получении изображения в просвечивающем электронном и оптическом микроскопах. Знание устройства просвечивающего электронного микроскопа. Знание о требованиях к образцам для проведения исследований в просвечивающем электронном микроскопе.
<b>ПК.1.2</b> Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне	2. Применение РЭМ <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знание о видах излучений, возникающих при взаимодействии падающего электронного пучка с веществом. Знание о различии в получении изображения в растровом и просвечивающем электронных микроскопах. Знание устройства сканирующего (растрового) электронного микроскопа. Знание о требованиях к образцам для проведения исследований в сканирующем электронном микроскопе.

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Мероприятие текущего контроля</b>	<b>Контролируемые элементы результатов обучения</b>
<b>ПК.4.2</b> Контролирует результаты технологических процессов производства объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники	1. Возможные ошибки при анализе электронно-микроскопических изображений <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знание о видах и принципах работы детекторов, используемых при исследовании материалов на сканирующем электронном микроскопе. Знание о формировании спектров характеристического рентгеновского излучения. Знание о методах анализа локального состава сплава или покрытия. Знание о классификации видов изломов.

### **Спецификация мероприятий текущего контроля**

#### **1. Устройство просвечивающего электронного микроскопа**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **35**

Проходной балл: **15**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знание о различии в получении изображения в просвечивающем электронном и оптическом микроскопах.	10
Знание о требованиях к образцам для проведения исследований в просвечивающем электронном микроскопе.	10
Знание устройства просвечивающего электронного микроскопа.	10
Знание о видах излучений, возникающих при взаимодействии падающего электронного пучка с веществом.	5

#### **2. Применение РЭМ**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знание о различии в получении изображения в растровом и просвечивающем электронных микроскопах.	10
Знание устройства сканирующего (растрового) электронного микроскопа.	10
Знание о видах излучений, возникающих при взаимодействии падающего электронного	7

пучка с веществом.	
Знание о требованиях к образцам для проведения исследований в сканирующем электронном микроскопе.	3

### **1. Возможные ошибки при анализе электронно-микроскопических изображений**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **35**

Проходной балл: **15**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знание о методах анализа локального состава сплава или покрытия.	10
Знание о классификации видов изломов.	10
Знание о видах и принципах работы детекторов, используемых при исследовании материалов на сканирующем электронном микроскопе.	10
Знание о формировании спектров характеристического рентгеновского излучения.	5