

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

Рабочая программа дисциплины
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА И
НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08.03.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	2 семестр - 16 часов;
Практические занятия	2 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Индивидуальный проект	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лубенченко А.В.
	Идентификатор	R4e612482-LubenchenkoAV-ecf64b

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

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение методов анализа поверхности для последующего использования в ядерной энергетике и теплофизике.

Задачи дисциплины

- ознакомление с элементной базой установок для анализа поверхности;
- ознакомление с современными методами анализа поверхности;;
- изучение теоретических основ методов рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и электронной оже-спектроскопии (ЭОС);;
- формирование навыков анализа поверхности методами РФЭС и ЭОС..

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования	ИД-5 _{ПК-1} Знает методы определения параметров работы элементов энергетического оборудования и способен провести их оценку	знать: - основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности; - теоретические основы формирования электронных спектров; уметь: - проводить послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами РФЭС и ОС; - применять методы качественного и количественного анализа поверхности твердого тела.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Физика и техника низких температур (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности
- знать теоретические основы формирования электронных спектров;
- уметь применять методы качественного и количественного анализа поверхности твердого тела
- уметь проводить послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами РФЭС и ОС

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок	27	2	4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [1], 5-82
1.1	Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	
2	Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [2], 5-250
2.1	Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	
3	Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	
3.1	Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	
4	Послойный химический и	27	4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i>	

	фазовый анализ ультратонких и тонких пленок												[3], 25-78 [4], 15-150
4.1	Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок	27	4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	16	-	32	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0	16	-	32		2		-	0.5		93.5	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок

1.1. Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок

Основные элементы установки для анализа поверхности. Вакуумная система. Вакуумные насосы. Вакуумные измерения. Манометры и вакууметры. Методы течеискания. Энергоанализаторы и электронная оптика. Основное оборудование низкотемпературных установок: компрессора, теплообменники, дроссели. Энергоанализатор с задерживающим полем. Отклоняющие электростатические энергоанализаторы. Анализатор цилиндрическое зеркало. Полусферический анализатор. Источники частиц и излучения. Вторичный электронный умножитель. Фотоэлектронный умножитель. Полупроводниковый детектор. Сцинтилляционный счетчик. Детекторы вторичных и отраженных электронов. Канальный электронный умножитель. Микроканальные пластины. Масс-спектрометры. Системы разделения ионов. Источники частиц и излучения. Электронная пушка с термоэлектронной эмиссией. Электронная пушка с полевой эмиссией. Генератор высокого напряжения. Ионные пушки. Источники ионов. Источники рентгеновского и ультрафиолетового излучения. Схема рентгеновской трубки с двумя анодами..

2. Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности

2.1. Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности

Электронная микроскопия. Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ). Режимы работы ПЭМ. Сканирующий (растровый) электронный микроскоп. Химический анализ. Структурный анализ. Дифракция обратно рассеянных электронов. Зондовая микроскопия. Сканирующий зондовый микроскоп. Электронная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Оже-электронная спектроскопия. Ионная спектроскопия. Спектроскопия обратного рассеяния Резерфорда. Масс-спектроскопия вторичных ионов..

3. Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности

3.1. Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности

Пределы классического описания. Столкновение двух частиц. Потенциалы взаимодействия. Состояние электрона в атоме. Квантовая статистика. Основы физики конденсированного состояния. Зонная классификация твердых тел. Упругое рассеяние заряженных частиц. Неупругое рассеяние заряженных частиц в твердом теле. Сечения рассеяния. Дифференциальное упругое сечение рассеяния. Индикатриса рассеяния. Дифференциальное неупругое сечение рассеяния. Средняя неупругая длина свободного пробега электронов. Тормозная способность вещества. Характеристические потери энергии электронов в твердом теле. Ионизация. Потери на возбуждение плазменных колебаний. Модельные неупругие индикатрисы рассеяния. Многократное рассеяние заряженных частиц в веществе. Закон Бугера..

4. Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок

4.1. Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок

Энергетические электронные спектры электронов. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Рентгеновский фотоэлектронный спектрометр. Рентгеновский источник. Глубина анализа. Фотоэлектронные процессы. Определение элементного состава. Обозначения пиков. Спин-орбитальное взаимодействие. Зарядка мишени. Определение относительной концентрации. Методы вычитания фона. Химический сдвиг. Профиль распределения по глубине. РФЭС с угловым разрешением. Сканирующая РФЭС.

