

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Физика и техника низких температур**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Исследование поверхности в условиях вакуума и низких температур**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|                                                                                   |                                                    |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                 |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                 |
|                                                                                   | Владелец                                           | Лубенченко А.В.                 |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | R4e612482-LubenchenkoAV-ecf64b5 |

А.В.  
Лубенченко

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

|                                                                                   |                                                    |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|                                                                                   | Владелец                                           | Крюков А.П.                  |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed |

А.П.  
Крюков

Заведующий  
выпускающей кафедрой

|                                                                                   |                                                    |                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                           |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                           |
|                                                                                   | Владелец                                           | Пузина Ю.Ю.               |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | Re86e9a56-Puzina-4d2acad1 |

Ю.Ю.  
Пузина

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования

ИД-5 Знает методы определения параметров работы элементов энергетического оборудования и способен провести их оценку

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Определение относительной концентрации элементов методом РФЭС (Индивидуальный проект)

2. Определение степени окисления поверхности и толщины окисленного слоя методом РФЭС (Индивидуальный проект)

Форма реализации: Письменная работа

1. Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности (Тестирование)

2. Основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности (Тестирование)

## БРС дисциплины

2 семестр

| Раздел дисциплины                                                  | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                                                                    | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|                                                                    | Срок КМ:                        | 4    | 8    | 12   | 16   |
| Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок        |                                 |      |      |      |      |
| Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок        |                                 | +    |      |      |      |
| Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности            |                                 |      |      |      |      |
| Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности            |                                 |      | +    |      |      |
| Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности   |                                 |      |      |      |      |
| Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности   |                                 |      |      | +    | +    |
| Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок |                                 |      |      |      |      |

|                                                                    |    |    |    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|
| Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок |    |    | +  | +  |
| Вес КМ:                                                            | 15 | 25 | 30 | 30 |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор                                                                                                                | Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Контрольная точка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1               | ИД-5ПК-1 Знает методы определения параметров работы элементов энергетического оборудования и способен провести их оценку | Знать:<br>основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности<br>теоретические основы формирования электронных спектров;<br>Уметь:<br>проводить послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами РФЭС и ОС<br>применять методы качественного и количественного анализа поверхности твердого тела | Основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности (Тестирование)<br>Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности (Тестирование)<br>Определение относительной концентрации элементов методом РФЭС (Индивидуальный проект)<br>Определение степени окисления поверхности и толщины окисленного слоя методом РФЭС (Индивидуальный проект) |

## ***II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания***

### **КМ-1. Основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выдается бланк с вопросами, необходимо дать на них ответы

#### **Краткое содержание задания:**

- Каковы характеристики различных степеней вакуума?
- Какие способы получения вакуума вы знаете?
- Какие параметры насосов вы знаете?
- Какова принципиальная схема роторного форвакуумного насоса?
- Какова принципиальная схема спирального форвакуумного насоса?
- Какова принципиальная схема диффузионного высоковакуумного насоса?
- Какова принципиальная схема турбомолекулярного высоковакуумного насоса?
- Какова принципиальная схема геттеро-ионного высоковакуумного насоса?
- Какие насосы не требуют форвакуумной откачки?
- Какие параметры важны для вакуумных материалов?
- Какие мановакууметры и манометры вы знаете?
- Какие мановакууметры и манометры используют для измерения низкого и среднего вакуума?
- Какие мановакууметры и манометры используют для измерения высокого вакуума?
- Какие мановакууметры и манометры используют для измерения сверхвысокого вакуума?
- Какие параметры измеряются с помощью масс-спектрометр?
- В чем состоит метод поиска течей?
- Какие бывают типы анализаторов?
- Каковы основные характеристики энергоанализаторов?
- Какова принципиальная схема энергоанализатора с задерживающим полем (ЭЗП)?
- Каким образом измеряются дифференциальные энергетические характеристики потока заряженных частиц с помощью ЭЗП?
- Какие типы электростатических энергоанализаторов вы знаете?
- Что такое разрешающая способность энергоанализатора?
- Что такое область анализа энергоанализатора?
- Какова принципиальная схема анализатора цилиндрическое зеркало (АЦЗ)?
- Каково энергетическое разрешение АЦЗ?
- Какова принципиальная схема полусферического анализатора (ПСА)?
- Каково энергетическое разрешение ПСА?
- Для каких целей ставят перед ПСА электростатическую линзу?
- Чем отличаются АЦЗ и ПСА?
- Каким образом происходит фокусировка электронов в электростатической линзе?
- Что такое увеличение и степень замедления электростатической линзы?
- Чему равен инвариант Лагранжа-Гельмгольца для электростатической линзы?
- Какие существуют режимы работы энергоанализатора ПСА?
- Какие режимы работы детекторов частиц вы знаете?
- Что такое вторичная эмиссия электронов?
- Каким образом определяется коэффициент вторичной электронной эмиссии?

