

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования\_  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Методы исследований структуры и свойств материалов

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника

---

Направленность образовательной программы

Новые полупроводниковые технологии

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.02 Методы исследований структуры и свойств материалов относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-2: Способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике современные и эффективные методики экспериментального исследования параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	<p>ПК-2.1: Знает методики измерений параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p> <p>ПК-2.2: Способен совершенствовать и внедрять новые методы и методики измерений параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-2.3: Имеет навыки использования современных методик экспериментального исследования параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и наноэлектроники</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знать</p> <p>31: Знать теоретические основы рентгенофазового анализа, растровой электронной микроскопии и методов механических испытаний материалов (в частности, исследования ударной вязкости, релаксационных свойств материалов и ползучести)</p> <p>33: Знать требования техники безопасности при проведении практических работ с выбранными методами физических исследований.</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Уметь</p> <p>У1: Уметь использовать специализированные знания в области физики конденсированного состояния и оптических технологий для обоснования выбора оптимального способа решения поставленных задач.</p> <p>У2: использовать возможности современных методов физических исследований для решения сложных экспериментальных и теоретических физических задач в области исследования</p>	<p>Задачи</p> <p>Отчет по лабораторным работам</p> <p>Тест</p>	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

		<p>структуры и свойств материалов</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>В1: Владеть опытом использования современных методов исследования магнитооптических свойств полупроводниковых и металлических структур оптоэлектроники.</p>		
<p>ПК-4: Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, и способность обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач</p>	<p>ПК-4.1: Знает тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники</p> <p>ПК-4.2: Способен рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники</p> <p>ПК-4.3: Имеет навыки обоснованного выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и наноэлектроники</p>	<p>ПК-4.1:</p> <p>Знать</p> <p>31: методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-4.2:</p> <p>Уметь</p> <p>У1: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики конденсированного состояния и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.</p> <p>ПК-4.3:</p> <p>Владеть</p> <p>В1: опытом использования основных теоретических и экспериментальных методов изучения оптических и магнитооптических свойств полупроводниковых и металлических слоев</p>	<p>Задания</p> <p>Отчет по лабораторным работам</p>	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p>
<p>ПК-5: Готовность делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать</p>	<p>ПК-5.1: Знает методы анализа и систематизации результатов исследований, способы представления материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций</p> <p>ПК-5.2: Умеет методически грамотно излагать</p>	<p>ПК-5.1:</p> <p>Знать</p> <p>31: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач</p> <p>ПК-5.2:</p>	<p>Задания</p> <p>Отчет по лабораторным работам</p>	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

рекомендации по совершенствованию устройств и систем, методически грамотно излагать материал и представлять его в виде научных отчетов, публикаций, презентаций, методических пособий	материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций ПК-5.3: Имеет навыки анализа и систематизации результатов исследований, представления материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	Уметь У1: осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию  ПК-5.3: Владеть В1: инструментами для обработки и представления полученных экспериментальных данных. В2: навыками оформления отчетных документов по проведенным лабораторным работам (практическим задания) в соответствии с требованиями, установленными учебно-методическими материалами		
---	---	---	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>4</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>0</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>60</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>46</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>Экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	

			(практические занятия/лабораторные работы), часы		
	О Ф О	О Ф О	О Ф О	О Ф О	О Ф О
Тема 1: Рентгенофазовый анализ	25		20	20	5
Тема 2: Растровая электронная микроскопия	44		20	20	24
Тема 3: Методы механических испытаний материалов	37		20	20	17
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	0	60	62	46

### Содержание разделов и тем дисциплины

#### Тема 1: Рентгенофазовый анализ

Типы структурных элементов, рентгенодифракционный анализ, построение дифрактограмм, методика определения ошибок при проведении экспериментов, методика проведения эксперимента по рентгенофазовому анализу.

#### Тема 2: Растровая электронная микроскопия

Теоретические основы растровой электронной микроскопии, типы проводимых измерений, классы изучаемых материалов, возможные причины возникновения проблем и классификации проблем при проведении исследования, методика проведения экспериментальных исследований структуры и поверхностей разрушения с использованием растровой электронной микроскопии, метод дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD).

