

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ФАКУЛЬТЕТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ, ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЭЛЕКТРОНИКИ**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Декан факультета  
Кревчик В.Д.  
(Подпись) (Фамилия, инициалы)  
« 30 » ноября 2015 г.



## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **M1.2.5.1 ЭЛЕКТРОННО-ИОННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

*(Индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины)*

Направление подготовки 03.04.02 «Физика»  
*(Код, наименование направления подготовки)*

Магистерская программа «Физика конденсированного состояния вещества»  
*(Наименование магистерской программы)*

Квалификация (степень) выпускника - Магистр

Форма обучения очная  
*(Очная, заочная)*

Пенза, 2015

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Электронно-ионные методы анализа поверхности твердых тел» является изучение современных спектроскопических методов исследования состава, структуры и свойств поверхностной области твердых тел.

### 2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина M1.2.5.1 «Электронно-ионные методы анализа поверхности твердых тел» является дисциплиной по выбору студента вариативной части (блок M1.2) программы подготовки студентов по направлению подготовки 03.04.02 «Физика».

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях по дисциплинам модулей «математика», «общая физика», «теоретическая физика», по дисциплинам: основы кристаллофизики, физика твердого тела, новые информационные технологии программы подготовки бакалавров по направлению подготовки 03.03.02 «Физика».

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин:

– вычислительный эксперимент по исследованию взаимодействия атомных частиц с конденсированным веществом – обязательная дисциплина вариативной части программы подготовки (блок M1.2);

– взаимодействие заряженных частиц с поверхностью твердого тела – дисциплина по выбору студента вариативной части программы подготовки по указанному направлению (блок M1.2).

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Электронно-ионные методы анализа поверхности твердых тел»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

Коды компетенции	Наименование компетенции	Структурные элементы компетенции (в результате освоения дисциплины обучающийся должен знать, уметь, владеть)
1	2	3
ПК-1	способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	Знать: физические явления, лежащие в основе методов диагностики поверхностей твердых тел электронными, ионными и фотонными зондами; состав аппаратуры и условия проведения эксперимента; типы получаемой информации; сущность экспериментальных и теоретических (численных) методов расчета параметров, характеризующих структуру и состав поверхности изучаемого образца; основные области применения методов
		Уметь: выделить достоинства и недостатки каждого изучаемого метода зондирования материалов
		Владеть: навыками выбора наиболее подходящего метода или совокупности методов диагностики поверхности образца, исходя из целей и задач исследования и с учетом новейшего отечественного и

		зарубежного опыта
СК-3	способность использовать методы и теоретические подходы для теоретических исследований и физической интерпретации полученных результатов	Знать: принципы качественного анализа, определения структуры и способы количественного анализа материалов спектроскопическими методами
		Уметь: применять основные методики структурного и элементного анализа поверхности исследуемого образца
		Владеть: навыками анализа (в рамках современных теорий физики твердого тела), систематизации и представления новейших данных о методах и средствах изучения поверхностной области твердых тел