Каким образом происходит усиление сигнала во вторичном электронном умножителе (ВЭУ)?  
 Какова принципиальная схема фотоэлектронного умножителя (ФЭУ)?  
 Чем отличаются фотодиод от ФЭУ?  
 Чем отличается канальный электронный умножитель от обычного ВЭУ?  
 Какова конструкция микроканальной пластины (МКП)?  
 Чем отличается канальный электронный умножитель от МКП?  
 Каким образом работает полупроводниковый детектор?  
 Какова конструкция сцинтилляционного счетчика?  
 Приведите схему детектора Эверхарта-Торнли. Для каких целей служит этот детектор?  
 Какие системы разделения ионов вы знаете?  
 Каким образом измеряется масса иона во времяпролетном масс-анализаторе?  
 Каким образом измерить энергию протона с помощью времяпролетного масс-анализатора?  
 Каким образом измеряется масса иона в магнитном масс-анализаторе?  
 Каким образом происходит разделение ионов в квадрупольном анализаторе?  
 Какие требования предъявляют к параметрам пучков заряженных частиц?  
 Какие виды электронных пушек вы знаете?  
 Что такое термоэлектронная эмиссия (ТЭЭ)?  
 От каких параметров зависит плотность тока насыщения при ТЭЭ?  
 Что такое полевая электронная эмиссия (ПЭЭ)?  
 От каких параметров зависит плотность тока при ПЭЭ?  
 Какова схема устройства электронной пушки?  
 Каким образом можно увеличить ток электронной пушки?  
 Для каких целей служит умножитель Кокрофта-Уолтона?  
 Какова конструкция рентгеновской трубки?  
 Какие типы рентгеновского излучения вы знаете?  
 Какое излучение называют тормозным рентгеновским излучением? Какое излучение называют характеристическим рентгеновским излучением?  
 Что обозначает  $\alpha_{\text{K}}$ ?  
 Как зависит частота линий характеристического рентгеновского излучения от атомного номера вещества?  
 Какие альтернативы рентгеновской трубке вы знаете?  
 Какова принципиальная схема источника синхротронного излучения?

#### Контрольные вопросы/задания:

|                                                                             |                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности | 1.Вакуумная система. Вакуумные насосы. Вакуумные измерения. Манометры и вакууметры. Методы течеискания. |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

