

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 27.10.2023 15:15:02

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Физические свойства приповерхностных слоев и методы их исследований

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация

**Инженер-исследователь**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**6 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

216

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 9

аудиторные занятия

68

самостоятельная работа

103

часов на контроль

45

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	9 (5.1)		Итого	
	Неделя 18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	34	34	34	34
Лабораторные	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	68	68	68	68
Контактная работа	68	68	68	68
Сам. работа	103	103	103	103
Часы на контроль	45	45	45	45
Итого	216	216	216	216

Программу составил(и):

*к.ф.-м.н., доц., Малинкович Михаил Давыдович*

Рабочая программа

**Физические свойства приповерхностных слоев и методы их исследований**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-23\_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков**

Протокол от г., №

Руководитель подразделения Оганов Артем Ромаевич, д.ф.-м.н., профессор

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цель освоения дисциплины – формирование компетенций, в соответствие с учебным планом, дать представления о полупроводниковых приборных структурах, составляющих основу элементной базы электронной техники, их физических и функциональных характеристиках, материаловедческих и технологических задачах, решаемых при изготовлении структур. Конкретизировать знания студентов о типах и свойствах дефектов, возникающих на границе раздела металл-полупроводник, полупроводник-полупроводник, полупроводник-диэлектрик, соответствующих энергетических зонах; рассмотреть тонкопленочные структуры, в том числе многослойные и квантоворазмерные. Освоить контактные, емкостные, зондовые и оптические методы измерения параметров полупроводниковых приборных структур. Рассмотреть новые, появившиеся в последние годы типы приборных структур и технологии их изготовления, в том числе возможности и перспективы нанотехнологии, а также научить применять полученные знания в профессиональной деятельности.
-----	---

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.26
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Атомная и электронная структура поверхности и межфазных границ	
2.1.2	Композиционные материалы	
2.1.3	Конструирование композиционных материалов	
2.1.4	Методы исследования структур и материалов. Часть 2	
2.1.5	Поверхностное модифицирование материалов и защитные покрытия	
2.1.6	Специальные сплавы	
2.1.7	Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 1. Магнитно-мягкие сплавы	
2.1.8	Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 2. Магнитно-твердые сплавы	
2.1.9	Атомное строение фаз	
2.1.10	Биохимия наноматериалов	
2.1.11	Инженерия поверхности	
2.1.12	Металловедение и термическая обработка металлов	
2.1.13	Методы исследования структур и материалов. Часть 1	
2.1.14	Методы исследования физических свойств полупроводниковых структур	
2.1.15	Наноматериалы	
2.1.16	Сверхтвердые материалы	
2.1.17	Технологии материалов с особыми физическими свойствами	
2.1.18	Фазовые и структурные изменения при формировании материалов и эпитаксиальных структур	
2.1.19	Физика магнитных явлений	
2.1.20	Физика полупроводниковых приборов	
2.1.21	Физика прочности	
2.1.22	Физика прочности и механические свойства материалов	
2.1.23	Физико-химия металлов и неметаллических материалов	
2.1.24	Физические основы деформации и разрушения	
2.1.25	Диффузия и диффузионно-контролируемые процессы	
2.1.26	Материаловедение	
2.1.27	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.28	Металловедение инновационных материалов	
2.1.29	Методы исследования материалов	
2.1.30	Метрология и стандартизация цифровых технологий в материаловедении и металлургии	
2.1.31	Метрология и технические измерения функциональных материалов	
2.1.32	Метрология, стандартизация и технические измерения	
2.1.33	Метрология, стандартизация и технические измерения в электронике	
2.1.34	Основы материаловедения и методов исследования материалов	
2.1.35	Разработка новых материалов	
2.1.36	Фазовые равновесия и дефекты структуры	
2.1.37	Физика диэлектриков	
2.1.38	Физика полупроводников	
2.1.39	Введение в квантовую теорию твердого тела	
2.1.40	Дефекты кристаллической решетки	

