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

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Наименование образовательной программы: Нанотехнология в электронике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Блок:	**Блок 1 «Дисциплины (модули)»**
Часть образовательной программы:	**Часть, формируемая участниками образовательных отношений**
№ дисциплины по учебному плану:	**Б1.Ч.01.09**
Трудоемкость в зачетных единицах:	**6 семестр - 3;**
Часов (всего) по учебному плану:	**108 часов**
Лекции	**6 семестр - 28 часа;**
Практические занятия	**6 семестр - 14 часов;**
Лабораторные работы	**не предусмотрено учебным планом**
Консультации	**проводится в рамках часов аудиторных занятий**
Самостоятельная работа	**6 семестр - 65,7 часа;**
в том числе на КП/КР	**не предусмотрено учебным планом**
Иная контактная работа	**проводится в рамках часов аудиторных занятий**
включая: **Контрольная работа** **Реферат**	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	**6 семестр - 0,3 часа;**

Москва 2019

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Зайцев Ю.В. Идентификатор: Rb7a6cef7-ZaitsevYV-c77407dc	Ю.В. Зайцев
(должность)	(подпись)	(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Холодный Д.С. Идентификатор: R0bac9dac-KholodnyDS-6393810d	Д.С. Холодный
(должность, ученая степень, ученое звание)	(подпись)	(расшифровка подписи)
Заведующий выпускающей кафедры	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Славинский А.З. Идентификатор: R99b3b9ab-SlavinskyAZ-c08f5214	А.З. Славинский
(должность, ученая степень, ученое звание)	(подпись)	(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Целью освоения дисциплины является изучение физических основ методов исследования поверхностных явлений полупроводников, основных параметров и характеристик поверхности полупроводников, принципа действия методов исследования, области применения этих методов.

Задачи дисциплины

- освоение физических методов исследования поверхности полупроводников;
- изучение принципов действия методов исследования поверхности полупроводников и способов их реализации;
- обучение методам расчета, моделирования и исследования параметров и характеристик поверхности компонентов электронных схем.

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-3 Способен участвовать в проведении технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	ИД-1$_{ПК-3}$ Знает базовые технологические процессы изготовления материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	знать: - классификацию методов исследования поверхности полупроводниковых материалов; - физико-технологические основы проблем структур твердотельной электроники, связанных с явлениями на поверхности. уметь: - осуществлять методику расчёта параметров поверхности полупроводниковых материалов; - самостоятельно разбираться в методах исследования и расчета параметров свойств поверхности полупроводниковых материалов.
ПК-3 Способен участвовать в проведении технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	ИД-2$_{ПК-3}$ Знает об физико-химических основах 9 технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	знать: - основы строения поверхности и методы измерения состава поверхности и методику расчёта параметров поверхности полупроводниковых материалов. уметь: - измерять свойства поверхности полупроводниковых материалов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнология в электронике (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ 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	Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела	21	6	7	-	2	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела" ***Подготовка к аудиторным занятиям:*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***Подготовка к практическим занятиям:*** Изучение материала по разделу "Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела" ***Подготовка расчетных заданий:*** Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:
1.1	Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела	21		7	-	2	-	-	-	-	-	12	-	

														Изучение материалов литературных источников: [4], 6-22
2	Классификация аналитических методов исследования поверхности	23		7	-	4	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Классификация аналитических методов исследования поверхности"
2.1	Классификация аналитических методов исследования поверхности	23		7	-	4	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка к аудиторным занятиям:*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***Подготовка к контрольной работе:*** Изучение материалов по разделу Классификация аналитических методов исследования поверхности и подготовка к контрольной работе ***Подготовка к практическим занятиям:*** Изучение материала по разделу "Классификация аналитических методов исследования поверхности" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Классификация аналитических методов исследования поверхности" ***Подготовка расчетных заданий:*** Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Классификация аналитических методов исследования поверхности". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: ***Изучение материалов литературных источников:*** [1], 6-12

3	Методы исследования поверхности полупроводников	25		7	-	6	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Методы исследования поверхности полупроводников" ***Подготовка к аудиторным занятиям:*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***Подготовка к контрольной работе:*** Изучение материалов по разделу Методы исследования поверхности полупроводников и подготовка к контрольной работе ***Подготовка к практическим занятиям:*** Изучение материала по разделу "Методы исследования поверхности полупроводников" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Методы исследования поверхности полупроводников" ***Подготовка расчетных заданий:*** Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Методы исследования поверхности полупроводников". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: ***Изучение материалов литературных источников:*** [1], 12-32 [2], 10-44 [3], 27-47
3.1	Методы исследования поверхности полупроводников	25		7	-	6	-	-	-	-	-	12	-	
4	Перспективные методы анализа. Сравнительный	21		7	-	2	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Перспективные методы анализа.