#### 4. Структура и содержание дисциплины «Электронно-ионные методы анализа поверхности твердых тел»

##### 4.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 часов.

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины (модуля)	Семестр	Недели семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)									Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)							
				Аудиторная работа				Самостоятельная работа					собеседование	коллоквиум	тест	контрольная работа	реферат	эссе и иные творческие работы	курсовая работа (проект)	др.
				Всего	Лекция	Практические занятия	Лабораторные занятия	Всего	Подготовка к аудиторным занятиям	Реферат, эссе и др.	Курсовая работа	Подготовка к экзамену								
1.	Раздел 1. Введение	1	1 ÷ 2	6	2	4	-	-	-	-	-	-	1 ÷ 2	-	-	-	-	-	-	-
2.	Раздел 2. Методы, основанные на явлении дифракции зондирующих материал пучков	1	3 ÷ 18	48	16	32	-	54	28	28	-	-	3 ÷ 18	-	-	-	17 ÷ 18	-	-	-
2.1.	Тема 2.1. Дифракция медленных электронов (ДМЭ).	1	3 ÷ 10	24	8	16	-	28	14	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.2.	Тема 2.2. Дифракция отраженных быстрых электронов (ДОБЭ)	1	11 ÷ 12	6	2	4	-	10	6	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.	Тема 2.3. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ).	1	13 ÷ 18	18	6	12	-	16	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.	Раздел 3. Методы, основанные на ионизации атомов зондируемой мишени.	2	1 ÷ 8	<b>30</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	-	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	-	-	2 ÷ 7	-	-	-	17 ÷ 18	-	-	-
3.1.	Тема 3.1. Электронная оже-спектроскопия.	2	1 ÷ 3	12	6	6	-	6	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.2.	Тема 3.2. Электронный микроанализ.	2	4 ÷ 5	8	4	4	-	4	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.3.	Тема 3.3. Фотоэлектронная спектроскопия.	2	6 ÷ 8	10	6	4	-	6	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.	Раздел 4. Методы, основанные на разрыве связей.	2	8 ÷ 11	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	-	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	-	-	9 ÷ 11	-	-	-	17 ÷ 18	-	-	-
4.1.	Тема 4.1. Вторичная ионная масс-спектроскопия.	2	8 ÷ 10	10	6	4	-	4	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.2.	Тема 4.2. Электронно-стимулированная ионная десорбция.	2	11	2	-	2	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.	Раздел 5. Методы, основанные на упругих взаимодействиях частиц зондирующего пучка и бомбардируемой мишени.	2	11 ÷ 16	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	-	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	-	-	12 ÷ 15	-	-	-	17 ÷ 18	-	-	-
5.1.	Тема 5.1. Спектрометрия обратного рассеяния ионов низких энергий (СОРИНЭ).	2	11 ÷ 13	10	6	4	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.2.	Тема 5.1. Спектрометрия обратного рассеяния ионов высоких энергий (СОРИВЭ).	2	14 ÷ 16	10	6	4	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.	Раздел 6. Методы, основанные на неупругих взаимодействиях.	2	16 ÷ 17	<b>4</b>	-	<b>4</b>	-	<b>4</b>	-	<b>4</b>	-	-	16 ÷ 17	-	-	-	17	-	-	-
6.1.	Тема 6.1. Спектроскопия электронных	2	16	2	-	2	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	потерь энергии.																			
6.2.	Тема 6.2. Сканирующая электронная микроскопия.	2	17	2	-	2	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.	Раздел 7. Методы, основанные на перезарядке.	2	17 ÷ 18	4	-	4	-	4	-	4	-	-	17 ÷ 18	-	-	-	17 ÷ 18	-	-	-
7.1.	Ионно-нейтрализационная спектроскопия.	2	17	2	-	2	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.2.	Сканирующая туннельная микроскопия.	2	18	2	-	2	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.	Раздел 8. Заключение	2	18	2	2	-	-	2	2	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Курсовая работа (проект)</i>																			
	<i>Подготовка к экзамену</i>							72					72							
	Общая трудоемкость, в часах			126	54	72		162	28	62		72	Промежуточная аттестация							
													Форма	Семестр						
													Зачет	-						
													Экзамен	1, 2						

## 4.2. Содержание дисциплины

### 4.2.1. Введение.

Актуальность анализа поверхностной области твердых тел. Исходные принципы, лежащие в основе различных методов исследования материалов.

### 4.2.2. Методы, основанные на явлении дифракции зондирующих материал пучков.

#### 4.2.2.1. Дифракция медленных электронов (ДМЭ).

Основной принцип структурного анализа поверхностных слоев твердых тел методом ДМЭ. Параметры дифракции: выбор диапазона энергий первичных электронов в ДМЭ. Физические основы метода. Экспериментальная установка для анализа структуры поверхности по ДМЭ. Физические основы методов расшифровки дифракционных картин исследуемых образцов. Типы информации, получаемой в опытах по ДМЭ. Интерпретация экспериментальных данных: приближение однократного рассеяния, приближение многократных столкновений, численные методы расчета картины ДМЭ, неоднозначность определения структуры образца по полученной от него дифракционной картине и способы ее уточнения. Достижения метода: получение информации о структуре поверхностных пленок и фазовых переходах в них. Возможности современной ДМЭ.

#### 4.2.2.2. Дифракция отраженных быстрых электронов:

сущность метода и его применение для исследования топографии поверхности.

#### 4.2.2.3. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ).

Основной принцип структурного анализа материалов методом ПЭМ. Идентификация структуры образца методом ПЭМ с помощью данных по испытанию материалов и компьютерных расчетов. Методика тонких поперечных сечений в ПЭМ как отличительная особенность и основное преимущество метода при исследовании многослойных структур.