2.1.41	Компьютеризация эксперимента
2.1.42	Материалы альтернативной энергетики
2.1.43	Материалы наукоемких технологий
2.1.44	Основы дизайна металлических материалов
2.1.45	Планирование и организация научно-исследовательской работы
2.1.46	Планирование научного эксперимента
2.1.47	Современные проблемы материаловедения
2.1.48	Теория поверхностных явлений
2.1.49	Теория симметрии
2.1.50	Электроника
2.1.51	Кристаллография
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Биоорганическая химия
2.2.2	Высокотемпературные керамические материалы
2.2.3	Жаропрочные и радиационно-стойкие материалы
2.2.4	Квантовая теория твердого тела
2.2.5	Математическое и компьютерное моделирование материалов и процессов электроники
2.2.6	Методы исследования макро- и микроструктуры материалов
2.2.7	Методы непараметрической статистики
2.2.8	Некоторые главы кристаллохимии
2.2.9	Объемные наноматериалы
2.2.10	Процессы получения и обработки сверхтвердых материалов
2.2.11	Структура и технологичность сплавов
2.2.12	Физико-химия эволюции твердого вещества
2.2.13	Ядерно-спектроскопические и синхротронные методы исследований
2.2.14	Аттестация и испытания высокотемпературных и сверхтвердых материалов
2.2.15	Аттестация и сертификация изделий электронной техники
2.2.16	Компьютерные и информационные технологии в науке и производстве функциональных материалов
2.2.17	Материаловедение и технологии перспективных материалов
2.2.18	Материалы и элементы спинтроники и спинволновой оптики
2.2.19	Менеджмент качества
2.2.20	Металлические материалы для крупных транспортных систем
2.2.21	Металловедение высокопрочных сплавов
2.2.22	Методология и практика определения размерных характеристик материалов
2.2.23	Методология научных исследований
2.2.24	Оптические явления в кристаллах. Часть 2
2.2.25	Основы клеточной биологии
2.2.26	Оформление результатов научной деятельности
2.2.27	Практическое применение теории функционала электронной плотности
2.2.28	Симметрия наносистем
2.2.29	Современные компьютерные технологии в структурном анализе
2.2.30	Спектроскопические и зондовые методы
2.2.31	Термомеханическая обработка металлов и сплавов
2.2.32	Управление коллективами
2.2.33	Управление проектами
2.2.34	Химические основы биологических процессов
2.2.35	Цифровое материаловедение
2.2.36	Нормы и правила оформления ВКР
2.2.37	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.38	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.39	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.40	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

2.2.41	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.42	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.43	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.44	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

**ПК-1: Способен к поиску новых направлений научных исследований и синтезу знаний в области материаловедения и технологии материалов, способен оформлять технические задания и отчетные материалы по планируемым и проведенным исследованиям**

**Знать:**

ПК-1-32 Основные критерии оценки технологичности и повышения эффективности применения обработки материалов и приборных структур

ПК-1-31 Фазовые превращения в материалах, влияние структурных характеристик на свойства материалов

**Уметь:**

ПК-1-У1 Выбирать материалы для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности изделий

**Владеть:**

ПК-1-В1 Математическим аппаратом и навыками использования современных подходов и методов физики твердого тела, к анализу, теоретическому и экспериментальному исследованию полупроводниковых структур, явлений и технологических процессов

### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Введение</b>							
1.1	Свойства объемных полупроводниковых материалов, эпитаксиальных пленок и приборных структур, характеристики которых необходимо знать инженеру-материаловеду. Классификация методов исследований физических свойств объема, поверхности полупроводниковых материалов, пленок и приборных структур /Пр/	9	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1			
1.2	Освоение теоретического материала раздела 1 /Ср/	9	5	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1			
1.3	Введение /Лек/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1			
	<b>Раздел 2. Контакт металл-полупроводник</b>							
2.1	Контакт металл-полупроводник, барьер Шоттки. Энергетическая диаграмма, емкость, контактная разность потенциалов, вольтамперная и вольт-фарадная характеристики. Электрофизические и механические свойства контакта /Пр/	9	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			

