МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра физики полупроводников



Рабочая программа дисциплины

НАНОДИАГНОСТИКА

направление подготовки: **03.04.02 Физика**
профиль (направленность) (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н. И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. 3

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. 4

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. 4

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. 5

5. Перечень учебной литературы. 7

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. 7

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. 7

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. 8

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. 8

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. 8

1. **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

Цель учебного курса **«Нанодиагностика»** – формирование у студентов базовых знаний о современных методах диагностики и развитие навыков проведения самостоятельных исследований структуры, химического состава, оптических и электрофизических свойств поверхности твердого тела, микро- и наносистем, умения анализировать информацию и использовать ее для качественных и количественных характеристик исследуемых объектов, ознакомление с основами метрологии твердотельных низкоразмерных систем и развития физических основ полупроводниковых нанотехнологий.
Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	**ПК 1.1** Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. **ПК 1.2** Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	**Знать** методы и способы постановки и решения задач характеризации нанообъектов методами современной нанодиагностики; общие принципы применения современного экспериментального диагностического оборудования для планирования и проведения научных экспериментов, в области материаловедения и нанотехнологий, основы диагностики полупроводниковых материалов и элементов изделий микроэлектроники, физики полупроводников, физики твердого тела, физики и технологии твердотельных низкоразмерных систем. **Уметь** самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи с использованием современных методов нанодиагностики и информационных технологий для характеризации объектов исследования; решать конкретные задачи по структурному и морфологическому анализу твердых тел, характеризации физико-химических процессов при формировании полупроводниковых, металлических и диэлектрических пленок, низкоразмерных структур, квантовых точек и проволок. **Владеть** навыками описания физических принципов, лежащих в основе современных диагностических методов; навыками постановки и решения

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		задач научных исследований с использованием методов нанодиагностики для характеризации микро- и наносистем для решения физических задач с помощью современных структурных методов.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

В результате изучения курса обучающиеся должны усвоить основы диагностики полупроводниковых материалов и элементов изделий микроэлектроники, физики полупроводников, физики твердого тела, физики и технологии твердотельных низкоразмерных систем. Кроме того, у студентов должно сформироваться умение применять современные методы характеризации наноразмерных объектов для решения физических задач; умение использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области диагностики; умение приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии.

Для успешного освоения курса «Нанодиагностика» студенты должны обладать предварительными знаниями основ теории твердого тела и физики полупроводников. В свою очередь, учебный курс «Нанодиагностика» предоставляет студентам теоретические знания и практические навыки, необходимые для изучения курсов «Физика полупроводниковых тонких слоев и низкоразмерных систем», «Радиационная физика», «Физические основы нанотехнологии», «Квантовый транспорт в низкоразмерных структурах».

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Трудоёмкость дисциплины составляет: 2 зачётные единицы, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 3 семестр – экзамен.

№		Вид деятельности	Семестр
			3
1		Лекции, ч	16
2		Практические занятия, ч	16
3		Лабораторные занятия, ч	-
4		Занятия в контактной форме, ч из них	36
5		аудиторных занятий, ч	32
6		в электронной форме, ч	-
7		консультаций, час.	2
8		промежуточная аттестация, ч	2
9		Самостоятельная работа, час.	36

10		Всего, ч	72

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

Программа и основное содержание лекций (16 часов)

