

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 диагностики и анализа микро-и наносистем

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника

Направленность образовательной программы

Твердотельная электроника и нанoeлектроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.02 Методы диагностики и анализа микро-и наносистем 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 нанoeлектроники различного функционального назначения	<p>ПК-2.1: Знает методики измерений параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и нанoeлектроники 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 нанoeлектроники</p> <p>ПК-2.3: Имеет навыки использования современных методик экспериментального исследования параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и нанoeлектроники</p>	<p>ПК-2.1: Должен знать основы вакуумной техники, сравнивать методы электронной спектроскопии и микроскопии, масс-спектрометрии, которые используются для исследования наноструктурированных систем и устройств нанoeлектроники.</p> <p>ПК-2.2: Должен уметь применять необходимые режимы работы электронного спектрометра и микроскопа в зависимости от исследуемых наноматериалов и структур, использовать математический аппарат для обработки спектральных данных и микроскопических изображений.</p> <p>ПК-2.3: Должен уметь анализировать электронные спектры и микроскопические изображения для исследования химического состава твердотельных наноструктур.</p>	Отчет по лабораторным работам	Экзамен: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	49
Промежуточная аттестация	45 Экзамен

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			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Сравнительные характеристики аналитических методов	3.5	1.5		1.5	2
Введение в спектроскопию заряженных частиц	2.5	0.5		0.5	2
Физические основы электронной оже-спектроскопии	3.5	1	0.5	1.5	2
Интерпретация оже-спектров	7	3	1	4	3
Оборудование электронной оже-спектроскопии	2.5	1	0.5	1.5	1
Физические основы рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии	4	1	1	2	2
Интерпретация фотоэлектронных спектров	8	4	1	5	3
Оборудование рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии	5	1	1	2	3
Математическая обработка спектральных данных	14	6	3	9	5
Контраст в растровой электронной микроскопии	6	3	1	4	2
Оборудование растровой электронной микроскопии	4	1	1	2	2
Сканирующая оже-микроскопия	6	3	1	4	2
Источник ионов	4.5	0.5	1	1.5	3
Физические принципы ионного распыления	4.5	1.5	1	2.5	2
Основы вакуумной техники	4.5	0.5	1	1.5	3

Вакуумные насосы. Вакууметры	3.5	0.5	1	1.5	2
Общие требования к образцам	3	0.5	0.5	1	2
Методы препарирования образцов	3	0.5	0.5	1	2
Вторично-ионная масс-спектрометрия	2.5	0.5		0.5	2
Масс-анализаторы	3	1		1	2
Ионизация материала образца	2.5	0.5		0.5	2
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	144	32	16	50	49

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение в современные диагностические и аналитические методы

Сравнительные характеристики аналитических методов: электронной-оже спектроскопии рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, растровой электронной микроскопии, сканирующей оже-микроскопии, просвечивающей электронной микроскопии, вторично-ионной масс-спектрометрии, рентгеновского микроанализа, рентгеновской дифракции, атомно-абсорбционной спектроскопии, атомно-эмиссионной спектроскопии, атомно-флуоресцентной спектроскопии, фурье-спектроскопии, спектроскопии фотолюминесценции, спектроскопии фотопроводимости, сканирующей зондовой микроскопии. Сравнение методов спектроскопии заряженных частиц с методами спектроскопии электромагнитного излучения.

Введение в спектроскопию заряженных частиц. Общие принципы аналитических методов электронной и ионной спектроскопии.

2. Электронная оже-спектроскопия

Физические основы ЭОС. Энергия оже-перехода. Вероятность оже-процесса. Ширина оже-пики.

Глубина выхода оже-электрона. Типичный спектр вторичных электронов.

Интерпретация оже-спектров. Тонкая структура оже-спектров: химический сдвиг, мультиплетное расщепление, плазмонные потери.Arteфакты оже-спектров. Качественный и количественный анализ.

Методы эталонных образцов, факторов относительной чувствительности, градуировочной кривой.