2.2	Освоение теоретического материала раздела 2 /Ср/	9	7	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
2.3	Контакт металл-полупроводник /Лек/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
	<b>Раздел 3. Поверхностные состояния</b>							
3.1	Влияние поверхностных состояний. Механизмы переноса носителей заряда через контакт. Омические контакты, способы их приготовления. Контакт полупроводник - полупроводник, энергетическая диаграмма, свойства /Пр/	9	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
3.2	Освоение теоретического материала раздела 3 /Ср/	9	9	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
3.3	Поверхностные состояния /Лек/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
	<b>Раздел 4. Гетеропереходы и гетероструктуры</b>							
4.1	Гетеропереходы и гетероструктуры, применение многокомпонентных твердых растворов. Полевые транзисторы с гетеропереходами на полупроводниковых соединениях. МОП структуры, требования к свойствам подзатворного диэлектрика /Пр/	9	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
4.2	Освоение теоретического материала раздела 4 /Ср/	9	6	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
4.3	Гетеропереходы и гетероструктуры /Лек/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
	<b>Раздел 5. Свойства МОП структур</b>							
5.1	Дифференциальная квазистатическая и высокочастотная емкость МОП структур. Эффект короткого канала, насыщение дрейфовой скорости и подвижности, механизмы релаксации импульса и энергии носителей заряда /Пр/	9	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
5.2	Освоение теоретического материала раздела 5 /Ср/	9	6	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
5.3	Свойства МОП структур /Лек/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			

	<b>Раздел 6. Контактные методы измерения</b>							
6.1	Контактные методы измерения удельного сопротивления и его однородности: двухзондовый, четырехзондовый, двухкомбинационный четырехзондовый метод, метод Ван-дер-Пау, метод сопротивления растекания. Модель контакта зонда с поверхностью полупроводника в сферических и цилиндрических координатах, влияние геометрии образцов. /Пр/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
6.2	Методы приготовления омических контактов; измерение температурной зависимости электропроводности четырехзондовым методом /Лаб/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1		КМ1	Р15
6.3	Измерение распределения удельного сопротивления по пластине четырехзондовым методом, влияние поправочной функции на результаты измерения удельного сопротивления /Лаб/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1		КМ1	Р16
6.4	Освоение теоретического и практического материала раздела 6 /Ср/	9	12	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
6.5	Контактные методы измерения /Лек/	9	4	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
	<b>Раздел 7. Измерение характеристик эпитаксиальных структур и слоев</b>							
7.1	Измерение удельного сопротивления эпитаксиальных, диффузионных и ионно-легированных слоев. Индуктивный и емкостной методы измерения удельного сопротивления. Отклонение от закона Ома, нелинейная проводимость /Пр/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
7.2	Освоение теоретического материала раздела 7 /Ср/	9	6	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
7.3	Измерение характеристик эпитаксиальных структур и слоев /Лек/	9	4	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			

	<b>Раздел 8. Вольт-фарадные методы</b>							
8.1	Параметры полупроводниковых материалов, определяемые при помощи вольт-фарадных методов: объемное генерационное время носителей заряда, распределение легирующей примеси по глубине образцов, энергетическое положение, концентрация, сечение захвата глубоких ловушек в полупроводниках /Пр/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
8.2	Освоение теоретического материала раздела 8 /Ср/	9	6	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
8.3	Вольт-фарадные методы /Лек/	9	4	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
	<b>Раздел 9. Метод DLTS и метод Кельвина</b>							
9.1	Метод DLTS, его возможности для исследования ряда характеристик глубоких центров. Применение метода Кельвина для определения поверхностного потенциала. /Пр/	9	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
9.2	Измерение относительной работы выхода электронов из поверхности полупроводников методом Кельвина /Лаб/	9	3	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1		КМ1	Р17
9.3	Освоение теоретического и практического материала раздела 9 /Ср/	9	10	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
9.4	Метод DLTS и метод Кельвина /Лек/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
	<b>Раздел 10. Определение параметров неосновных носителей заряда</b>							
10.1	Определение времени жизни неосновных носителей заряда по стационарной фотопроводимости и по ее затуханию Измерение амбиполярной подвижности и амбиполярного коэффициента диффузии неравновесных носителей заряда методом движущегося светового луча. /Пр/	9	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1			