#### Тема 3: Методы механических испытаний материалов

Общие сведения о методах механических испытаний и видах испытательного и измерительного оборудования; релаксация механических напряжений, неупругость, модели неупругого тела, микропластичность, релаксационные испытания, кривая релаксации; ползучесть материалов, ползучесть и микропластичность, функция ползучести, кривая ползучести и ее виды, условные и истинные напряжения и деформации, эксперимент по исследованию ползучести металлов; ударная прочность, хрупко-вязкий переход, ударная вязкость разрушения, влияние формы концентратора напряжений на величину ударной вязкости, виды изломов при ударной пробе, экспериментальные исследования ударной вязкости разрушения.

Практические занятия (лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает выполнение цикла лабораторных работ, в которых студенты, предварительно изучив предоставленную литературу на, соответствующую тематике дисциплины, обсуждают с преподавателем предложенную им задачу, при этом преподаватель проверяет в форме группового собеседования теоретические знания студентов (степень их подготовки), и принимает решение о допуске к выполнению практической части или необходимости дальнейшей дополнительной подготовке студентов.

В ходе собеседования преподаватель может задавать вопросы для проверки знаний студентов и высказывать конструктивные критические замечания к озвученным ответам, просить студентов уделить особое внимание какому-нибудь аспекту рассматриваемого устройства, или дополнительно

ознакомиться/повторить содержательную часть предоставленных материалов.

В случае принятия решения о допуске к выполнению практической части работы, преподаватель в обязательном порядке знакомит студентов с правилами и техникой безопасности при работе, как с электрооборудованием, так и при работе с лазерными излучающими устройствами.

Самостоятельная работа студентов связана с применением компьютерных и информационно-коммуникационных технологий, а также современного исследовательского аналитического и технологического оборудования.

На проведение практических занятий (лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 60 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Выполнение научно-исследовательских задач профессиональной деятельности: Сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования, выбор методик и средств решения задачи. Подготовка научно-технических отчетов, обзоров, рефератов, публикаций по результатам выполненных исследований, подготовка и представление докладов на научные конференции и семинары. Фиксация и защита объектов интеллектуальной собственности. Разработка рабочих планов и программ проведения научных исследований и технических разработок, подготовка отдельных заданий для исполнителей. Использование физических эффектов при разработке новых методов исследований и изготовлении макетов измерительных систем.

Выполнение проектно-конструкторских задач профессиональной деятельности: Анализ состояния научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников. Определение цели, постановка задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготовка технических заданий на выполнение проектных работ. Проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований. Разработка проектно-конструкторской документации в соответствии с методическими и нормативными требованиями.

- компетенций:

– ПК-2. Способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике современные и эффективные методики экспериментального исследования параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.

– ПК-4. Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, и способность обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.

– ПК-5. Готовность делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, методически грамотно излагать материал и представлять его в виде научных отчетов, публикаций, презентаций, методических пособий.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий лабораторного типа.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 60 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение учебно-методического материала, основной и вспомогательной учебной литературы, перечень которой приведен в п.6 настоящей рабочей программы дисциплины.

Основной целью самостоятельной работы является подготовка к выполнению лабораторных работ и анализ результатов, полученных в ходе выполнения лабораторных работ.

Для проведения самостоятельной работы обучающимся предоставляются доступ к компьютерной технике и доступ к исследовательскому оборудованию (после сдачи допуска для работы с ним), перечень которого приведен в п.7 настоящей рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1. Дана пластина, выполненная из хрупкого материала, с центральным отверстием, находящаяся в условиях растяжения. Известно, что в качестве критерия локального разрушения для материала пластины можно использовать величину максимальной линейной деформации. *Подобрать в программном комплексе ANSYS WORKBENCH способ для описания развития процесса разрушения данного образца в указанных условиях.*
2. Дана пластина, выполненная из БрБ2 в твердом состоянии, с краевыми выточками, находящаяся в условиях растяжения. Известно, что в качестве критерия локального разрушения для материала пластины можно использовать величину интенсивности напряжений. *Подобрать в программном комплексе ANSYS WORKBENCH способ для описания развития процесса разрушения данного образца в указанных условиях.*
3. Медный образец растягивается при повышенных температурах. Известно, что в результате разрушения образца поверхность разрушения соответствует вязкому типу и разрушение определялось ростом пор. *Подобрать в программном комплексе ANSYS WORKBENCH модель для описания развития процесса разрушения данного образца в указанных условиях.*
4. В керамическую преграду из  $Al_2O_3$  влетает абсолютно твердый ударник. *Подобрать в программном комплексе ANSYS WORKBENCH модель для описания развития процесса деформирования и разрушения данного образца в указанных условиях*