	анализ методов													Сравнительный анализ методов"
4.1	Перспективные методы анализа. Сравнительный анализ методов	21		7	-	2	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка к аудиторным занятиям:*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***Подготовка к практическим занятиям:*** Изучение материала по разделу "Перспективные методы анализа. Сравнительный анализ методов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Перспективные методы анализа. Сравнительный анализ методов" ***Подготовка расчетных заданий:*** Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Перспективные методы анализа. Сравнительный анализ методов". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: ***Изучение материалов литературных источников:*** [5], 4-24
	Зачет с оценкой	18.0		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	**108.0**		**28**	**-**	**14**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.3**	**48**	**17.7**	
	Итого за семестр	**108.0**		**28**	**-**	**14**	**-**		**-**		**0.3**	**65.7**		

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. Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела

1.1. Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела

Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела. Поверхность как разновидность дефектов твердого тела. Поверхность и межфазовые границы раздела в технологии полупроводниковой микроэлектроники..

2. Классификация аналитических методов исследования поверхности

2.1. Классификация аналитических методов исследования поверхности

Классификация аналитических методов исследования поверхности Их краткая характеристика. Возможности методов исследования поверхности полупроводников. Основные методы исследования поверхности полупроводников и их назначение..

3. Методы исследования поверхности полупроводников

3.1. Методы исследования поверхности полупроводников

Методы электронной спектроскопии. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Поглощение фотонов в твердых телах. Вероятность переходов. Фотоэлектрический эффект в приближении прямоугольной ямы. Электронная Оже-спектроскопия (ЭОС). Не излучательные переходы. Кинетическая энергия эмитированных Оже-электронов. Энергетические уровни, химические сдвиги и форма пиков. Вероятность KLL-переходов в водородоподобном атоме. Выход Оже-электронов и флюоресценция. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФЭС). Источники излучения в УФЭС, использование синхротронного излучения. Методы ионной спектроскопии. Кинетика упругих столкновений. Спектроскопия рассеяния медленных ионов (РМИ). Структурные эффекты в РМИ. Спектроскопия обратного рассеяния Резерфорда (РОР). Поверхностно-барьерные датчики заряженных частиц. Потери энергии легких ионов высоких энергий в твердых телах. Масс-спектроскопия вторичных ионов (МСВИ). Методы детектирования вторичных ионов. Избирательное распыление элементов и анализ их распределения по глубине. Уширение внутренней границы раздела и ионное перемешивание. Сканирующая зондовая микроскопия поверхности полупроводников..

4. Перспективные методы анализа. Сравнительный анализ методов

4.1. Перспективные методы анализа. Сравнительный анализ методов

Сравнительный анализ электронной Оже спектроскопии и метода ионной спектроскопии. Оценка степени достоверности получаемых экспериментальных результатов..

3.3. Темы практических занятий

1. Особенности измерений в ультрафиолетовой области спектра (2 часа).;
2. Спектроскопия рассеяния медленных ионов на поверхности полупроводника (2 часа).;
3. Исследование состояния и характеристик поверхности полупроводниковых подложек (2 часа).;
4. Исследование поверхности полупроводников методом сканирующей зондовой спектроскопии (4 часа).;
5. Измерение свойств поверхности полупроводниковых материалов методами термостимулированного анализ (2 часа).;
6. Практика измерений оптических свойств поверхности полупроводниковых

материалов. Подготовка измерительных приборов
(2 часа).;
7. Практические особенности метода Оже - спектроскопии (2 часа)..

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации проводятся по разделу "Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела"
2. Консультации проводятся по разделу "Классификация аналитических методов исследования поверхности"
3. Консультации проводятся по разделу "Методы исследования поверхности полупроводников"
4. Консультации проводятся по разделу "Перспективные методы анализа. Сравнительный анализ методов"

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:						
физико-технологические основы проблем структур твердотельной электроники, связанных с явлениями на поверхности	ИД-1$_{ПК-3}$		+			Контрольная работа/КМ-2Тест: «Физико-технологические основы проблем, связанных с явлениями на поверхности при работе полупроводниковых материалов»
классификацию методов исследования поверхности полупроводниковых материалов	ИД-1$_{ПК-3}$		+			Контрольная работа/КМ-1Тест: «Классификация методов исследования поверхности полупроводников»
основы строения поверхности и методы измерения состава поверхности и методику расчёта параметров поверхности полупроводниковых материалов	ИД-2$_{ПК-3}$	+				Контрольная работа/КМ-3 тест «Основы строения поверхности полупроводников и поверхностные процессы»
Уметь:						
самостоятельно разбираться в методах исследования и расчета параметров свойств поверхности полупроводниковых материалов	ИД-1$_{ПК-3}$			+		Реферат/КМ-5 Выполнение и защита расчетного задания: «Расчёт параметров технологических дефектов поверхности различных полупроводниковых и диэлектрических материалов».
осуществлять методику расчёта параметров поверхности полупроводниковых материалов	ИД-1$_{ПК-3}$	+				Контрольная работа/КМ-4 Контрольная работа: «Методы исследования свойств поверхности полупроводников, при их работе в электронных схемах»
измерять свойства поверхности полупроводниковых материалов	ИД-2$_{ПК-3}$				+	Контрольная работа/КМ-4 Контрольная работа: «Методы исследования свойств поверхности полупроводников, при их работе в электронных схемах»