10.2	Измерение распределения времени жизни неосновных неравновесных носителей заряда по пластине /Лаб/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1		КМ1	Р17
10.3	Освоение теоретического и практического материала раздела 10 /Ср/	9	9	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1			
10.4	Определение параметров неосновных носителей заряда /Лек/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1			
	<b>Раздел 11. Полупроводник в поле высокой напряженности</b>							
11.1	Полупроводник в поле высокой напряженности. Зависимость подвижности и концентрации носителей заряда от напряженности поля /Пр/	9	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1			
11.2	Освоение теоретического материала раздела 11 /Ср/	9	7	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1			
11.3	Полупроводник в поле высокой напряженности /Лек/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1			
	<b>Раздел 12. Сканирующая зондовая микроскопия</b>							
12.1	Зондовые методы исследования поверхности твердых тел. Туннельная атомно-силовая микроскопия и их модификации /Пр/	9	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1			
12.2	Исследование микроструктуры поверхностей образцов и определение электрофизических параметров при помощи метода сканирующей туннельной микроскопии /Лаб/	9	4	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1		КМ1	Р19
12.3	Освоение теоретического и практического материала раздела 12 /Ср/	9	8	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1			
12.4	Сканирующая зондовая микроскопия /Лек/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1			
	<b>Раздел 13. Оптические свойства полупроводников</b>							
13.1	Оптические свойства полупроводников. Спектры поглощения/пропускания /Пр/	9	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
13.2	Исследование спектров пропускания полупроводниковых материалов методом Фурье-спектроскопии /Лаб/	9	4	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1		КМ1	Р20
13.3	Освоение теоретического и практического материала раздела 13 /Ср/	9	6	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			

13.4	Оптические свойства полупроводников /Лек/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
<b>Раздел 14. Силовая оптика</b>								
14.1	Силовая оптика /Пр/	9	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
14.2	Освоение теоретического материала раздела 14 /Ср/	9	6	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			
14.3	Силовая оптика /Лек/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1			

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
--------	-------------------------	------------------------------------	------------------------

KM1	Экзамен	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	<p>Диоды Шоттки, их энергетическая диаграмма, вольт-амперная характеристика. Перенос заряда через контакт металл – полупроводник.</p> <p>Контактные и бесконтактные методы измерения удельного сопротивления. Двухзондовый метод и четырехзондовый методы и их модификации.</p> <p>Метод зеркальных изображений и его применение для оценки поправочных коэффициентов при реализации четырехзондового метода.</p> <p>Метод сопротивления растекания.</p> <p>Метод Ван-дер-Пау.</p> <p>Отклонение от закона Ома. “Теплые” и “горячие” носители заряда.</p> <p>Полупроводники в электрических полях высокой напряженности.</p> <p>Насыщение дрейфовой скорости. Электрический пробой в п/п приборах.</p> <p>Неравновесные носители заряда, характеризующие их параметры.</p> <p>Амбиполярный коэффициент диффузии и амбиполярная дрейфовая подвижность неравновесных носителей заряда.</p> <p>Методы измерения дрейфовой подвижности, коэффициента диффузии, времени жизни неравновесных носителей заряда.</p> <p>Вольт-фарадные характеристики структур металл-полупроводник и МДП структур.</p> <p>Приповерхностный объемный заряд и дифференциальная поверхностная емкость.</p> <p>Емкость МДП - структуры.</p> <p>Зависимость емкости структуры металл-полупроводник и МДП-структуры от напряжения. Частотная зависимость емкости.</p> <p>Параметры глубоких уровней, связь между коэффициентами захвата и коэффициентами теплового испускания носителей заряда.</p> <p>Заполнение глубоких уровней электронами; уравнение баланса, равновесное состояние.</p> <p>Релаксации емкости структуры металл-полупроводник или МДП-структуры.</p> <p>Термостимулированная емкость. Фотоемкость.</p> <p>C-V метод измерения распределения концентрации легирующей примеси. Определение параметров глубоких уровней методом термостимулированной емкости.</p> <p>Нестационарная спектроскопия глубоких уровней (метод DLTS).</p> <p>Фоторезистивный эффект, стационарная фотопроводимость.</p> <p>Спектральная зависимость стационарной фотопроводимости.</p> <p>Фазовая и частотная зависимости фотопроводимости.</p> <p>Измерение параметров неравновесных носителей заряда методами измерения стационарной и частотной зависимостей фотопроводимости.</p> <p>ИК – Фурье спектроскопические методы исследования приповерхностных слоев полупроводников.</p> <p>Физические основы сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии.</p> <p>Методы сканирующей зондовой микроскопии.</p> <p>Представления об оптической стойкости полупроводниковых и диэлектрических материалов.</p> <p>Лазерный пробой под действием непрерывного и импульсного излучения.</p> <p>Методы измерения оптической стойкости.</p>
-----	---------	---------------------------------	--