Оборудование ЭОС. Сверхвысоковакуумная система. Анализатор кинетической энергии электронов типа «цилиндрическое зеркало». Полусферический анализатор энергии. Формула анализатора. Режимы работы полусферического анализатора.

3. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия

Физические основы РФЭС. Соотношение между кинетической энергией фотоэлектрона, энергией первичного ХРИ и энергией связи на электронном уровне. Ширина фотоэлектронных линий. Глубина выхода фотоэлектронов. Типичный фотоэлектронный спектр.

Интерпретация фотоэлектронных спектров. Тонкая структура фотоэлектронных спектров: химический сдвиг, оже-серии, мультиплетное расщепление, сателлиты встряски и стряхивания, плазмонные потери, спектр валентной зоны. Arteфакты фотоэлектронных спектров: рентгеновские сателлиты и духи. Фон в спектре фотоэлектронов.

Оборудование РФЭС. Требования к вакуумной системе и образцам. Источник рентгеновского излучения. Устройство комбинированного Al/Mg анода.

4. Математическая обработка спектральных данных

Методы вычитания фона, сглаживания и дифференцирования спектра. Работа с атласами эталонных спектров. Изучение программного обеспечения обработки спектральных данных. Аппроксимация спектров функциями Гаусса и Лоренца. Методика количественного анализа химических соединений на основе спектров фотоэлектронов.

5. Растровая электронная микроскопия

Контраст в РЭМ. Взаимодействие пучка первичных электронов с материалом образца. Топографический контраст. Контраст в обратнорассеянных электронах. Вольтовый контраст. Магнитный контраст. Контраст в наведенных электронах. Каналирование.

Оборудование РЭМ. Виды катодов. Устройство электронной пушки. Положения кроссовера и ток электронного пучка. Принцип формирования развертки и детектирование сигнала от вторичных электронов.

6. Сканирующая оже-микроскопия

Объединенный метод растровой электронной микроскопии и электронной оже-спектроскопии для изучения состава в нанометровом масштабе. Принцип действия. Алгоритмы работы. Режим локальной оже-спектроскопии и режим картирования состава. Общая схема сканирующего оже-микроскопа.

7. Ионное профилирование состава

Источник ионов. Принцип работы. Работа вакуумной системы при проведении ионного травления. Физические принципы ионного распыления. Взаимодействие ионного пучка с материалом образца. Разрешение по глубине при профилировании и погрешность определения глубины анализа.

8. Высоковакуумное оборудование

Основы вакуумной техники. Требования, предъявляемые к материалам и устройствам, способу изготовления и обработки, в области высоковакуумного оборудования. Виды фланцев и прокладок к ним. Применение отжига для создания сверхвысоковакуумного вакуума.

Вакуумные насосы. Вакуумметры. Насосы для сверхвысоковакуумного оборудования: роторный форвакуумный, турбомолекулярный, диффузионный, ионно-геттерный, сублимационный. Вакуумметры ионизационные, мембранно-емкостные, термопарные, тепловые.

9. Подготовка образцов для методов электронной спектроскопии

Общие требования к образцам. Требования, обусловленные сверхвысоковакуумным оборудованием. Требования, определяемые методами изучения образцов.

Методы препарирования образцов. Предварительная подготовка образцов: механическая и ионная очистка. Подготовка образцов в вакууме: ионная и термическая обработка, скалывание. Исследования *in situ*. Процесс загрузки образца в сверхвысоковакуумный объем.

10. Вторично-ионная масс-спектроскопия

Вторично-ионная масс-спектроскопия. Взаимодействие первичных ионов с анализируемым веществом. Фокусированный ионный пучок. Аппаратная часть вторично-ионного масс-спектрометра.

Масс-анализаторы. Общая схема масс-спектрометра. Разрешающая способность масс-анализа, пространственное разрешение вторично-ионного масс-спектрометра. Принцип разделения ионов по массе в магнитном и электрическом полях. Времяпролетный, радиочастотный и квадрупольный масс-анализаторы. Сравнительные характеристики масс-анализаторов.