### 4.2.3. Методы, основанные на ионизации атомов зондируемой мишени.

#### 4.2.3.1. Электронная оже-спектроскопия.

Принцип метода. Факторы, влияющие на интенсивность эмиссии оже-электронов. Аппаратура и методика с дифференцированием спектра проведения ЭОС-анализа элементного состава поверхностного слоя твердых тел. Количественный анализ в ЭОС: метод внешних эталонов, метод коэффициентов элементной чувствительности. Области применения метода.

#### 4.2.3.2. Электронный микроанализ.

Физические основы, принцип и главная черта метода. Качественный анализ в ЭМ: методики с дисперсией по энергии и по длине волны. Количественный анализ методов ЭМ: ограничения метода, методики с использованием эталонов и поправочных множителей.

#### 4.2.3.3. Фотоэлектронная спектроскопия.

Основные физические процессы, исследуемые в ФЭС. Основные области исследований с помощью РФЭС и УФЭС.

Схема и принципы действия важнейших приборов, используемых в РФЭС и других спектроскопических методах исследования поверхностной области твердых тел. Физические основы РФЭС. Качественный анализ материалов методом РФЭС. Влияние конечных состояний на энергию связи в РФЭС – теория и практическое применение в определении химической структуры и состояний окисления неорганических и металлоорганических веществ. Химические сдвиги в РФЭС- спектрах – концепция и применение в анализе веществ. Количественный анализ образцов методом РФЭС. Основные области применения метода. Исследование адсорбатов методом УФЭС. Достоинства и недостатки ФЭС.

### 4.2.4. Методы, основанные на разрыве связей.

#### 4.2.4.1. Вторичная ионная масс- спектроскопия.

Принципиальная схема и существенные преимущества метода. Физические основы ВИМС. Теоретическая модель вторичной ионной эмиссии, наиболее подходящая для практического количественного анализа в методе ВИМС. Характерные параметры установок ВИМС. Принцип действия время-пролетных масс-спектрометров, масс-анализаторов квадрупольного и магнитного типа. Основные типы информации, получаемой методом

ВИМС, и их практические приложения: идентификация химических элементов и их соединений по пикам атомных и многоатомных ионов соответственно в полученных масс-спектрах, определение концентрации химических элементов с использованием коэффициентов относительной элементной чувствительности, анализ поверхности методом статической ВИМС, анализ по глубине методом динамической ВИМС, картина распределения элементов по поверхности (два режима получения данного типа информации, виды контрастов, необходимых для получения изображения поверхности), трехмерный анализ, структурный анализ (определение химической структуры и молекулярного веса органических соединений).

#### 4.2.4.2. Электронно-стимулированная ионная десорбция.

4.2.5. Методы, основанные на упругих взаимодействиях частиц зондирующего пучка и бомбардируемой мишени.

##### 4.2.5.1. Спектрометрия обратного рассеяния ионов низких энергий (СОРИНЭ).

Основной принцип анализа поверхности методом СОРИНЭ. Физические основы метода. Схема установки для изучения рассеяния медленных ионов. Принципы действия и условия функционирования в режимах анализа состава и структуры исследуемых образцов основных элементов установки: источника ионов, вакуумной камеры рассеяния, электростатического анализатора отраженных поверхностью материала ионов. Идентификация атомов мишени методом СОРИНЭ. Количественный анализ материалов. Влияние эффекта нейтрализации на количественную интерпретацию результатов, полученных методом СОРИНЭ. Основные механизмы зарядового обмена между поверхностью вещества и отлетающей или падающей частицей. Решение задачи о нейтрализации в приближении неподвижного иона. Основные применения метода СОРИНЭ: идентификация примесных атомов на поверхности с полуколичественным определением их концентрации, исследование поверхностного слоя бинарных сплавов и соединений, анализ кристаллической структуры первых монослоев твердого тела на основе эффекта экранирования. Достоинства и недостатки метода.

##### 4.2.5.2. Спектрометрия обратного рассеяния ионов высоких энергий (СОРИВЭ).

Физические основы, экспериментальная методика и аппаратура, основные типы получаемой информации, достоинства и недостатки, а также основные области применения метода. Способ определения структуры поверхностной области твердых тел, основанный на явлении каналирования ионов высоких энергий в сочетании с их обратным рассеянием.

#### 4.2.6. Методы, основанные на неупругих взаимодействиях.

Физические основы, экспериментальная методика и аппаратура, основные типы получаемой информации, достоинства и недостатки, а также основные области применения методов.