#### КМ-2. Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выдается бланк с вопросами, необходимо дать на них ответы

**Краткое содержание задания:**

- Из каких элементов состоит рентгеновский фотоэлектронный спектрометр?
- На каких принципах работает рентгеновский источник?
- Какие фотоэлектронные процессы вы знаете?
- Каким образом может быть определена энергия связи электрона из эксперимента?
- Каким образом может быть определён элементный состав вещества?
- Что означает  $2\frac{3}{2}$ ?
- Как влияет зарядка мишени на вид фотоэлектронного спектра?
- Каким образом может быть определена относительная атомная концентрация элементов?
- Для каких целей проводится процедура вычитания фона?
- Чем обусловлен химический сдвиг?
- Каким образом можно определить профиль распределения по глубине?
- Какую информацию можно получить методом РФЭС с угловым разрешением?
- Как зависит сечение рождения фотоэлектрона от угла?
- Что такое магический угол?
- Какова универсальная зависимости неупругой длины свободного пробега от энергии?
- Каким образом можно описать вид пика упругорассеянных фотоэлектронов?
- Каким образом можно интерпретировать фон в фотоэлектронных спектрах?
- Из каких элементов состоит Оже-спектрометр?
- Какие электронные процессы вы знаете?
- Какие варианты Оже-процессов вы знаете?
- Каким образом может быть определена энергия связи электрона из Оже-спектра?
- Каким образом может быть определён элементный состав вещества?
- Как зависит сечение ионизации от энергии электрона?
- Какова глубина выхода Оже-электрона?
- Какова универсальная зависимости неупругой длины свободного пробега от энергии?
- От чего зависит форма Оже-электронных спектров?
- Каким образом может быть определена относительная атомная концентрация элементов?
- Какие характеристики вещества можно определить по положению Оже-пика?
- Каким образом можно определить плотность вещества?
- Каким образом можно провести локальный элементный анализ?
- Каким образом можно определить профиль распределения по глубине?
- Что такое микроскопия? Какие виды электронной микроскопии вы знаете?
- Какие процессы будут идти при взаимодействии налетающих электронов с твёрдым телом?
- Чем отличается ПЭМ от РЕМ?
- Какие детекторы вторичных и отраженных электронов применяются в РЭМ?
- Какова схема ПЭМ?
- Какова схема РЭМ?
- Какие методы применяемые для РЭМ вы знаете?
- В каких режимах может работать ПЭМ?
- Какие механизмы формирования контраста в ПЭМ вы знаете?
- Какие механизмы формирования контраста в РЭМ вы знаете?
- Какие требования к приготовлению образцов предъявляются для ПЭМ?
- Какие методы приготовления образцов для ПЭМ вы знаете?
- Чем отличается энергодисперсионный анализ от дифракционного анализа рентгеновского излучения?

Как определяется коэффициент контраста?  
 Какие методы обработки видеосигнала в РЭМ вы знаете?  
 Какие факторы влияют на контраст в РЭМ?

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                |                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: теоретические основы формирования электронных спектров; | 1. Дифракция обратно рассеянных электронов. Зондовая микроскопия. Сканирующий зондовый микроскоп. Электронная спектроскопия. |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-3. Определение относительной концентрации элементов методом РФЭС**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Индивидуальный проект

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выдается задание, время на подготовку и решение, затем защита результатов

**Краткое содержание задания:**

Определить элементный состав мишени по рентгеновскому фотоэлектронному спектру.

Порядок выполнения

1. Загрузить экспериментальный спектр из Mendeley Data

<http://dx.doi.org/10.17632/325hwbywvk.3>; папка «Обзорные спектры»; имя файла:

***XPS(номер по списку группы).txt***. Рентгеновские фотоэлектронные спектры были сняты с помощью модуля электронно-ионной спектроскопии на базе платформы «Нанофаб 25» (НТ-МДТ). Спектры были сняты с использованием алюминиевого анода, при этом энергоанализатор работал в режиме FAT.

2. С помощью MatLab-программы (текст приведён в приложении «Программы на языке MatLab. Считывание экспериментальных данных из текстового файла»), считать экспериментальные данные из текстового файла ***XPS(номер по списку группы).txt*** и построить график зависимости интенсивности потока электронов от энергии связи.

3. Определить структуру фотоэлектронного спектра: фотоэлектронные пики, оже-пики, сателлитные пики. Найти положение максимумов фотоэлектронных, оже-пики.

4. Используя данные таблицы 1 «Энергия связи различных элементов» и величины энергий связи, найденных в п. 3, определить названия фотоэлектронных пиков в экспериментальном спектре.

5. По полученным данным провести элементный анализ.

6. Составить отчёт о проделанной работе.