5. В цилиндр, выполненный из сплава АМг5, влетает стальной ударник из стали 40Х. Подобрать в программном комплексе ANSYS WORKBENCH модель для описания развития процесса деформирования и разрушения данного образца в указанных условиях
6. Для указанных данных определить уравнение Периса
7. Оцените коротковолновую границу тормозного спектра рентгеновской трубки, работающей в режиме 50/40 кВ/мА.
8. Используя закон Мозли, оцените длины волн ХРИ, соответствующие МоКа.
9. Оценить минимальное межплоскостное расстояние в кристалле, отражение от которого может быть получено на дифрактограмме для длины волны первичного рентгеновского излучения, соответствующего FeKa ( $\lambda=1.93735 \text{ \AA}$ ).
10. Рассчитать теоретически угол  $\theta$ , под которыми появится линия [101] от кристалла сегнетовой соли в несегнетоэлектрической фазе при рентгено съемке в медном  $\alpha$  К $\alpha$ -излучении ( $\lambda= 0.154184 \text{ нм}$ ). Решетка кристалла ромбическая с параметрами  $a = 11.878 \text{ \AA}$ ,  $b = 14.246 \text{ \AA}$ ,  $c = 6.218 \text{ \AA}$ .

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	предполагает удовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса
не зачтено	предполагает неудовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса;

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

При проверке отчета по лабораторной работе преподавателем оценивается:

степень понимания целей работы, в том числе – умение соотнести цели и задачи работы (проекта) с более общими целями и задачами своей научно-исследовательской работы;

степень достижения поставленных целей (соответствие объема выполненной работы минимальным требованиям, установленным в учебном или учебно-методическом пособии);

качество и достоверность полученных экспериментальных результатов;

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

При проверке отчета по лабораторной работе преподавателем оценивается:

степень владения исследовательским оборудованием, а также специализированным программным обеспечением;



обоснованность полученных выводов (качество анализа полученных экспериментальных результатов, включая сопоставление полученных результатов с литературными данными, а также данными, полученными другими исследователями);

#### **5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-5:**

При проверке отчета по лабораторной работе преподавателем оценивается:

умение объяснить полученные результаты с использованием базовых и дополнительных источников, а также знаний, полученных при изучении профильных дисциплин;

умение представить полученные результаты (оформить отчет в соответствии с требованиями, изложенными в учебном или учебно-методическом пособии).

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	предполагает удовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса
не зачтено	предполагает неудовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса;

#### **5.1.5 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

**1. Какое соотношение справедливо для величин тока эмиссии  $i_e$  (emission current), тока пучка  $i_b$  (beam current) и тока зонда  $i_p$  (probe current)?**

- а)  $i_b > i_e > i_p$
- б)  $i_e > i_b > i_p$
- в)  $i_e < i_b < i_p$
- г)  $i_e < i_b < i_p$
- д)  $i_e > i_p > i_b$

**2. Как изменится ток зонда при увеличении электронной яркости катода в два раза (диаметр зонда и апертурный угол остаются постоянными)?**

- а) не изменится
- б) увеличится в 2 раза
- в) уменьшится в 2 раза
- г) увеличится в 4 раза
- д) уменьшится в 4 раза

**3. Как изменится диаметр зонда при увеличении электронной яркости катода в два раза (ток зонда и апертурный угол остаются постоянными)?**

- а) не изменится

- б) увеличится в 2 раза
- в) уменьшится в 2 раза
- г) увеличится в 4 раза
- д) уменьшится в 4 раза

**4. Как изменится ток зонда при уменьшении диаметра зонда в два раза (предполагается, что электронная яркость катода и апертурный угол остаются постоянными)?**

- а) не изменится
- б) увеличится в 2 раза
- в) уменьшится в 2 раза
- г) увеличится в 4 раза
- д) уменьшится в 4 раза

**5. Как изменится сечение упругого рассеяния при одновременном уменьшении атомного номера мишени и ускоряющего напряжения в два раза?**

- а) не изменится
- б) увеличится в 2 раза
- в) уменьшится в 2 раза
- г) увеличится в 4 раза
- д) уменьшится в 4 раза

**6. Как соотносятся между собой значения энергии вторичных (secondary) и отраженных (backscattered) электронов?**

- а) энергия вторичных электронов больше энергии отраженных электронов
- б) энергия вторичных электронов меньше энергии отраженных электронов
- в) энергия вторичных электронов примерно равна энергии отраженных электронов

**7. Как изменяется контраст от атомного номера для пар элементов в зависимости от значений их атомных номеров  $Z$  (разница  $Z_1 - Z_2$  остается постоянной, съемка проводится с использованием детектора отраженных электронов)?**