Ионизация материала образца. Ионизация электронным ударом. Фотоионизация. Ионизация в электрическом поле. Ионизация лазерным излучением. Ионизация ионным ударом.

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 - 16 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.

1) Полупроводниковые гетероструктуры: гетеропереход. Учебно-методическое пособие. /Сост. П.А. Шиляев, Д.А. Павлов. – Н.Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2009. – 18 с.
http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/13_semiconductors_heterotransition.pdf

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 - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Типовые вопросы для допуска к лабораторным работам

1. Подходы к нахождению полного момента количества движения в рамках концепции jj и LS .
2. Физические принципы, лежащие в основе методов РФЭС и ЭОС. Глубина выхода оже- и фотоэлектронов.
3. Типичный спектр в методах электронной спектроскопии. Особенности, наблюдаемые на спектрах.
4. Химический сдвиг в методах электронной спектроскопии.
5. Тонкая структура оже- и фотоэлектронных спектров. Оже-параметр.
6. Артефакты оже- и фотоэлектронных спектров.
7. Зарядка образца, методы её устранения и коррекции на спектрах.
8. Типы анализаторов энергий электронов, применяющихся в методах электронной спектроскопии. ПСА и режимы его работы.
9. Обработка и интерпретация спектров, получаемых в методах электронной спектроскопии
10. Детекторы в методах электронной спектроскопии.
11. Рентгеновские источники. Чем обусловлен выбор Mg и Al в качестве основных материалов при изготовлении анодов?
12. Монохроматизация рентгеновского излучения.
13. Спектральное разрешение в методах ЭОС и РФЭС.
14. Применения ионного травления в методах электронной спектроскопии. Принцип работы источника ионов.
15. Разрешение по глубине при послойном анализе структур методами электронной спектроскопии совместно с ионным распылением.
16. Юстировка ионного, электронного зонда и фокуса анализатора энергий электронов.
17. Электронная колонна в методе РЭМ. Электронная пушка, фокусирующая система.
18. Пространственное разрешение в методе РЭМ. Виды аберраций.
19. Взаимодействие электронного пучка с материалом образца.
20. Механизм формирования топографического контраста в РЭМ. Виды контрастов.
21. Детекторы в РЭМ.
22. Математическая обработка РЭМ-изображений.
23. Метод сканирующей оже-микроскопии. Локальный элементный анализ в СОМ.
24. Получение карты распределения в СОМ.

25. Вакуумная система для методов электронной спектроскопии и микроскопии.
26. Принцип работы вакуумметра.
27. Предварительная обработка образцов перед загрузкой образцов в вакуумный объём.
28. Процесс загрузки образца в вакуумный объём.
29. СВВ комплекс Omicron Multiprobe RM. Общая схема.
30. Принцип работы спектрометра в Multiprobe RM.
31. Принцип работы РЭМ и СОМ в Multiprobe RM.

Практические задания для лабораторного практикума

Каждое задание присутствует в 4 вариантах, и, соответственно, слушатели делятся на 4 подгруппы.

Задание 1. Математическая обработка и качественный химический анализ в методе рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии

- а) Подстроить гауссианы для полученных спектров с учетом химического сдвига. Учесть наличие или отсутствия дублета.
- б) Определить для данных элементов по интегральной интенсивности гауссиан соотношение компонент, находящихся в соответствующих химических состояниях для данных элементов

Задание 2. Локальный анализ методом сканирующей оже-микроскопии

- а) Идентифицировать оже-линии в полученных спектрах и определить элементы, содержащиеся в образце.
- б) По оже-линии определить в атласе коэффициенты относительной элементной чувствительности.
- в) Построить профиль распределения концентраций элементов, по глубине используя метод факторов относительной чувствительности.
- г) Дать описание полученному профилю распределения: описать полученные результаты, объяснить, как может влиять на профиль распределения ионное травление и поверхностная зарядка
- д) Сравнить полученные результаты локального анализа в дефекте и в области между ними.