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: применять методы качественного и количественного анализа поверхности твердого тела | 1. Пределы классического описания. Столкновение двух частиц. Потенциалы взаимодействия.<br>2. Состояние электрона в атоме. Квантовая статистика. Основы физики конденсированного состояния. Зонная классификация твердых тел. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: проводить послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами РФЭС и ОС | <p>1. Упругое рассеяние заряженных частиц. Неупругое рассеяние заряженных частиц в твердом теле. Сечения рассеяния. Дифференциальное упругое сечение рассеяния.</p> <p>2. Индикатриса рассеяния. Дифференциальное неупругое сечение рассеяния. Средняя неупругая длина свободного пробега электронов.</p> <p>3. Тормозная способность вещества. Характеристические потери энергии электронов в твёрдом теле.</p> <p>4. Ионизация. Потери на возбуждение плазменных колебаний. Модельные неупругие индикатрисы рассеяния. Многократное рассеяние заряженных частиц в веществе. Закон Бугера.</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

#### **КМ-4. Определение степени окисления поверхности и толщины окисленного слоя методом РФЭС**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Индивидуальный проект

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выдается задание, время на подготовку и решение, затем защита результатов

#### **Краткое содержание задания:**

Для спектральных фотоэлектронных линий, определённых в практическом задании №1, вычесть фон и рассчитать интенсивность фотоэлектронных пиков.

Порядок выполнения работы

1. Создать m-функции, реализующую методы вычитания фона неупруго рассеянных фотоэлектронов: а) линейный фон; б) метод Ширли; в) метод Ширли–Проктора–Шервуда; г) метод Тоугарда. (алгоритмы методов приведены в приложении «Программы на языке MatLab»).

2. Выбрать регион для каждой спектральной фотоэлектронной линии, определённой в практическом задании №1. Для этого определить диапазон кинетических энергий от начального значения  $E_1$  до конечного  $E_N$  таким образом, чтобы этот диапазон включал в себя фотоэлектронный пик. Рассчитать в выбранном регионе значения интенсивностей  $Intensity_1$  и энергий  $E$  по программе, приведённой в приложении «Программы на языке MatLab».

3. Для каждого региона рассчитать фон методами: а) линейным; б) Ширли; в) Ширли–Проктора–Шервуда; г) Тоугарда с использованием универсального сечения (трёхпараметрическая формула с параметрами трёхпараметрическая формула с параметрами). Построить графики.

4. Вычислить интенсивность пиков нерассеянных и упругорассеянных фотоэлектронов. Для этого найти площадь под линией интенсивности в выбранном регионе после процедуры вычитания фона.
5. Исследовать зависимость интенсивности нерассеянных и упругорассеянных фотоэлектронов от диапазона региона и метода вычитания фона.
6. Составить отчёт о проделанной работе.

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: применять методы качественного и количественного анализа поверхности твердого тела              | 1. Энергетические электронные спектры электронов. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС).<br>2. Рентгеновский фотоэлектронный спектрометр. Рентгеновский источник. Глубина анализа. Фотоэлектронные процессы.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Уметь: проводить послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами РФЭС и ОС | 1. Определение элементного состава. Обозначения пиков. Спин-орбитальное взаимодействие. Зарядка мишени. Определение относительной концентрации. Методы вычитания фона.<br>2. Химический сдвиг. Профиль распределения по глубине. РФЭС с угловым разрешением. Сканирующая РФЭС. Теоретическая интерпретация фотоэлектронных спектров. Магический угол.<br>3. Профиль линии. Оже-спектроскопия (ОЭС). Сканирующий оже-микроскоп. Сравнение РФЭС и ОЭС. Варианты оже-процессов.<br>4. Переход Костера-Кронига. Кинетическая энергия оже-электрона. Глубина анализа. Количественный анализ. Фазовый анализ. |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 2 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Рентгеновский фотоэлектронный спектрометр. Рентгеновский источник. Монохроматор
2. Ионизация. Сечение ионизации  
При анализе линии Nb3d было определено четыре пика. Положение пиков на оси BE (энергия связи): 1) 202.2 эВ, 2) 203.3 эВ, 3) 204.9 эВ, 4) 206 эВ. Интенсивности пиков: 1) 300, 2) 600, 3) 200, 4) 400. Определите толщину оксидного слоя и формулу оксида. Средняя длина свободного неупругого пробега в оксиде ниобия равна 2.3 нм.