- а) контраст не изменится с увеличением  $Z_1$  и  $Z_2$
- б) контраст уменьшится с увеличением  $Z_1$  и  $Z_2$
- в) контраст увеличится с увеличением  $Z_1$  и  $Z_2$

**8. Каковы основные типы контраста, определяющие характер изображения при съемке с использованием детектора вторичных электронов?**

- а) топографический контраст
- б) кристаллографический контраст
- в) контраст от атомного номера

**9. Каковы основные типы контраста, определяющие характер изображения при съемке с использованием детектора отраженных электронов?**

- а) топографический контраст
- б) кристаллографический контраст
- в) контраст от атомного номера

**10. Как изменится длина волны электронов пучка при увеличении ускоряющего напряжения в 4 раза?**

- а) не изменится
- б) увеличится в 2 раза
- в) уменьшится в 2 раза
- г) увеличится в 4 раза
- д) уменьшится в 4 раза

**11. Каково соотношение между максимальной энергией кванта рентгеновского излучения, возникающего в процессе взаимодействия электронов пучка с образцом, и ускоряющим напряжением?**

- а) энергия кванта рентгеновского излучения равна энергии пучка электронов
- б) энергия кванта рентгеновского излучения меньше энергии пучка электронов
- в) энергия кванта рентгеновского излучения больше энергии пучка электронов

**12. Каково соотношение между энергиями К-, L- и M-линий ( $E_K$ ,  $E_L$  и  $E_M$ ) характеристического рентгеновского излучения, относящихся к одному химическому элементу?**

- а)  $E_K > E_L > E_M$
- а)  $E_K < E_L < E_M$
- а)  $E_L > E_K > E_M$
- а)  $E_L < E_K < E_M$
- а)  $E_K > E_M > E_L$

**13. Как соотносятся глубина генерации рентгеновского излучения и ускоряющее напряжение электронов?**

- а) глубина генерации рентгеновского излучения не зависит от ускоряющего напряжения электронов
- б) глубина генерации рентгеновского излучения растет с увеличением ускоряющего напряжения электронов
- в) глубина генерации рентгеновского излучения падает с увеличением ускоряющего напряжения электронов

**14. От каких параметров зависит спектральное разрешение энергодисперсионного рентгеновского микроанализатора?**

- а) от ускоряющего напряжения
- б) от времени обработки
- в) от мертвого времени
- г) от общего времени набора спектра

**15. Как связано суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре с ускоряющим напряжением (все прочие параметры набора рентгеновского спектра остаются постоянными)?**

- а) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре растет с увеличением ускоряющего напряжения

- б) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре падает с увеличением ускоряющего напряжения
- в) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре не зависит от ускоряющего напряжения
- г) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре может как расти, так и **падать** с увеличением ускоряющего напряжения

**16. Как связано суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре с величиной «spot size» (все прочие параметры набора рентгеновского спектра остаются постоянными)?**

- а) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре растет с увеличением величины «spot size»
- б) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре падает с увеличением величины «spot size»
- в) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре не зависит от величины «spot size»
- г) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре может как расти, так и падать с увеличением величины «spot size»

**17. Как связано суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре со значением «мертвого времени» (все прочие параметры набора рентгеновского спектра остаются постоянными)?**

- а) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре растет с увеличением «мертвого времени»
- б) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре падает с увеличением «мертвого времени»
- в) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре не зависит от «мертвого времени»
- г) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре может как расти, так и падать с увеличением «мертвого времени»

**18. Как связано суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре с размером апертурной диафрагмы (все прочие параметры набора рентгеновского спектра остаются постоянными)?**

- а) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре растет с увеличением размера апертурной диафрагмы
- б) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре падает с увеличением размера апертурной диафрагмы
- в) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре не зависит от размера апертурной диафрагмы
- г) суммарное количество импульсов в рентгеновском спектре может как расти, так и падать с увеличением размера апертурной диафрагмы

**19. Какие поправки учитываются при расчете концентрации элементов в случае проведения исследования состава образца методом энергодисперсионного рентгеновского микроанализа?**

- а) поправка на атомный номер

- б) поправка на поглощение
- в) поправка на величину «spot size»
- г) поправка на рентгеновскую флуоресценцию
- д) поправка на апертурную диафрагму

