

**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 нанoeлектроника**

**Наименование образовательной программы: Нанотехнология в электронике**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Методы исследования поверхности полупроводников**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Антонов В. А.
	Идентификатор	R9081edee-AntonovVA-4b80b823

(подпись)

В.А. Антонов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Холодный Д.С.
	Идентификатор	R0bac9dac-KholodnyDS-6393810f

(подпись)

Д.С.  
Холодный

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Славинский А.З.
	Идентификатор	R99b3b9ab-SlavinskyAZ-c08f5214

(подпись)

А.З.  
Славинский

(расшифровка  
подписи)

## 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-3 Способен участвовать в проведении технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники

ИД-1 Знает базовые технологические процессы изготовления материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники

ИД-2 Знает об физико-химических основах 9 технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

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

2. КМ-2 Тест: «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)

## БРС дисциплины

6 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	6	8	12	14
Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела						
Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твердого тела			+	+		
Классификация аналитических методов исследования поверхности						
Классификация аналитических методов исследования поверхности	+	+				
Методы исследования поверхности полупроводников						

Методы исследования поверхности полупроводников					+
Перспективные методы анализа. Сравнительный анализ методов					
Перспективные методы анализа. Сравнительный анализ методов				+	
Вес КМ:	20	20	20	20	20

\$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-3	ИД-1 <sub>ПК-3</sub> Знает базовые технологические процессы изготовления материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники	<p>Знать:</p> <p>физико-технологические основы проблем структур твердотельной электроники, связанных с явлениями на поверхности классификацию методов исследования поверхности полупроводниковых материалов</p> <p>Уметь:</p> <p>самостоятельно разбираться в методах исследования и расчета параметров свойств поверхности полупроводниковых материалов осуществлять методику расчёта параметров поверхности полупроводниковых материалов</p>	<p>КМ-1 Тест: «Классификация методов исследования поверхности полупроводников» (Контрольная работа)</p> <p>КМ-2 Тест: «Физико-технологические основы проблем, связанных с явлениями на поверхности при работе полупроводниковых материалов» (Контрольная работа)</p> <p>КМ-4 Контрольная работа: «Методы исследования свойств поверхности полупроводников, при их работе в электронных схемах» (Контрольная работа)</p> <p>КМ-5 Выполнение и защита расчетного задания: «Расчёт параметров технологических дефектов поверхности различных полупроводниковых и диэлектрических материалов». (Реферат)</p>
ПК-3	ИД-2 <sub>ПК-3</sub> Знает об физико-химических основах 9	Знать: основы строения	КМ-3 тест «Основы строения поверхности полупроводников и поверхностные процессы» (Контрольная работа)

	<p>технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники</p>	<p>поверхности и методы измерения состава поверхности и методику расчёта параметров поверхности полупроводниковых материалов  Уметь:  измерять свойства поверхности полупроводниковых материалов</p>	<p>КМ-4 Контрольная работа: «Методы исследования свойств поверхности полупроводников, при их работе в электронных схемах»  (Контрольная работа)</p>
--	--	--	---

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

### **КМ-1. КМ-1Тест: «Классификация методов исследования поверхности полупроводников»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты в аудитории, в течении 1 часа 30 минут, письменно выполняют задание по тестированию

#### **Краткое содержание задания:**

Студенты должны выбрать правильные ответы и письменно ответить, обосновать свой выбор

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: классификацию методов исследования поверхности полупроводниковых материалов	1. Сколько существуют методов исследования электрических характеристик поверхности полупроводников? 1. Существует 2 метода? 2. Существует 3 метода? 3. Существует 4 метода?
--	--

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### **КМ-2. КМ-2Тест: «Физико-технологические основы проблем, связанных с явлениями на поверхности при работе полупроводниковых материалов»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты в аудитории, в течении 1 часа 30 минут, письменно выполняют задание по тестированию

#### **Краткое содержание задания:**

Студенты должны выбрать правильные ответы и письменно обосновать свой выбор

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: физико-технологические основы проблем структур твердотельной электроники, связанных с явлениями на поверхности	<p>1. Сколько существуют методов технологического контроля при исследовании процессов на поверхности при работе полупроводниковых приборов?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Существует 3 метода?</li> <li>2. Существует 4 метода?</li> <li>3. Существует 6 методов?</li> </ol>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

**КМ-3. КМ-3 тест «Основы строения поверхности полупроводников и поверхностные процессы»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты в аудитории, в течении 1 часа 30 минут, письменно выполняют задание по тестированию