### Процедура проведения

Слепой выбор варианта, время на подготовку ответа, ответ

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-5<sub>ПК-1</sub> Знает методы определения параметров работы элементов энергетического оборудования и способен провести их оценку

### Вопросы, задания

- 1.1. Рентгеновский фотоэлектронный спектрометр. Рентгеновский источник. Монохроматор
2. Ионизация. Сечение ионизации  
При анализе линии Nb3d было определено четыре пика. Положение пиков на оси BE (энергия связи): 1) 202.2 эВ, 2) 203.3 эВ, 3) 204.9 эВ, 4) 206 эВ. Интенсивности пиков: 1) 300, 2) 600, 3) 200, 4) 400. Определите толщину оксидного слоя и формулу оксида. Средняя длина свободного неупругого пробега в оксиде ниобия равна 2.3 нм.
- 2.1. РФЭС. Фотоэлектронный спектр. Глубина анализа. Количественный анализ. Фактор элементной чувствительности.
2. Неупругое сечение рассеяния заряженных частиц. Интегральные характеристики неупругого рассеяния  
При анализе линии Nb3d было определено четыре пика. Положение пиков на оси BE (энергия связи): 1) 202.2 эВ, 2) 204.4 эВ, 3) 204.9 эВ, 4) 207.1 эВ. Интенсивности пиков: 1) 300, 2) 600, 3) 200, 4) 400. Определите толщину оксидного слоя и формулу оксида. Средняя длина свободного неупругого пробега в оксиде ниобия равна 2.3 нм.
- 3.1. Фотоэлектронные процессы. Энергия связи. Работа выхода
2. Упругое сечение рассеяния заряженных частиц. Индикатриса рассеяния. Однократное альbedo. Транспортное сечение  
При анализе спектра были обнаружены пики: 1) C 1s, 2) Nb 3d, 3) Nb 4p, 4) O 1s. Интенсивности пиков соответственно равны: 1) 400, 2) 1270, 3) 180, 4) 905. Определите относительную концентрацию элементов и степени окисления ниобия. Максимальная степень окисления Nb +5, степень окисления кислорода -2. Факторы чувствительности равны: 1) C1s - 1.00000, 2) O1s - 2.92987, 3) Nb4p - 1.16473, 4) Nb3d - 8.21042.
- 4.1. Фотоэлектронные процессы. Спин-орбитальное взаимодействие. Обозначения пиков.

2. Сечения рассеяния. Сечение Резерфорда. Связь между потенциалами и сечениями рассеяния

При анализе линии Nb3d было определено четыре пика. Положение пиков на оси BE (энергия связи): 1) 202.2 эВ, 2) 204.9 эВ, 3) 205.5 эВ, 4) 208.2 эВ. Интенсивности пиков: 1) 300, 2) 200, 3) 600, 4) 400. Определите толщину оксидного слоя и формулу оксида. Средняя длина свободного неупругого пробега в оксиде ниобия равна 2.3 нм.

5.1. РФЭС. Зарядка мишени. Смещение BE при зарядке мишени. Радиационные повреждения образцов.

2. Основы физики конденсированного состояния. Схема формирования энергетических зон. Зонная классификация твердых тел

При анализе спектра были обнаружены пики: 1) C 1s, 2) Nb 3d, 3) Nb 4p, 4) O 1s. Интенсивности пиков соответственно равны: 1) 590, 2) 1270, 3) 180, 4) 453. Определите относительную концентрацию элементов и степени окисления ниобия.

Максимальная степень окисления Nb +5, степень окисления кислорода -2.

Факторы чувствительности равны: 1) C1s - 1.00000, 2) O1s - 2.92987, 3) Nb4p - 1.16473, 4) Nb3d - 8.21042.

6.1. Теоретическая интерпретация фотоэлектронных пиков. Сечение рождения фотоэлектрона

2. Состояние электрона в атоме. Квантовая статистика

При анализе линии Nb3d было определено четыре пика. Положение пиков на оси BE (энергия связи): 1) 202.2 эВ, 2) 204.9 эВ, 3) 206.6 эВ, 4) 209.3 эВ. Интенсивности пиков: 1) 300, 2) 200, 3) 600, 4) 400. Определите толщину оксидного слоя и формулу оксида. Средняя длина свободного неупругого пробега в оксиде ниобия равна 2.3 нм.

7.1. РФЭС. Вычитание фона. Метод Ширли.