**20. Какое из утверждений, перечисленных ниже, является верным?**

- а) глубина генерации вторичных электронов, регистрируемых детектором, больше глубины генерации отраженных электронов, регистрируемых детектором
- б) глубина генерации вторичных электронов, регистрируемых детектором, меньше глубины генерации отраженных электронов, регистрируемых детектором
- в) глубина генерации вторичных электронов, регистрируемых детектором, равна глубине генерации отраженных электронов, регистрируемых детектором

**21. Каковы основные факторы, влияющие на величину сечения упругого рассеяния электронов? (ф-ла 3.4 стр. 23 Гоулдстейн)**

- а) угол рассеяния электрона
- б) ток зонда
- в) диаметр зонда
- г) атомный номер мишени
- д) энергия электрона

**22. Какие из перечисленных процессов вызваны неупругим рассеянием?**

- а) возбуждение электронов проводимости (вторичных электронов)
- б) ионизация атомов мишени
- в) возникновение тормозного рентгеновского излучения
- г) локальный нагрев образца
- д) генерация Оже-электронов

**23. Какие аспекты, относящиеся к взаимодействию рентгеновского излучения с образцом, учитываются при проведении количественного анализа состава методом трех поправок?**

- а) частичное поглощение рентгеновского излучения образцом;
- б) различная интенсивность  $K\alpha$ - и  $K\beta$ -линий рентгеновского излучения, относящихся к одному элементу;
- в) уменьшение интенсивности генерируемого рентгеновского излучения вследствие торможения и отражения электронов пучка атомами исследуемого образца;
- г) генерация рентгеновского излучения за счет вторичной флуоресценции;
- д) разная глубина генерации  $K\alpha$ - и  $L\alpha$ -линий рентгеновского излучения, относящихся к одному элементу.

**Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	предполагает удовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса

Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	предполагает неудовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса;

#### 5.1.6 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Изучение спектра разориентировок границ зерен перспективных конструкционных металлических и керамических материалов, полученных с использованием новых производственных технологий.
2. Рентгенофазный анализ перспективных конструкционных металлов, сплавов и керамик, полученных с использованием новых производственных технологий.
3. Исследование микропластичности нано- и ультрамелкозернистых металлов методом релаксационных испытаний.
4. Исследование ударной вязкости металлов и сплавов с использованием пробы Шарпи.
5. Исследование ползучести перспективных мелкозернистых металлов и сплавов при повышенных температурах.

#### 5.1.7 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-5:

1. Определение гранулометрического состава порошковых материалов с применением методики растровой электронной микроскопии.
2. Фрактографическое исследование металлических материалов.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	предполагает удовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса
не зачтено	предполагает неудовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса;

#### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

##### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				

компет							
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворитель</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена

	<b>но</b>	дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### **5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2**

1. Дайте определение отраженных электронов
2. Дайте определение вторичных электронов
3. Кванты рентгеновского излучения
4. Природа рентгеновский лучей
5. Получение рентгеновских лучей
6. Запишите уравнение Вульфа-Брэгга
7. Микропластичность. Определение
8. Что такое неупругость?
9. Что такое релаксация механических напряжений?
10. Как процесс релаксации связан с процессом ползучести?

#### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4**

1. Дайте определение метода дифракции обратно рассеянных электронов
2. Опишите методику расшифровки энергодисперсионных спектров
3. Чем обусловлен предел обнаружения при расшифровке энергодисперсионного спектра
4. Методы исследования состава с помощью микрорентгеновского анализа. Линейный анализ
5. Перечислите задачи рентгенофазового анализа
6. Что может являться объектами рентгенофазового анализа
7. Сколько стадий выделяют на кривой ползучести
8. Что такое ограниченная ползучесть?
9. Какова зависимость предела макроупругости от температуры?

#### **5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-5**

1. Какова зависимость предела текучести от температуры?
2. В чем причины различия температурных зависимостей предела макроупругости и предела текучести?
3. В чем причины сходства температурных зависимостей предела макроупругости и предела текучести?
4. Модель Максвелла описывает ползучесть или релаксацию?
5. Модель Фойгта описывает ползучесть или релаксацию?



6. Перечислите виды образцов при испытании на ударный изгиб.
7. Для чего нужна шкала определения волокнистой составляющей в изломе при ударном изгибе?
8. Дайте определение температуры хрупко-вязкого перехода.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

#### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

Основная литература:

1. Физика твердого тела : лаб. практикум : учеб. пособие для вузов : в 2 т. Т. 2. Физические свойства твердых тел / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского ; под ред. А. Ф. Хохлова. - 2-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2001. - 484 с. - ISBN 5-06-004022-4 (т. 2). - ISBN 5-06-004023-2 : 37.80., 37 экз.
2. Физика твердого тела : лаб. практикум : учеб. пособие для вузов : в 2 т. Т. 1. Методы получения твердых тел и исследования их структур / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского ; под ред. А. Ф. Хохлова. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2000. - 360 с. - 30.00., 100 экз.