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

6 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-1Тест: «Классификация методов исследования поверхности полупроводников» (Контрольная работа)
2. КМ-2Тест: «Физико-технологические основы проблем, связанных с явлениями на поверхности при работе полупроводниковых материалов» (Контрольная работа)
3. КМ-3 тест «Основы строения поверхности полупроводников и поверхностные процессы» (Контрольная работа)
4. КМ-4 Контрольная работа: «Методы исследования свойств поверхности полупроводников, при их работе в электронных схемах» (Контрольная работа)
5. КМ-5 Выполнение и защита расчетного задания: «Расчёт параметров технологических дефектов поверхности различных полупроводниковых и диэлектрических материалов». (Реферат)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №6)

Прибавление баллов промежуточной аттестации для получения итоговой оценки по курсу

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Антонов, В. А. Методы исследования поверхности полупроводниковых материалов : учебное пособие по курсу "Методы исследования поверхности полупроводников" по направлению "Электроника и наноэлектроника" / В. А. Антонов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2017 . – 40 с. - ISBN 978-5-7046-1778-5 . http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8935;
2. Антонов, В. А. Методы исследования поверхности полупроводников : учебное пособие по курсу "Методы исследования поверхности полупроводников" по направлению 11.03.04 "Электроника и наноэлектроника" / В. А. Антонов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 47 с. - ISBN 978-5-7046-1921-5 . http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10220;
3. Антонов, В. А. Экспериментальные методы исследования поверхности полупроводников : учебное пособие по курсу "Методы исследования поверхности полупроводников" по направлению 11.03.04 "Электроника и наноэлектроника" / В. А. Антонов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019 . – 52 с. - ISBN 978-5-7046-2106-5 . http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10757;

4. 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 .;
5. Мокроусов Г. М., Зарубина О. Н., Бекезина Т. П.- "Межфазные превращения и формирование поверхности многокомпонентных полупроводников в жидких средах", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2015 - (112 с.) http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=65046.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
1. Windows;
2. MathCad;
3. Windows Server;
4. Kali Linux.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:
1. **ЭБС Лань** - https://e.lanbook.com/
2. **Научная электронная библиотека** - https://elibrary.ru/
3. **База данных ВИНИТИ online** - http://www.viniti.ru/
4. **Электронные ресурсы издательства Springer** - https://link.springer.com/
5. **База данных Web of Science** - http://webofscience.com/
6. **База данных Scopus** - http://www.scopus.com
7. **Национальная электронная библиотека** - https://rusneb.ru/
8. **Журналы издательства Cambridge University Press** - https://www.cambridge.org/core
9. **База данных диссертаций ProQuest Dissertations and Theses Global** - https://search.proquest.com/pqdtglobal/index
10. **Журнал Science** - https://www.sciencemag.org/
11. **Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ)** - http://elib.mpei.ru/login.php
12. **База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ** - https://rosmintrud.ru/opendata
13. **База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ** - http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/
14. **Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ"** - https://www.polpred.com

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
	отсутствует	

Приложение А

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Методы исследования поверхности полупроводников

(название дисциплины)

6 семестр

Перечень контрольных мероприятий <u>текущего контроля</u> успеваемости по дисциплине:

КМ-1 КМ-1Тест: «Классификация методов исследования поверхности полупроводников» (Контрольная работа)

КМ-2 КМ-2Тест: «Физико-технологические основы проблем, связанных с явлениями на поверхности при работе полупроводниковых материалов» (Контрольная работа)

КМ-3 КМ-3 тест «Основы строения поверхности полупроводников и поверхностные процессы» (Контрольная работа)

КМ-4 КМ-4 Контрольная работа: «Методы исследования свойств поверхности полупроводников, при их работе в электронных схемах» (Контрольная работа)

КМ-5 КМ-5 Выполнение и защита расчетного задания: «Расчёт параметров технологических дефектов поверхности различных полупроводниковых и диэлектрических материалов». (Реферат)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	6	8	12	14
1	Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела						
1.1	Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела				+	+	
2	Классификация аналитических методов исследования поверхности						
2.1	Классификация аналитических методов исследования поверхности		+	+			
3	Методы исследования поверхности полупроводников						
3.1	Методы исследования поверхности полупроводников						+
4	Перспективные методы анализа. Сравнительный анализ методов						
4.1	Перспективные методы анализа. Сравнительный анализ методов					+	
		Вес КМ, %:	20	20	20	20	20