Раздел 1. Прецизионная структурная диагностика наносистем и нанометрология (4 часа)
Прецизионная структурная диагностика наносистем. Анализ атомного строения, химического состава и дефектов структуры. Анализ основных закономерностей роста и дефектообразования в системах пониженной размерности. Установление корреляционных зависимостей между структурой и свойствами. Методы измерений параметров наноматериалов. Методы диагностики конденсированных материалов.
Нанодиагностика и нанометрология. Разработка стандартных образцов, методик измерений и государственных стандартов для обеспечения единства измерений в нанометровом диапазоне. Методы метрологии и сертификации. Метрология наноструктур. Международный стандарт. Государственный первичный и вторичный эталон. Методика выполнения измерений. Калибровка. Систематическая и случайная погрешность измерения.
Раздел 2. Базовые принципы электронной микроскопии (3 часа)
Взаимодействие электронного пучка с образцом. Упругое и неупругое рассеяние. Область взаимодействия пучка электронов с твердым телом. Дифракция быстрых и медленных электронов. Электронография. Кикучи-линии. Расшифровка дифракционных картин. Осцилляции интенсивности ДБЭ.
Электромагнитная и электростатическая линза. Сферическая и хроматическая аберрации. Астигматизм. Источники электронов. In situ методы характеризации. Сканирующая электронная микроскопия. Микроскопия медленных электронов. Ионная микроскопия.
Раздел 3. Просвечивающая электронная микроскопия (2 часа)
Просвечивающая электронная микроскопия. Высокоразрешающая электронная микроскопия. Аналитическая микроскопия. Основы дифракционного и фазового контраста. Предельное разрешение. Глубина поля и глубина фокуса. Темное и светлое поле. Препарирование образцов для ПЭМ. Отражательная электронная микроскопия. Моделирование и расчет электронно-микроскопических изображений. Анализ атомного строения наноструктур с помощью высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии с коррекцией сферической аберрации.
Раздел 4. Современная сканирующая зондовая микроскопия (2 часа)
Современная сканирующая зондовая микроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия и спектроскопия. Сканирующий оптический микроскоп ближнего поля. Магнитно-силовой микроскоп. Сканирующий электростатический микроскоп.
Раздел 5. Технологии изготовления твердотельных систем пониженной размерности (2 часа)
Технологии изготовления твердотельных систем пониженной размерности. Методы наноструктурирования на основе электронной и ионной литографии. Зондовые методы литографии. Литографический шаблон. Рентгеновская литография. Технология Ленгмюра-Блоджет.
Раздел 6. Современные методы интерферометрии и спектроскопии (3 часа)
Интерферометрия. Лазерная эллипсометрия. Инфракрасная спектроскопия. Фурье-спектрометрия. Спектроскопия комбинационного рассеяния. Метод EXAFS. Оже-спектроскопия. Электронная спектроскопия для химического анализа (ЭСХА), рентгено-фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Рентгеновские дифракционные методы.

Программа практических занятий (16 часов)

Занятие 1. Прецизионная структурная диагностика наносистем. Анализ атомного строения, химического состава и дефектов структуры. Анализ основных закономерностей роста и дефектообразования в системах пониженной размерности. Установление корреляционных зависимостей между структурой и свойствами. Методы измерений параметров наноматериалов. Методы диагностики конденсированных материалов. **(2 часа)**.

Занятие 2. Нанодиагностика и нанометрология. Разработка стандартных образцов, методик измерений и государственных стандартов для обеспечения единства измерений в нанометровом диапазоне. Методы метрологии и сертификации. Метрология наноструктур. Международный стандарт. Государственный первичный и вторичный эталон. Методика выполнения измерений. Калибровка. Систематическая и случайная погрешность измерения. **(2 часа)**.

Занятие 3. Взаимодействие электронного пучка с образцом. Упругое и неупругое рассеяние. Область взаимодействия пучка электронов с твердым телом. Дифракция быстрых и медленных электронов. Электронография. Кикучи-линии. Расшифровка дифракционных картин. Осцилляции интенсивности ДБЭ. **(1 час)**.

Занятие 4. Электромагнитная и электростатическая линза. Сферическая и хроматическая аберрации. Астигматизм. Источники электронов. In situ методы характеризации. Сканирующая электронная микроскопия (доклад-презентация). Микроскопия медленных электронов, ионная микроскопия (доклад-презентация). **(2 часа)**.

Занятие 5. Просвечивающая электронная микроскопия, высокоразрешающая электронная микроскопия (доклад-презентация). Аналитическая микроскопия. Основы дифракционного и фазового контраста. Предельное разрешение. Глубина поля и глубина фокуса. Темное и светлое поле. Препарирование образцов для ПЭМ. Отражательная электронная микроскопия (доклад-презентация). Моделирование и расчет электронно-микроскопических изображений, анализ атомного строения наноструктур с помощью высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии с коррекцией сферической аберрации (доклад-презентация). **(2 часа)**.

Занятие 6. Сканирующая туннельная микроскопия, сканирующий оптический микроскоп ближнего поля (доклад-презентация). Современная сканирующая зондовая микроскопия, атомно-силовая микроскопия и спектроскопия, магнитно-силовой микроскоп, сканирующий электростатический микроскоп (доклад-презентация). **(2 часа)**.

Занятие 7. Технологии изготовления твердотельных систем пониженной размерности. Методы наноструктурирования на основе электронной и ионной литографии. Зондовые методы литографии нанометрового диапазона (доклад-презентация). Литографический шаблон. Оптическая и рентгеновская литография (доклад-презентация). **(2 часа)**.

Занятие 8. Оптическая интерферометрия, лазерная эллипсометрия (доклад-презентация). Инфракрасная спектроскопия, Фурье-спектрометрия, спектроскопия комбинационного рассеяния (доклад-презентация). **(2 часа)**.