Теоретическая интерпретация фотоэлектронных спектров. Магический угол. Профиль линии. Оже-спектроскопия (ОЭС). Сканирующий оже-микроскоп. Сравнение РФЭС и ОЭС. Варианты оже-процессов. Переход Костера-Кронига. Кинетическая энергия оже-электрона. Глубина анализа. Количественный анализ. Фазовый анализ..

3.3. Темы практических занятий

1. Проведение калибровочных экспериментов, выбор режимов работы и настройка энергоанализатора;
2. Подготовка вакуумного и аналитического оборудования к проведению экспериментальных исследований. Подготовка образцов для проведения вакуумных исследований.;
3. Определение толщины тонкого слоя на поверхности твёрдого тела методом РФЭС;
4. Фазовый анализ поверхности твёрдого тела методами РФЭС и ОЭС;
5. Определение элементного состава поверхности и относительной концентрации элементов методами РФЭС и ОЭС;
6. Методы вычитания фона: линейный, Ширли и Туогарда;
7. Характеристические потери энергии электронов в твёрдом теле;
8. Столкновение двух частиц. Потенциалы взаимодействия. Сечения рассеяния.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
теоретические основы формирования электронных спектров;	ИД-5ПК-1		+			Тестирование/Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности
основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности	ИД-5ПК-1	+				Тестирование/Основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности
Уметь:						
применять методы качественного и количественного анализа поверхности твердого тела	ИД-5ПК-1			+		Индивидуальный проект/Определение относительной концентрации элементов методом РФЭС Индивидуальный проект/Определение степени окисления поверхности и толщины окисленного слоя методом РФЭС
проводить послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок методами РФЭС и ОС	ИД-5ПК-1				+	Индивидуальный проект/Определение относительной концентрации элементов методом РФЭС Индивидуальный проект/Определение степени окисления поверхности и толщины окисленного слоя методом РФЭС

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

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)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Фелдман, Л. Основы анализа поверхности и тонких пленок = Fundamentals of surface and thin film analysis : пер. с англ. / Л. Фелдман, Д. Майер ; ред. В. В. Белошицкий . – М. : Мир, 1989 . – 342 с.;
2. Введение в физику поверхности / К. Оура, и др., Рос.акад. наук, Дальневост. отд-ние, ин-т автоматики и процессов управления . – М. : Наука, 2006 . – 490 с. - ISBN 5-02-034355-2 .;
3. Нефедов, В. И. Физические методы исследования поверхности твердых тел / В. И. Нефедов, В. Т. Черепин, Акад. наук СССР. Ин-т общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова . – М. : Наука, 1983 . – 296 с.;
4. Берлин Е. В., Сейдман Л. А.- "Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением", Издательство: "Техносфера", Москва, 2014 - (256 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=73531.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Windows / Операционная система семейства Linux;
2. Scilab.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
2. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
3. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
	А-114, Учебная лаборатория «Механика и молекулярная физика»	стол, стул, шкаф, доска маркерная, оборудование учебное, техническая аппаратура, компьютер персональный, принтер, инвентарь специализированный, стенд лабораторный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
	А-114, Учебная лаборатория «Механика и молекулярная физика»	стол, стул, шкаф, доска маркерная, оборудование учебное, техническая аппаратура, компьютер персональный, принтер, инвентарь специализированный, стенд лабораторный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
	А-114, Учебная лаборатория «Механика и молекулярная физика»	стол, стул, шкаф, доска маркерная, оборудование учебное, техническая аппаратура, компьютер персональный, принтер, инвентарь специализированный, стенд лабораторный
Помещения для	М-411/1,	стол, стул, доска меловая, мультимедийный

самостоятельной работы	Компьютерный класс	проектор, компьютер персональный
Помещения для консультирования	М-402, Аудитория каф. "ИТ"	стеллаж для хранения книг, стул, стол письменный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-407/1, Кладовая	стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Исследование поверхности в условиях вакуума и низких температур

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Основные узлы сверхвысоковакуумных установок для анализа поверхности (Тестирование)
- КМ-2 Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности (Тестирование)
- КМ-3 Определение относительной концентрации элементов методом РФЭС (Индивидуальный проект)
- КМ-4 Определение степени окисления поверхности и толщины окисленного слоя методом РФЭС (Индивидуальный проект)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок					
1.1	Основные узлы сверхвысоко-вакуумных аналитических установок		+			
2	Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности					
2.1	Методы анализа: микроскопия и спектроскопия поверхности			+		
3	Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности					
3.1	Физические явления, лежащие в основе методов анализа поверхности				+	+
4	Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок					
4.1	Послойный химический и фазовый анализ ультратонких и тонких пленок				+	+
Вес КМ, %:			15	25	30	30