**5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)**

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Практическое занятие 1	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	<p>Свойства объемных полупроводниковых материалов, эпитаксиальных пленок и приборных структур, характеристики которых необходимо знать инженеру-материаловеду.</p> <p>Классификация методов исследований физических свойств объема, поверхности полупроводниковых материалов, пленок и приборных структур</p>

P2	Практическое занятие 2	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Контакт металл- полупроводник, барьер Шоттки. Энергетическая диаграмма, емкость, контактная разность потенциалов, вольтамперная и вольт-фарадная характеристики. Электрофизические и механические свойства контакта
P3	Практическое занятие 3	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Влияние поверхностных состояний. Механизмы переноса носителей заряда через контакт. Омические контакты, способы их приготовления. Контакт полупроводник - полупроводник, энергетическая диаграмма, свойства
P4	Практическое занятие 4	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Гетеропереходы и гетероструктуры, применение многокомпонентных твердых растворов. Полевые транзисторы с гетеропереходами на полупроводниковых соединениях. МОП структуры, требования к свойствам подзатворного диэлектрика
P5	Практическое занятие 5	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Дифференциальная квазистатическая и высокочастотная емкость МОП структур. Эффект короткого канала, насыщение дрейфовой скорости и подвижности, механизмы релаксации импульса и энергии носителей заряда
P6	Практическое занятие 6	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Контактные методы измерения удельного сопротивления и его однородности: двухзондовый, четырехзондовый, двухкомбинационный четырехзондовый метод, метод Ван-дер-Пау, метод сопротивления растекания. Модель контакта зонда с поверхностью полупроводника в сферических и цилиндрических координатах, влияние геометрии образцов.
P7	Практическое занятие 7	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Измерение удельного сопротивления эпитаксиальных, диффузионных и ионно- легированных слоев. Индуктивный и емкостной методы измерения удельного сопротивления. Отклонение от закона Ома, нелинейная проводимость
P8	Практическое занятие 8	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Параметры полупроводниковых материалов, определяемые при помощи вольт-фарадных методов: объемное генерационное время носителей заряда, распределение легирующей примеси по глубине образцов, энергетическое положение, концентрация, сечение захвата глубоких ловушек в полупроводниках
P9	Практическое занятие 9	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Метод DLTS, его возможности для исследования ряда характеристик глубоких центров. Применение метода Кельвина для определения поверхностного потенциала
P10	Практическое занятие 10	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Определение времени жизни неосновных носителей заряда по стационарной фотопроводимости и по ее затуханию Измерение амбиполярной подвижности и амбиполярного коэффициента диффузии неравновесных носителей заряда методом движущегося светового луча
P11	Практическое занятие 11	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Полупроводник в поле высокой напряженности. Зависимость подвижности и концентрации носителей заряда от напряженности поля
P12	Практическое занятие 12	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Зондовые методы исследования поверхности твердых тел. Туннельная атомно-силовая микроскопия и их модификации
P13	Практическое занятие 13	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Оптические свойства полупроводников. Спектры поглощения/пропускания
P14	Практическое занятие 14	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Силовая оптика
P15	Лабораторная работа 1	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Методы приготовления омических контактов; измерение температурной зависимости электропроводности четырехзондовым методом
P16	Лабораторная работа 2	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Измерение распределения удельного сопротивления по пластине четырехзондовым методом, влияние поправочной функции на результаты измерения удельного сопротивления
P17	Лабораторная работа 3	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Измерение относительной работы выхода электронов из поверхности полупроводников методом Кельвина
P18	Лабораторная работа 4	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Измерение распределения времени жизни неосновных неравновесных носителей заряда по пластине

P19	Лабораторная работа 5	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Исследование микроструктуры поверхностей образцов и определение электрофизических параметров при помощи метода сканирующей туннельной микроскопии
P20	Лабораторная работа 6	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Исследование спектров пропускания полупроводниковых материалов методом Фурье- спектроскопии

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

В конце учебной программы предусмотрен экзамен.