##### 4.2.6.1. Спектроскопия электронных потерь энергии.

##### 4.2.6.2. Сканирующая электронная микроскопия.

##### 4.2.7. Методы, основанные на перезарядке.

Физические основы, экспериментальная методика и аппаратура, основные типы получаемой информации, достоинства и недостатки, а также основные области применения методов.

##### 4.2.7.1. Ионно-нейтрализационная спектроскопия.

##### 4.2.7.2. Сканирующая туннельная микроскопия.

#### 4.2.8. Заключение

Обобщение сведений об изученных методах анализа материалов.

## 5. Образовательные технологии

Форма проведения теоретических занятий – интерактивные лекции с применением мультимедиа-технологий (электронные презентации).

Форма проведения практических занятий – прослушивание и обсуждение докладов по разделам дисциплины (дискуссии по всем темам занятий).

*Занятия, проводимые в интерактивных формах, с использованием интерактивных технологий составляют 50 % аудиторных.*



В целях реализации индивидуального подхода к обучению студентов, осуществляющих учебный процесс по собственной траектории в рамках индивидуального рабочего плана, изучение данной дисциплины базируется на следующих возможностях: обеспечение внеаудиторной работы со студентами, в том числе, в электронной образовательной среде с использованием соответствующего программного оборудования, дистанционных форм обучения, возможностей интернет-ресурсов, индивидуальных консультаций и т.д.

**6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.  
Оценочные средства для текущего контроля успеваемости,  
промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

**6.1. План самостоятельной работы студентов**

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература (см. п. 7)	Количество часов
1 сем. 1÷18	Методы, основанные на явлении дифракции зондирующих материал пучков.	Подготовка к аудиторным занятиям.	Изучить основные понятия, актуальность анализа поверхностной области твердых тел, исходные принципы, лежащие в основе различных методов исследования материалов. Рассмотреть физические основы, экспериментальную методику, аппаратуру (состав, принцип работы, фирмы-производители, стоимость), типы получаемой информации, практическое применение, преимущества и недостатки ДМЭ, ДОБЭ, ПЭМ.	1-3, 5-7	28
17÷18		Доклад.			Реферат

2 сем. 1÷8	Методы, основанные на ионизации атомов зондируемой мишени.	Подготовка к аудиторным занятиям. Доклад.	Рассмотреть физические основы, экспериментальную методику, аппаратуру (состав, принцип работы, фирмы-производители, стоимость), типы получаемой информации, практическое применение, преимущества и недостатки ЭОС, ЭМА, ФЭС.	1-2, 5-7	10
17÷18		Реферат			6
8÷11	Методы, основанные на разрыве связей.	Подготовка к аудиторным занятиям.	-//- ВИМС, ЭСИД	1-2, 5-7	2
17÷18		Доклад. Реферат			4
11÷16	Методы, основанные на упругих взаимодействиях частиц зондирующего пучка и бомбардируемой мишени.	Подготовка к аудиторным занятиям.	-//- СОРИНЭ, СОРИВЭ	1-2, 5-7	2
17÷18		Доклад. Реферат			2
16÷17	Методы, основанные на неупругих взаимодействиях частиц зондирующего пучка и бомбардируемой мишени.	Доклад.	-//- СЭПЭ, СЭМ	1-2, 5-7	4
17÷18		Реферат			
17÷18	Методы, основанные на перезарядке.	Доклад. Реферат	-//- ИНС, СТМ	1-2, 4-7	4
18	Все методы.	Подготовка к аудиторным занятиям.	По всем изученным методам: регистрируемые частицы, физический	1-7	2

			процесс взаимодействия зонда с поверхностью, получаемая информация о материале, чувствительность метода, глубина анализа, возможность проведения анализа распределения по глубине и по поверхности, возможность проведения количественного анализа образца, наличие разрушения материала в процессе его исследования		
--	--	--	--	--	--

## 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

**Самостоятельная работа** представляет собой научно-исследовательское задание по разделам дисциплины, представленное в виде доклада в форме электронной презентации с последующим обсуждением.

### Рекомендации по оформлению работы

Работа должна быть оформлена в соответствии с ГОСТ с использованием Microsoft Word и должна содержать титульный лист, информацию о физических явлениях, лежащих в основе рассматриваемого метода анализа поверхности твердого тела электронными, ионными или фотонными зондами, об аппаратуре и условиях проведения эксперимента, об основных типах получаемой информации, о достоинствах и недостатках изучаемого метода зондирования материалов, об основных областях его применения, список использованной литературы.