3. Нотт Дж. Основы механики разрушения / пер. с англ. Д. В. Лаптева ; под ред. В. Г. Кудряшова. - М. : Металлургия, 1978. - 256 с. : ил. - 1.70., 2 экз.
4. Работнов Юрий Николаевич. Ползучесть элементов конструкций. - М. : Наука, 1966. - 725 с. : ил. - 3.06., 1 экз.
5. Лабораторный практикум по механике материалов и конструкций : учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности "Механика" / под ред. А. К. Любимова ; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2003. - 360 с. - ISBN 5-85746-495-1 : 41.00., 51 экз.
6. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия : учеб. для вузов по специальности "Физика металлов" и "Металловедение, оборудование и технология термической обработки металлов". - М. : Металлургия, 1982. - 631 с. : ил. - 1.40., 20 экз.
7. Чувильдеев Владимир Николаевич. Карты инженерных, технологических и эксплуатационных свойств материалов : учеб. пособие / В. Н. Чувильдеев, А. В. Семеньева ; ННГУ. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2020. - 396 с. - ISBN 978-5-91326-558-6 : 220.00., 2 экз.
8. Физико-механические свойства нано- и микрокристаллических металлов и сплавов, полученных методами интенсивного пластического деформирования : учебное пособие / под ред. В. Н. Чувильдеева ; ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2007. - 81 с. - В надзаг.: Приоритет. нац. проект "Образование". Инновационная образовательная программа Нижегород. ун-та: Образовательно-научный центр "Информационно-телекоммуникационные системы: физические основы и математическое обеспечение". - ISBN 978-5-91326-021-5 : 14.00., 2 экз.

#### Дополнительная литература:

1. Черепанов Геннадий Петрович. Механика хрупкого разрушения. - М. : Наука, 1974. - 640 с. - 4700.00., 6 экз.
2. Работнов Юрий Николаевич. Механика деформируемого твердого тела : [учеб. пособие для мех.-мат. и физ. специальностей ун-тов]. - 2-е изд., испр. - М. : Наука, 1988. - 711, [1] с. : ил. - 1.80., 12 экз.
3. Эгертон Рэй Ф. Физические принципы электронной микроскопии : Введение в просвечивающую, растровую и аналитическую электронную микроскопию / пер. с англ. С. А. Иванова. - М. : Техносфера, 2010. - 304 с. - (Мир физики и техники ; 2 - 18). - ISBN 978-5-94836-254-0 : 641.30., 1 экз.
4. Фрост Г. Дж. Карты механизмов деформации / пер. с англ. Л. М. Бернштейна. - Челябинск : Металлургия, Челяб. отд-ние, 1989. - 327, [1] с. : ил. - ISBN 5-229-00078-3 (в пер.) : 4.70., 1 экз.
5. Кларк Эшли Р. Микроскопические методы исследования материалов / пер. с англ. С. Л. Баженова ; РАН, Ин-т синтез. полимер. материалов им. Н. С. Ениколопова. - М. : Техносфера, 2007. - 376 с. - (Мир материалов и технологий ; 6 - 13). - ISBN 978-5-94836-121-5 : 115.00., 2 экз.

#### Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
3. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российская научная электронная библиотека «Elibrary», публикующая статьи, тематика которых совпадает с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.

4. <http://znanium.com> – сайт электронно-библиотечной системы «Znanium.com», содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Для выполнения лабораторных работ со стороны НИФТИ ННГУ предоставляется доступ к современному исследовательскому и технологическому оборудованию, необходимому для проведения практических занятий, в том числе:

Установка для испытания металлов на ползучести при повышенной температуре;  
Комплекс проведения релаксационных испытаний при комнатной температуре АКРИ-1;  
Маятниковый копер МК-30;  
Сосуд Дьюара СДП-5  
Рентгеновский дифрактомер ДРОН-УМ1  
интерференционные металлографические микроскопы Leica DM IRM для исследования макроструктуры сплавов.  
растровый электронный микроскоп Jeol JSM-6490 с энергодисперсионным микроанализатором INCA 350 и приставкой для EBSD

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника.

Автор(ы): Берендеев Николай Николаевич, кандидат физико-математических наук  
Андреев Павел Валерьевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Нохрин Алексей Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 09.01.2024, протокол № б/н.