**Краткое содержание задания:**

Студенты должны выбрать правильные ответы и письменно обосновать свой выбор

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основы строения поверхности и методы измерения состава поверхности и методику расчёта параметров поверхности полупроводниковых материалов	<p>1. Сколько существуют методов исследования дефектов на поверхности полупроводника?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Существует 2 метода?</li> <li>2. Существует 3 метода?</li> <li>3. Существует 4 метода?</li> </ol>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*



*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

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

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты в аудитории, в течении 1 часа 30 минут, письменно выполняют задание по контрольной работе

**Краткое содержание задания:**

Студенты должны письменно, в течении отведенного времени, ответить на вопросы и выполнить задания в контрольной работе

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: осуществлять методику расчёта параметров поверхности полупроводниковых материалов	1.Как самостоятельно выбрать метод исследования параметров свойств поверхности полупроводниковых материалов?
Уметь: измерять свойства поверхности полупроводниковых материалов	1.Как осуществлять методику расчёта параметров поверхности полупроводниковых материалов?

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка:* 4

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

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

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Реферат

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент самостоятельно письменно выполняет расчетное задание, который выдал преподаватель, затем его сдает на проверку, устраняет замечания и защищает его у преподавателя на 16 учебной недели.

**Краткое содержание задания:**

Студент самостоятельно, после получения у преподавателя расчетного задания, должен к 16 учебной недели, письменно выполнить индивидуальное расчетное задание и сдать его на проверку

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: самостоятельно разбираться в методах исследования и расчета параметров свойств поверхности полупроводниковых материалов	1.Как рассчитать основные параметры технологических дефектов в диэлектрических материалах?
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 6 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Пример билета

1. Вопрос 1. Методы исследования электрических характеристик поверхности полупроводников. Их классификация. Их краткая характеристика и назначение.

Вопрос 2. Хемосорбция поверхности полупроводника. Травление поверхности полупроводника

### Процедура проведения

В определённый день и время, установленные учебным управлением, студенты собираются в аудитории, указанной в расписании, для проведения зачета (экзамена). Условием допуска на зачет (экзамен) является выполнение всех пяти контрольных мероприятий (КМ), указанных в РПД и в системе БАРС. Студент сам берет (вытаскивает) вариант зачета (экзаменационный билет) не видя его содержания. Далее подготовка к ответу на вопросы в течении 30 минут и ответ преподавателю в течении 15 минут. На основании ответа преподаватель определяет оценку по пяти бальной системе.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-3</sub> Знает базовые технологические процессы изготовления материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники

### Вопросы, задания

1. Получение энергетического Оже-спектра. Основные факторы, влияющие на ток Оже-электронов. Применение Оже-спектроскопии?
2. Энергоанализаторы Оже-электронов с продольными и поперечными электрическими полями?
3. Оже – спектроскопия. Методика эксперимента. Блок схема Оже - спектрометра?
4. Эффект Оже. Оже- процесс и его две стадии. Определение кинетической энергии вылетающих электронов. Глубина выхода Оже-электронов?
- 5.. Хемосорбция поверхности полупроводника. Травление поверхности полупроводника?
6. Метод спектроскопии характеристических электронных потерь энергии электронами. Группы процессов рассеяния. Применение метода?
7. Влияние состояния поверхности полупроводника и границы его раздела на работу полупроводниковых приборов.?
8. Методы анализа металлических загрязнений на поверхности полупроводника. Методы исследования рельефа поверхности подложек. Их характеристика?
9. Методы анализа механических частиц и органических загрязнений на поверхности полупроводниковых пластин. Их характеристика?
10. Влияние микронеровностей и кристаллических дефектов поверхности на характеристики микроэлектронных изделий?

## Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какие критерии определяют процесс хемосорбции?

Ответы:

1. Теплота адсорбции.
2. Величина силы Ван-дер-Ваальса.
3. Энергия активации.

Верный ответ: Ответ 1 и 3

2. Какие типы метода масс -спектрологии вторичных ионов используют при исследовании поверхности полупроводника?

Ответы:

1. Статистический тип.
2. динамический тип.
3. электронейтральный тип

Верный ответ: Ответ 1 и 2.

3. Какие процессы рассеяния приводят к характеристическим потерям энергии электронов в методе спектроскопии характеристических электронных потерь при исследовании поверхности полупроводника?

Ответы:

1. Возбуждение глубоких уровней
2. Возбуждение экситонов.
3. Возбуждение колебаний атомов поверхности полупроводника.

Верный ответ: Ответ 1 и 3.

4. Какие состояния области пространственного заряда на поверхности полупроводника создает внешнее электрическое поле?