## 6.3. Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов

№ п/п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1	Собеседование	Раздел 1. Актуальность анализа поверхностной области твердых тел. Исходные принципы, лежащие в основе различных методов исследования материалов.	ПК-1

2	Собеседование Доклад Реферат	Раздел 2. Методы, основанные на явлении дифракции зондирующих материал пучков.	ПК-1, СК-3
3	Собеседование Доклад Реферат	Раздел 3. Методы, основанные на ионизации атомов зондируемой мишени.	ПК-1, СК-3
4	Собеседование Доклад Реферат	Раздел 4. Методы, основанные на разрыве связей.	ПК-1, СК-3
5	Собеседование Доклад Реферат	Раздел 5. Методы, основанные на упругих взаимодействиях частиц зондирующего пучка и бомбардируемой мишени.	ПК-1, СК-3
6	Доклад Реферат	Раздел 6. Методы, основанные на неупругих взаимодействиях частиц зондирующего пучка и бомбардируемой мишени.	ПК-1, СК-3
7	Доклад Реферат	Раздел 7. Методы, основанные на перезарядке.	ПК-1, СК-3
8	Собеседование	Раздел 8. Обобщение сведений об изученных методах анализа материалов.	ПК-1, СК-3

**Темы рефератов** могут самостоятельно подбираться студентами в соответствии с основными разделами дисциплины. Материал, содержащий новейшие сведения о методах исследования поверхностей твердых тел, оформляется в соответствии с ГОСТ в виде реферата (*одного за семестр*) и представляется в форме доклада с последующим обсуждением.

### ***Вопросы к собеседованию***

#### **1<sup>й</sup> семестр Раздел 1**

1. Понятие поверхности.
2. Причины отличия поверхностных свойств твердых тел от свойств объема образца.
3. Актуальность анализа поверхностной области твердых тел.
4. Задача спектроскопических методов анализа поверхности.
5. Исходные принципы, лежащие в основе различных методов исследования материалов.
6. Основная тенденция развития промышленности аппаратуры для исследования поверхности.

#### ***Раздел 2***

1. Теория дифракции.
2. Изучение структуры твердых тел: методы Лауэ (включая новые разработки с применением синхротронного излучения) и Дебая.
3. Способы расшифровки дифракционных картин: диаграмма Эвальда.
4. Определение структуры поверхности с помощью дифракции медленных электронов (ДМЭ): атомный и структурный факторы рассеяния при учете процессов однократного и многократного рассеяния.
5. Определение структуры поверхности с помощью ДМЭ: сущность компьютерных методик

расчета параметров кристаллических структур.

6. Дифракция отраженных быстрых электронов (ДОБЭ): экспериментальная методика и аппаратура.

7. Структурный анализ поверхности методом ДОБЭ.

8. Просвечивающая электронная микроскопия: экспериментальная методика и аппаратура.

9. Аналитическая ПЭМ: моделирование процесса.

10. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения.

11. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения в нанотехнологических исследованиях.

12. Зеркальная электронная микроскопия.

## **2<sup>й</sup> семестр**

### ***Раздел 3***

1. Химические сдвиги в ЭО-спектрах и их применение в элементном анализе материалов.

2. Исследование и контроль роста пленок с помощью ЭОС.

3. Электронный микроанализ. Современное состояние экспериментальных методик, состав аппаратуры, практическое применение.

4. Применение синхротронного излучения в ФЭС для исследования свойств поверхности.

5. ФЭС п/п материалов.

6. ФЭС щелочно-галогидных соединений.

### ***Раздел 4***

1. Характерные параметры установок ВИМС. Физические основы и принцип действия масс-анализаторов квадрупольного и магнитного типа.

2. Электронно-стимулированная ионная десорбция: физические основы метода, экспериментальная методика, применяемая аппаратура (состав, принцип работы, фирмы-производители, стоимость), типы получаемой информации, практическое применение, преимущества и недостатки.

### ***Раздел 5***

1. Спектрометрия обратного рассеяния ионов высоких энергий (СОРИВЭ): физические основы метода, экспериментальная методика, применяемая аппаратура (состав, принцип работы, фирмы-производители, стоимость), типы получаемой информации, практическое применение, преимущества и недостатки.

2. Каналирование ионов высоких энергий в сочетании с их обратным рассеянием как метод определения структуры поверхностной области твердых тел.