Задание 3. Профилирование состава твердотельных структур по глубине методами электронной спектроскопии с ионным распылением

- а) Найти каким элементам принадлежат представленные фотоэлектронные линии, используя атлас эталонных спектров.
- б) Построить профиль распределения концентрации элементов по глубине структуры, измеряя интегральную интенсивность фотоэлектронных линий.
- в) Провести анализ полученного профиля распределения концентрации по глубине.

Задание 4. Калибровка растрового электронного микроскопа

Представлены РЭМ-изображения образца, полученные при различном ускоряющем напряжении на пушке и различном увеличении электронно-оптической системы. Величина ускоряющего напряжения на пушке влияет на увеличение. Определить реальный размер пикселя (нм) и всего РЭМ-изображения (мкм) по нескольким периодам на изображении, а также рассчитать погрешность. При определении размера пикселя необходимо убрать из рассмотрения периоды, захватывающие левый край скана, так как в этой области присутствуют нелинейные искажения, а при определении размера скана искажениями пренебречь.

Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Даны ответы на контрольные вопросы, предоставлен отчет об анализе экспериментальных данных.
не зачтено	Не предоставлен отчет об анализе экспериментальных данных.

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

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<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	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

			объеме	некоторые с недочетами	недочетами	и, выполнены все задания в полном объеме	
<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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	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».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	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. Сравнительные характеристики методов диагностики и анализа микро- и наносистем. Разновидности аналитического сигнала, пространственное и спектральное разрешение, чувствительность и ошибка, трудоемкость и экспрессность, пр. Влияние состава на свойства вещества и наноструктурированных материалов

2. Взаимодействие электронного пучка с поверхностью твердого тела и возникающие при этом виды аналитического сигнала. Методы диагностики, реализованные на этом взаимодействии
3. Физические основы метода электронной оже-спектроскопии. Энергия и вероятность оже-переходов, глубина анализа. Типичный спектр в ЭОС
4. Интерпретация оже-спектров. Тонкая структура и артефакты на спектрах. Методы учета спектральных артефактов и борьбы с ними
5. Качественный и количественный анализ в методе электронной оже-спектроскопии. Методы и пошаговый алгоритм количественного анализа.
6. Физические основы метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Энергия фотоэлектронов, глубина анализа. Типичный спектр в РФЭС. Соотношение на спектре между кинетической энергией фотоэлектрона, энергией первичного ХРИ и энергией связи на электронном уровне
7. Интерпретация фотоэлектронных спектров. Тонкая структура и артефакты на спектрах. Методы учета спектральных артефактов и борьбы с ними.
8. Качественный и количественный анализ в методе рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Методы и пошаговый алгоритм количественного анализа
9. Устройство источника ХРИ в методе рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Принцип работы комбинированного Al/Mg анода
10. Принцип действия, формулы и сравнительные характеристики анализатора типа "цилиндрическое зеркало" и полусферического анализатора кинетических энергий электронов, не включая подробное описание работы (режимы) ПСА
11. Полусферический анализатор. Принцип работы, режимы и их выбор. Оптическая система анализатора. Пространственное и энергетическое разрешение. Сохранение абсолютного и относительного разрешения по энергии
12. Математическая обработка фотоэлектронных спектров. Источники помех и искажений на спектрах и способы их устранения. Фон. Работа с атласами эталонных спектров. Аппроксимация фотоэлектронных линий математическими функциями. Критерии правильности разложения спектральных линий
13. Виды детекторов в методах электронной спектроскопии. Принцип работы блока канальных вторично-электронных умножителей с несколькими детекторами.
14. Виды контраста в методе растровой электронной микроскопии. Аналитический сигнал и применение различных режимов работы РЭМ. Математическая обработка РЭМ-изображений
15. Устройство электронной пушки. Положения кроссовера и изменение тока электронного пучка.
16. Методика подготовки образцов для методов электронной спектроскопии и микроскопии, реализованных в условиях сверхвысокого вакуума. Дополнительные методы подготовки образца в вакууме.
17. Сканирующий оже-микроскоп. Принцип работы и режимы микроскопа/спектрометра. Картирование элементного состава поверхности. Общая схема сканирующего оже-микроскопа и алгоритм его работы.
18. Послойный анализ с использованием травления ионами. Взаимодействие ионного пучка с материалом образца. Разрешение по глубине при профилировании и погрешность определения глубины анализа.
19. Устройство и принцип работы источника ионов. Работа вакуумной системы при ионном профилировании.
20. Пошаговая процедура послойного анализа с ионным профилированием в методах электронной оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Различия для двух методов. Особые условия в методе РФЭС.
21. Пошаговая процедура послойного анализа с ионным профилированием в методе сканирующей оже-микроскопии.