Ответы:

1. Область обогащения
2. Область пресыщения
3. Область истощения.
4. Область инверсии.

Верный ответ: Ответы 1,3,4

5. Какие основные типы загрязнений поверхности полупроводников исследуются на практике?

Ответы:

1. Механические загрязнения
2. Металлические загрязнения
3. Аэрозольные загрязнения
4. Органические загрязнения..
5. Загрязнения от моющих составов.

Верный ответ: Ответы 1, 2, 4.

6. Сколько методов исследования характеристик поверхностных электронных процессов на поверхности полупроводников используют на практике?

Ответы:

1. Четыре метода исследований.
2. Три основных метода исследований.
3. Пять методов исследований.

Верный ответ: Ответ 3

7. Сколько основных методов исследования электрических характеристик поверхности полупроводников используют на практике?

Ответы:

1. Четыре основных метода исследований.
2. Три основных метода исследований.
3. Два основных метода исследований.

Верный ответ: Ответ 2

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-3 Знает об физико-химических основах 9 технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники

### Вопросы, задания

1. Этапы развития физики поверхности. Их характеристика. Основные достижения на каждом из этапов?
2. Реальная поверхность полупроводника и поверхностные (таммовские) состояния электронов.?
3. Интерпретация метода обратного резерфордовского рассеяния. Виды спектров обратного рассеяния резерфорда для различных структур образца?
4. Спектроскопия резерфордовского обратного рассеяния. Эффект каналирования. Схема экспериментальной установки. Назначение.?
5. Методы ионной спектроскопии твердого тела, её основы, её преимущества. Блок схема эксперимента. Виды ионной спектроскопии?
6. Метод ультрафиолетовой электронной спектроскопии. Метод оптической фотоэлектронной спектроскопии, её виды. Блок схема спектрометра?
7. Метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и его физические и технические основы. Источник излучения и энергоанализаторы в спектрометре?
8. Основное уравнение Оже-спектроскопии. Количественные методы оценки концентрации Оже-электронов. Применение Оже-спектроскопии?
9. Методы исследования состояния и характеристик «загрязненной» поверхности. Их классификация?
10. Классификация загрязнений поверхности полупроводников. Их влияние на характеристики микроэлектронных изделий?

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Сколько не электрических методов исследования состава и структуры поверхности полупроводника используют в современной практике?

Ответы:

1. Пять методов.
2. 15 методов.
- 3 12 методов.

Верный ответ: Ответ 2

2. Какими частицами бомбардируют поверхность полупроводника в методе резерфордовского обратного рассеяния?

Ответы:

1. Электронами.
2. Нейтронами
3. Высокоэнергетическими ионами гелия.

Верный ответ: Ответ 3

3. Что измеряется в методе рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии поверхности полупроводника?

Ответы:

1. Кинетическая энергия выбитых электронов на поверхности и в приповерхностном слое.
2. Угол вылета выбитых электронов.
3. Количество выбитых электронов.

Верный ответ: Ответ 1

4. Чем различаются Оже - электроны, рожденные в глубине полупроводника и вблизи его поверхности?

Ответы:

1. Длиной свободного пробега.
2. Энергией активации.
3. Различными формами спектров Оже - электронов.

Верный ответ: Ответ 1

5. Какие внешние факторы влияют на хемосорбционную способность поверхности полупроводника?

Ответы:

1. Влияние примесей.
2. Влияние внешнего магнитного поля.
3. Влияние поля гравитации.
4. Влияние внешнего электрического поля.

Верный ответ: Ответ 1 и 4

6. Какие существуют на практике формы хемосорбции?

Ответы:

1. Электрически нейтральная и заряженная формы.
2. Не слабая и не прочная формы.
3. Обратимая и необратимая формы хемосорбции.

Верный ответ: Ответ 1 и 3

7. Какие этапы развития физики поверхности имели место истории развития исследования поверхности полупроводников?.

Ответы:

1. Этап изучения реальной поверхности полупроводников
2. Этап исследования атомарно - чистой поверхности
3. Этап исследования границ раздела фаз.
4. Этап исследования пространственного заряда на поверхности полупроводника.

Верный ответ: Ответы 1, 2, 3.

8. Какие методы исследования рельефа поверхности подложек применяют на практике?

Ответы:

1. Метод сканирующей зондовой микроскопии.
2. Метод туннельной микроскопии
3. Метод силовой микроскопии

Верный ответ: Ответы 1, 3.

## **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

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

Прибавление баллов промежуточной аттестации для получения итоговой оценки по курсу