### ***Раздел 6***

1. Спектроскопия электронных потерь энергии: физические основы метода, экспериментальная методика, применяемая аппаратура (состав, принцип работы, фирмы-производители, стоимость), типы получаемой информации, практическое применение, преимущества и недостатки.

2. Сканирующая электронная микроскопия: физические основы метода, экспериментальная методика, применяемая аппаратура (состав, принцип работы, фирмы-производители, стоимость), типы получаемой информации, практическое применение, преимущества и недостатки.

### ***Раздел 7***

1. Ионно-нейтрализационная спектроскопия: физические основы метода, экспериментальная методика, применяемая аппаратура (состав, принцип работы, фирмы-производители, стоимость), типы получаемой информации, практическое применение, преимущества и недостатки.

2. Сканирующая туннельная микроскопия: физические основы метода, экспериментальная методика, применяемая аппаратура (состав, принцип работы, фирмы-производители, стоимость), типы получаемой информации, практическое применение, преимущества и недостатки.

## **Раздел 8**

Обобщение сведений об изученных методах анализа материалов по следующим параметрам:

- 1) регистрируемые частицы,
- 2) физический процесс взаимодействия зонда с поверхностью,
- 3) получаемая информация о материале,
- 4) чувствительность метода,
- 5) глубина анализа,
- 6) возможность проведения анализа распределения по глубине и по поверхности,
- 7) возможность проведения количественного анализа образца,
- 8) наличие разрушения материала в процессе его исследования.

### **Примерный перечень вопросов к экзамену**

#### **1<sup>й</sup> семестр**

1. Метод ДМЭ: физические основы, методика проведения эксперимента.
2. Типы информации, получаемой методом ДМЭ. Теоретические основы и методики расчета параметров кристаллических структур.
3. Использование дифракции медленных электронов для исследования структуры поверхностных пленок и фазовых переходов в них.
4. Преимущества и недостатки метода.
5. Метод ДОБЭ: физические основы, методика проведения эксперимента, структурный анализ материалов.
6. Использование дифракции отраженных быстрых электронов в молекулярно-лучевой эпитаксии для исследования осцилляций интенсивности зеркального луча отраженных электронов с целью контроля послойного роста эпитаксиальных структур.
7. Преимущества и недостатки метода.
8. Структурный анализ материалов методом просвечивающей электронной микроскопии: физические основы и методика проведения эксперимента.
9. Исследование многослойных структур методом ПЭМ.
10. Преимущества и недостатки метода.

#### **2<sup>й</sup> семестр**

11. Электронная ожэ-спектроскопия: физические основы метода, процедура эос-анализа элементного состава поверхностной области твердых тел.
12. Количественный анализ в ЭОС.
13. Основные области применения электронной ожэ-спектроскопии.
14. Электронный микроанализ: физические основы метода.
15. Экспериментальная идентификация элементного состава исследуемых материалов (методики EDS и WDS).
16. Количественный анализ элементного состава образцов с использованием поправочных множителей.
17. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия: физические основы метода.
18. РФЭС – как прямой метод определения атомного состава на поверхности твердого тела.
19. Преимущества и недостатки метода.
20. Энергия связи в РФЭС; влияние конечных состояний на энергию связи.
21. Химические сдвиги в спектрах РФЭС и их применение в анализе веществ.

22. Количественный анализ в РФЭС.
23. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия: основные процессы, исследуемые в методе; условие проведения УФЭС- эксперимента.
24. УФЭС – как эффективный метод исследования явления адсорбции.
25. Преимущества и недостатки метода.
26. Вторичная ионная масс-спектроскопия: физические основы метода, принципиальная схема проведения эксперимента.
27. Основные типы информации, получаемой методом ВИМС.
28. Преимущества и недостатки метода.
29. СОРИНЭ: физические основы метода, основной принцип исследования поверхности материалов, основные области применения метода.
30. Использование эффекта «затенения» для исследования атомного рельефа поверхности методом СОРИНЭ.
31. Преимущества и недостатки метода.
32. СОРИВЭ: физические основы метода, основной принцип исследования поверхности материалов, основные области применения метода.
33. Каналирование ионов высоких энергий в сочетании с их обратным рассеянием как метод определения структуры поверхностной области твердых тел.
34. Преимущества и недостатки метода.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Электронно-ионные методы анализа поверхности твердых тел»**

а) основная литература:

1. Владимиров Г.Г. Физическая электроника. Эмиссия и взаимодействие частиц с твердым телом: учебное пособие. – СПб: Изд-во «Лань», 2013.