Занятие 9. Оже-спектроскопия, электронная спектроскопия для химического анализа (ЭСХА), рентгено-фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) (доклад-презентация). **(1 час)**.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	6
Подготовка доклада	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Рыков, Сергей Александрович. Сканирующая зондования микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур : [Учеб. пособие для вузов по направлению "Техн. физика"] / С.А. Рыков ; Под общ. ред. В.И. Ильина, А.Я. Шика. СПб. : Наука, 2001. 52 с., ISBN 5-02-024956-4 (14 экз.)
2. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля : Учеб. пособие для вузов по направлению подгот. "Прикл. математика и физика" / Д. Брандон, У. Каплан ; Пер. с англ. под ред. С.Л. Баженова / С доп. О.В. Егоровой = Microstructural Characterization of Materials. М. : Техносфера, 2004. 377 с., ISBN 0-471-98501-5 (18 экз.)

3. Юбилейный сборник избранных трудов Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (1964-2014), под редакцией А.В.Латышева, А.В.Двуреченского, А.Л.Асеева, Новосибирск, Параллель, 2014., ISBN 978-5-98901-144-5 (2 экз.)
4. Методы получения и свойства нанообъектов : учебное пособие : [для студентов, обучающихся по специальности "Нанотехнологии" / Н.И. Минько, В.В. Строкова, И.В. Жерновский, В.М. Нарцев Москва : Флинта : Наука, 2009 , ISBN 978-5-02-034741-0 (5 экз.)
5. Вудраф, Д. Современные методы исследования поверхности / Д. Вудраф, Т. Делчар ; Пер. с англ. Е.Ф. Шека / Под ред. В.И. Раховского = Modern Techniques of Surface Science. М. : Мир, 1989. 568 с., ISBN 0-521-30602-7 (4 экз.)
6. Миронов, Виктор Леонидович. Основы сканирующей зондовой микроскопии : Учеб. пособие для вузов / В. Миронов ; РАН, Ин-т физики микроструктур. М. : Техносфера, 2004. 143 с. , ISBN 5-94836-034-2 (5 экз.)
7. Уикли, Бренда С. Электронная микроскопия для начинающих / Б. С. Уикли ; пер. с англ. И. В. Викторова; под ред. и с предисл. В. Ю. Полякова. Москва : Мир, 1975. 324 с. (5 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Рыков, Сергей Александрович. Сканирующая зондования микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур : [Учеб. пособие для вузов по направлению "Техн. физика"] / С.А. Рыков ; Под общ. ред. В.И. Ильина, А.Я. Шика. СПб. : Наука, 2001. 52 с.
2. Методы получения и свойства нанообъектов : учебное пособие : [для студентов, обучающихся по специальности "Нанотехнологии" / Н.И. Минько, В.В. Строкова, И.В. Жерновский, В.М. Нарцев Москва : Флинта : Наука, 2009.
3. Вудраф, Д. Современные методы исследования поверхности / Д. Вудраф, Т. Делчар ; Пер. с англ. Е.Ф. Шека / Под ред. В.И. Раховского = Modern Techniques of Surface Science. М. : Мир, 1989. 568 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:
- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

Интернет-ресурсы:
- сайт кафедры физики полупроводников физического факультета НГУ (http://www.phys.nsu.ru/department/index.php/chairs/fpp)

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

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

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости осуществляется по оценочной системе в виде вопросов на знание материала предыдущих занятий и докладов студентов по избранным темам.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области исследований структуры, химического состава, оптических и электрофизических свойств поверхности твердого тела, микро- и наносистем в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Он проводится в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Критерии и шкалы оценивания индикаторов достижения результатов обучения отражены в Таблице 10.2.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	**Результат обучения по дисциплине**	**Оценочные средства**
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	**Знать** методы и способы постановки и решения задач характеризации нанообъектов методами современной нанодиагностики; общие принципы применения современного экспериментального диагностического оборудования для планирования и проведения научных экспериментов, в области материаловедения и нанотехнологий, основы диагностики полупроводниковых материалов и элементов изделий микроэлектроники, физики полупроводников, физики твердого тела, физики и технологии твердотельных низкоразмерных систем.	Опрос в начале каждой лекции, доклад, экзамен.
ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	**Уметь** самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи с использованием современных методов нанодиагностики и информационных технологий для характеризации объектов исследования; решать конкретные задачи по структурному и морфологическому анализу твердых тел, характеризации физико-химических процессов при формировании полупроводниковых, металлических и диэлектрических пленок, низкоразмерных структур, квантовых точек и проволок.	Опрос в начале каждой лекции, доклад, экзамен.

	Владеть навыками описания физических принципов, лежащих в основе современных диагностических методов; навыками постановки и решения задач научных исследований с использованием методов нанодиагностики для характеризации микро- и наносистем для решения физических задач с помощью современных структурных методов.	