2. Столкновение двух частиц. Кинематика и динамика рассеяния

При анализе спектра были обнаружены пики: 1) C 1s, 2) Nb 3d, 3) Nb 4p, 4) O 1s.

Интенсивности пиков соответственно равны: 1) 700, 2) 600, 3) 85, 4) 142. Определите относительную концентрацию элементов и степени окисления ниобия.

Максимальная степень окисления Nb +5, степень окисления кислорода -2.

Факторы чувствительности равны: 1) C1s - 1.00000, 2) O1s - 2.92987, 3) Nb4p - 1.16473, 4) Nb3d - 8.21042

8.1. Получение профиля распределения по глубине с помощью РФЭС

2. Процессы, идущие при взаимодействии налетающих частиц с твердым телом

При анализе спектра были обнаружены пики: 1) C 1s, 2) Nb 3d, 3) Nb 4p, 4) O 1s.

Интенсивности пиков соответственно равны: 1) 100, 2) 846, 3) 120, 4) 201. Определите относительную концентрацию элементов и степени окисления ниобия.

Максимальная степень окисления Nb +5, степень окисления кислорода -2.

Факторы чувствительности равны: 1) C1s - 1.00000, 2) O1s - 2.92987, 3) Nb4p - 1.16473, 4) Nb3d - 8.21042.

9.1. РФЭС с угловым разрешением. Сканирующая РЭФС

2. Потери энергии на возбуждение плазменных колебаний. Плазмоны

При анализе линии Nb3d было определено четыре пика. Положение пиков на оси BE (энергия связи): 1) 202.2 эВ, 2) 204.9 эВ, 3) 207.7 эВ, 4) 210.4 эВ. Интенсивности пиков: 1) 300, 2) 200, 3) 600, 4) 400. Определите толщину оксидного слоя и формулу оксида. Средняя длина свободного неупругого пробега в оксиде ниобия равна 2.3 нм.

10.1. Электронная Оже-спектроскопия. Оже-спектрометр

2. Источники рентгеновского излучения

При анализе спектра были обнаружены пики: 1) C 1s, 2) Nb 3d, 3) Nb 4p, 4) O 1s.

Интенсивности пиков соответственно равны: 1) 2000, 2) 4930, 3) 700, 4) 880. Определите относительную концентрацию элементов и степени окисления ниобия.

Максимальная степень окисления Nb +5, степень окисления кислорода -2.

Факторы чувствительности равны: 1) C1s - 1.00000, 2) O1s - 2.92987, 3) Nb4p - 1.16473, 4) Nb3d - 8.21042.

## Материалы для проверки остаточных знаний

### 1.Электронная Оже-спектроскопия.

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Оже-электронная спектроскопия – это современная методика анализа поверхности, основанная на использовании первичного сфокусированного электронного пучка с энергиями, обычно составляющими от 2 до 10 кэВ, для зондирования поверхности твердого материала.

### 2.Переход Костера-Кронига.

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Переход Костера – Кронига это частный случай Оже процесс в котором вакансия заполняется электроном из более высокой оболочке той же оболочки. Если, Кроме того, испускаемый электрон («электрон Оже») также принадлежит той же оболочке, это называется супер переход Костера – Кронига

### 3.Конструкционные элементы электронного микроскопа

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Электронный микроскоп (ЭМ) — прибор, позволяющий получать изображение объектов с максимальным увеличением до 106 раз, благодаря использованию, в отличие от оптического микроскопа, вместо светового потока, пучка электронов с энергиями 200 эВ — 400 кэВ и более (например, просвечивающие электронные микроскопы высокого разрешения с ускоряющим напряжением 1 МВ). Длина волны де Бройля электронов, ускоренных в электрическом поле с разностью потенциалов 1000 В, равна 0,4 Å, что много меньше длины волны видимого света[1]. Вследствие этого, разрешающая способность электронного микроскопа в более чем 10000 раз может превосходить разрешение традиционного оптического микроскопа. Для получения изображения в электронном микроскопе используются специальные магнитные линзы, управляющие движением электронов в колонне прибора при помощи электромагнитного поля.