[http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r\\_91/cgiirbis\\_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL\\_PRINT&S21FMT=fullw\\_print&C21COM=F&Z21MFN=16754](http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL_PRINT&S21FMT=fullw_print&C21COM=F&Z21MFN=16754)

2. Методы исследования материалов и структур электроники: учебное пособие (рекомендовано УМО вузов РФ) / О.В. Карпанин; под ред. Р.М. Печерской. – Пенза: Изд-во Пенз. гос.ун-та, 2007.

[http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r\\_91/cgiirbis\\_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL\\_PRINT&S21FMT=fullw\\_print&C21COM=F&Z21MFN=8262](http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL_PRINT&S21FMT=fullw_print&C21COM=F&Z21MFN=8262)

б) дополнительная литература:

3. Кудрявцева Р.В., Павлов А.Д., Шиляев П.А. Геометрическая теория рассеяния ускоренных электронов на кристаллах: Описание к лабораторному практикуму по курсу "Методы исследования структуры твердых тел". - Нижний Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2003. – неограниченный доступ. <http://window.edu.ru/resource/610/45610>

4. Филатов Д.О., Круглов А.В. Исследование поверхности твердых тел методом сканирующей туннельной микроскопии (СТМ). Описание лабораторной работы. - Нижний Новгород: НОЦ СЗМ Нижегородского государственного университета, 2001. – неограниченный доступ. <http://window.edu.ru/resource/592/45592>

5. Журнал «Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования». <http://www.issp.ac.ru/journal/surface/>

6. Журнал «Физика твердого тела». <http://www.ioffe.rssi.ru/journals/ft/>

7. Руководство по выполнению выпускной квалификационной работы: методические указания / сост.: Н.В. Костина, А.В. Рудин, В.А. Гришанова; под ред. д.ф.-м.н., проф. В.Д. Кревчика. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2015. – 44 с. – неограниченный доступ.  
[http://dep\\_fizika.pnzgu.ru/files/dep\\_fizika.pnzgu.ru/literatura/%20posobyamet\\_vkr.zip](http://dep_fizika.pnzgu.ru/files/dep_fizika.pnzgu.ru/literatura/%20posobyamet_vkr.zip)

в) Интернет-ресурсы: единое окно доступа к информационным ресурсам  
<http://window.edu.ru>; <https://elibrary.ru>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

### 1. Оснащенность учебных аудиторий:

Комплект учебной мебели: парты, стол преподавательский, стулья, доска.

Проектор NEC V260X, экран Lumien Master Control, ноутбук HP Pro Book 4710s VQ738EA.

### 2. Программное обеспечение:

«Microsoft» (подписка Eopen), «Антивирус Касперского».

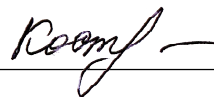


Рабочая программа дисциплины «Электронно-ионные методы анализа поверхности твердых тел» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 «Физика».

Программу составили:

1. Костина Наталья Владимировна, доцент \_\_\_\_\_

(Ф.И.О., должность, подпись)



**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**

Программа одобрена на заседании кафедры «Физика»

Протокол № 3

от « 19 » ноября 2015 года

Зав. кафедрой «Физика»

\_\_\_\_\_ Семенов М.Б.

(подпись, Ф.И.О.)



Программа согласована с заведующим выпускающей кафедрой

«Физика»

\_\_\_\_\_ Семенов М.Б. 19.11.2015

(название кафедры)

(подпись, Ф.И.О., дата)



Программа одобрена методической комиссией факультета приборостроения, информационных технологий и электроники

Протокол № 4

от « 30 » ноября 2015 года

Председатель методической комиссии

факультета приборостроения,

информационных технологий и электроники




\_\_\_\_\_ Задера А.В.

(подпись)

(Ф.И.О.)

**Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год  
и регистрации изменений**

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата, подпись зав. кафедрой)	Внесенные изменения	Номера листов (страниц)		
			заменен- ных	новых	аннулиро- ванных
2016-2017	№1 от 9.09.2016 г. 	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	15-16		
2017-2018	№1 от 14.09.2017 г. 	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	15-16		
2018-2019	Пр.№1 от 3.09.2018 	Изменений нет			
2019-2020	Пр.№1 от 12.09.19 	Изменений нет			