- 22.Вакуумная система электронного спектрометра/микроскопа. Виды насосов и вакууметров. Требования к материалам вакуумной камеры. Требования к образцам и процесс их загрузки. Исследования *in situ*.
- 23.Общие характеристики метода масс-спектро스코пии. Статические и динамические масс-анализаторы. Сравнительные характеристики масс-анализаторов: разрешение по массе, чувствительность, экспрессность анализа. Интерпретация масс-спектров
- 24.Схема масс-спектрометра. Ионный микроскоп.
- 25.Источники ионов, сравнительные характеристики и применение для различных материалов.
- 26.Принцип работы вторично-ионного масс-спектрометра. Принцип профилирования состава в ВИМС. Изображение в ВИМС, локальный анализ состава и разрешение ВИМС.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.
очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает с небольшими неточностями.
хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя.
удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий отвечая с наводящими вопросами преподавателя.
неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.

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

Основная литература:

1. Жу У. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение : практическое пособие / Жу У.; Уанга Ж.Л. - Москва : Лаборатория знаний, 2017. - 601 с. - ISBN 978-5-00101-478-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=735238&idb=0>.

2. Методы структурных исследований материалов. Методы микроскопии / Вознесенский Э.Ф., Шарифуллин Ф.С., Абдуллин И.Ш. - Москва : КНИТУ, 2014., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=644922&idb=0>.
3. Николичев Дмитрий Евгеньевич. Локальная диагностика состава полупроводниковых наносистем методом сканирующей оже-микроскопии : учебно-методическое пособие / Д. Е. Николичев, А. В. Боряков ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2011. - 110 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=851142&idb=0>.
4. Николичев Д. Е. Химический анализ твердотельных гетеронаносистем методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии : учебное пособие / Николичев Д. Е., Боряков А. В., Суродин С. И. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2014. - 73 с. - Рекомендовано методической комиссией физического факультета для студентов ННГУ, обучающимся по направлениям 222900 – "Нанотехнологии и микросистемная техника", 210100 – "Электроника и наноэлектроника". - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Химия., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=729851&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Справочное руководство по аналитической химии и физико-химическим методам анализа / Тикунова И.В., Дробницкая Н.В., Артеменко А.И. - Москва : Абрис, 2012., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=636742&idb=0>.
2. Козаков Алексей Титович. Физические основы электронной спектроскопии заряженных поверхностей твердых тел : Монография / Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета (ЮФУ), 2009. - 406 с. - ВО - Магистратура. - ISBN 978-5-9275-0711-5., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=608919&idb=0>.
3. Карлсон Томас А. Фотоэлектронная и Оже-спектроскопия / пер. с англ. И. А. Брытова и др. - Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1981. - 431 с. : ил. - 2.60., 1 экз.
4. Нанохимия / Сергеев Г.Б. - Москва : МГУ, 2007., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=637851&idb=0>.

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

Открытый проект Materials Project <https://www.materialsproject.org/>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

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): Крюков Руслан Николаевич, кандидат физико-математических наук
Николичев Дмитрий Евгеньевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Павлов Дмитрий Алексеевич, доктор физико-математических наук.

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