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Нанодиагностика».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	**Шкала оценивания**
<u>Экзамен:</u> – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.	*Отлично*
<u>Экзамен:</u> – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	*Хорошо*
<u>Экзамен:</u> – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, а также затруднений при формулировке собственных суждений, – корректность применения терминов и понятий, с множественными ошибками, – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	*Удовлетворительно*

Экзамен: – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	*Неудовлетворительно*

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примеры тем докладов:

1. Сканирующая электронная микроскопия.
2. Отражательная электронная микроскопия.
3. Микроскопия медленных электронов.
4. Ионная микроскопия.
5. Просвечивающая электронная микроскопия.
6. Высокоразрешающая электронная микроскопия.
7. Моделирование и расчет электронно-микроскопических изображений.
8. Высокоразрешающая просвечивающая электронная микроскопия с коррекцией сферической аберрации.
9. Сканирующая туннельная спектроскопия и микроскопия. Сканирующий оптический микроскоп ближнего поля.
10. Современная сканирующая зондовая микроскопия. Атомно-силовая микроскопия и спектроскопия. Магнитно-силовой микроскоп. Сканирующий электростатический микроскоп
11. Оптическая и рентгеновская литография.
12. Зондовые методы литографии нанометрового диапазона
13. Оптическая интерферометрия.
14. Лазерная эллипсометрия.
15. Инфракрасная спектроскопия
16. Оже-спектроскопия.
17. Рентгено-фотоэлектронная спектроскопия.

Вопросы на экзамен

1. Прецизионная структурная диагностика наносистем. Метрология наноструктур. Анализ атомного строения, химического состава и дефектов структуры. Взаимодействие электронного пучка с образцом. Электростатическая линза. Просвечивающая электронная микроскопия. Оже-спектроскопия.
2. Методы диагностики конденсированных материалов. Разработка стандартных образцов, методик измерений и государственных стандартов. Предельное разрешающая способность микроскопа – критерий Релея. Хроматическая аберрация. Дифракция медленных электронов. Сканирующая туннельная микроскопия.
3. Анализ основных закономерностей роста и дефектообразования в системах пониженной размерности. Методы метрологии и сертификации. Дифракция быстрых электронов. Астигматизм. Дифракционный контраст в ПЭМ. Отражательная электронная микроскопия

4. Методы измерений параметров наноматериалов. Государственный первичный и вторичный эталон. Установление корреляционных зависимостей между структурой и свойствами. Сферическая аберрация. Разрешающая способность. Источники электронов. Электронография. Атомно-силовая микроскопия. Рентгеновская литография.
5. Методика выполнения измерений. Электронная пушка. Дифракция быстрых и медленных электронов. Сканирующая электронная микроскопия. Препарирование образцов. Оптическая интерферометрия. Вторичная ионная масс-спектрометрия.
6. Нанодиагностика и нанометрология. Просвечивающая электронная микроскопия. Темное и светлое поле. Глубина поля и глубина фокуса. Сканирующий электростатический микроскоп. Методы наноструктурирования на основе электронной и ионной литографии.
7. Высокоразрешающая электронная микроскопия. Основы дифракционного и фазового контраста. Моделирование и расчет электронно-микроскопических изображений. Магнитно-силовой микроскоп. Лазерная эллипсометрия. Технология Ленгмюра-Блоджет.
8. In situ методы характеризации. Систематическая и случайная погрешность измерения. Технологии изготовления твердотельных систем пониженной размерности. Сканирующий оптический микроскоп ближнего поля. Геометрия электронограмм. Инфракрасная спектроскопия.
9. Методы структурной диагностики. Международный стандарт. Сканирующая зондовая микроскопия. Электромагнитная и электростатическая линза. Кикучи-линии. Микроскопия медленных электронов. Ионная микроскопия. Фурье-спектрометрия.
10. Высокоразрешающая просвечивающая электронная микроскопия с коррекцией сферической аберрации. Калибровка. Упругое и неупругое рассеяние электронов. Расшифровка дифракционных картин. Осцилляции интенсивности ДБЭ. Литографический фотошаблон.
11. Анализ атомного строения наноструктур. Обеспечения единства измерений в нанометровом диапазоне. Зондовые методы нанолитографии. Спектроскопия комбинационного рассеяния. Рентгеновские дифракционные методы. Темное и светлое поле в ПЭМ. Метод EXAFS.
12. Методы исследования структуры твердых тел. Аналитическая электронная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия и спектроскопия. Электронная спектроскопия для химического анализа (ЭСХА), рентгено-фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Теория контраста ПЭМ-изображений.

Пример билета на экзамен

1. Прецизионная структурная диагностика наносистем. Метрология наноструктур. Анализ атомного строения, химического состава и дефектов структуры.
2. Взаимодействие электронного пучка с образцом. Электростатическая линза. Просвечивающая электронная микроскопия. Оже-спектроскопия.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.