### 4.Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ).

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Просвечивающий (трансмиссионный) электронный микроскоп (ПЭМ, англ, ТЕМ — Transmission electron microscopy) — устройство для получения изображения с помощью проходящего через образец пучка электронов. Отличается от других типов электронных микроскопов тем, что электронный пучок просвечивает образец, неоднородное поглощение электронов разными участками образца дает двумерную картину распределения плотности прошедшего электронного потока. Прошедший через образец поток затем фокусируется на регистрирующей поверхности магнитными электронными линзами (электронной оптикой) в увеличенном размере. В качестве регистрирующей поверхности применяют флуоресцентные экраны, покрытые слоем люминофора, фотопленку или фотопластинку, или приборы с зарядовой связью (на ПЗС-матрице). Например, на слое люминофора образуется светящееся видимое изображение.

### 5.Сканирующий (растровый) электронный микроскоп (РЭМ)

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Растровый электронный микроскоп (РЭМ) или сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) (англ. scanning electron microscope, SEM) — прибор класса электронный микроскоп, предназначенный для получения изображения поверхности объекта с высоким (до 0,4 нанометра) пространственным разрешением, также информации о составе, строении и некоторых других свойствах приповерхностных слоёв. Основан на принципе взаимодействия электронного пучка с исследуемым объектом. Современный РЭМ позволяет работать в широком диапазоне увеличений приблизительно от 3—10 раз (то есть эквивалентно увеличению сильной ручной линзы) до 1 000 000 раз, что приблизительно в 500 раз превышает предел увеличения лучших оптических микроскопов. Сегодня возможности растровой электронной микроскопии используются практически во всех областях науки и промышленности, от биологии до наук о материалах. Существует огромное число выпускаемых рядом фирм разнообразных конструкций и типов РЭМ, оснащённых детекторами различных типов.

#### 6. Потенциалы взаимодействия

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Потенциалом взаимодействия называют физическую величину, различие значений которой внутри системы и в окружающей среде приводит к возникновению обмена энергией в соответствующей форме. Потенциалы взаимодействия – это интенсивные величины. Совершение механической работы возможно, когда имеется разность давлений. Это означает, что механическим потенциалом взаимодействия является давление.

#### 7. Фотоэлектронная спектроскопия

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Фотоэлектронная спектроскопия — метод изучения строения вещества, основанный на измерении энергетических спектров электронов, вылетающих при фотоэлектронной эмиссии. Метод фотоэлектронной спектроскопии применим к веществу в газообразном, жидком и твёрдом состояниях, и позволяет исследовать как внешние, так и внутренние электронные оболочки атомов и молекул, уровни энергии электронов в твёрдом теле (в частности, распределение электронов в зоне проводимости). В фотоэлектронной спектроскопии применяются монохроматическое рентгеновское или ультрафиолетовое излучения с энергией фотонов от десятков тысяч до десятков эВ. Источником света в фотоэлектронных спектрометрах служит излучение рентгеновской трубки, разряда в гелии и синхротронное излучение.

#### 8. Формула Резерфорда (Сечение Резерфорда)

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Формула Резерфорда — формула для дифференциального эффективного поперечного сечения рассеяния нерелятивистских заряженных частиц в телесный угол  $\Omega$  в кулоновском поле другой неподвижной заряженной частицы или ядра (мишени). Подтверждена эмпирически Э. Резерфордом в 1911 году в опытах по рассеянию  $\alpha$ -частиц на тонкой золотой фольге субмикронной толщины

#### 9. Ионизация

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Ионизация — эндотермический процесс образования ионов из нейтральных атомов или молекул. Положительно заряженный ион образуется, если электрон в молекуле получает достаточную энергию для преодоления потенциального барьера, равную ионизационному потенциалу. Отрицательно

заряженный ион, наоборот, образуется при захвате дополнительного электрона атомом с высвобождением энергии

#### 10.Плазмон

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Плазмон является квазичастицей, возникающей за счёт квантования плазменных колебаний, которые представляют собой коллективные колебания свободного электронного газа. Плазмон играет большую роль в оптических свойствах металлов. Свет с частотой ниже плазменной частоты отражается, потому что электроны в металле экранируют электрическое поле в световой электромагнитной волне.

### ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***