Экзаменационный билет состоит из 2-х вопросов. Типовые вопросы экзамена приведены в вопросах самоподготовки.

### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Шкала оценивания знаний обучающихся на экзамене:

Оценка «отлично» - студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, способен применить полученные знания на практике, грамотно и логически излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, умеет самостоятельно подбирать и использовать литературу по соответствующим областям науки.

Оценка «хорошо» - студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал.

Оценка «удовлетворительно» - студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но способен исправить после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;

Оценка «неудовлетворительно» - студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

Оценка «не явка» – студент на экзамен не явился.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Павлов Л. П.	Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов: учеб. пособие для студ. вузов спец. 'Полупроводниковые приборы'	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1975
Л1.2	Цапенко Е. Ф., Черкашин Н. В.	Полупроводниковые приборы и устройства: учеб. пособие по курсу "Электротехника и основы электроники"	Библиотека МИСиС	М.: МГИ, 1983
Л1.3	Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г.	Физика полупроводников: учеб. пособие для физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1977

#### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Киреев П. С.	Физика полупроводников: Учеб. пособие для втузов	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1975
Л2.2	Шалимова К. В.	Физика полупроводников: Учебник для вузов по спец. 'Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы'	Библиотека МИСиС	М.: Энергоатомиздат, 1985

#### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Полистанский Юрий Григорьевич, Евсеев Виктор Алексеевич, Кожитов Лев Васильевич, др., Крапухин Всеволод Валерьевич	Технология полупроводниковых материалов и элементов микроэлектроники: лаб. практикум для студ. спец. 0643, 0604, 0629	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1981

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛЗ.2	Ладыгин Евгений Александрович, Курносов Анатолий Иванович, Савков Геннадий Николаевич, Мельников Александр Львович, Ладыгин Евгений Александрович	Технология полупроводниковых приборов и интегральных схем: Разд.: Основные процессы планарной технологии полупроводниковых приборов и интегральных схем: лаб. практикум для студ. спец. 20.02, 20.03	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1989
ЛЗ.3	Ладыгин Евгений Александрович, Курносов Анатолий Иванович, Савков Геннадий Николаевич, Мельников Александр Львович, Ладыгин Евгений Александрович	Технология полупроводниковых приборов и интегральных схем: Разд.: Методы радиационной технологии, омические контакты и конструкции корпусов в производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем: лаб. практикум для студ. спец. 20.02, 20.03	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1989

#### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	scopus.com science.gov sciencedirect.com	scopus.com science.gov sciencedirect.com
----	--	--

#### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Win Pro 10 32-bit/64-bit
-----	--------------------------

#### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	scopus.com
И.2	science.gov
И.3	sciencedirect.com

### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
К-403	Лаборатория	лаборатория сканирующая зондовая Ntegra
К-417	Научно-исследовательская лаборатория получения тонких пленок методом магнетронного напыления:	комплекс оборудования для послеростовой подготовки поверхности, установка магнетронного напыления Sunpla 40TM, оптический микроскоп ZEISS, система оптических исследований пленок (эллипсометр) Альфа-SE, настольная установка магнетронного напыления Denton Vacuum

К-406	Учебная аудитория	лабораторные установки для измерения: времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках (с ПК и пакетом лицензионных прикладных программ); удельного электрического сопротивления полупроводников четырехзондовым методом (с ПК и пакетом прикладных программ); механических характеристик кристаллов; термоэлектрических свойств (с ПК и пакетом прикладных программ); удельного электрического сопротивления полупроводников двухзондовым методом (с ПК и пакетом прикладных программ); атомно-силовой и туннельный микроскоп (2 шт.) с ПК и пакетом прикладных программ; лабораторный стенд для определения ширины запрещенной зоны полупроводников и температурного коэффициента сопротивления металлов, лабораторный стенд для измерения эффекта Холла, лабораторный стенд для изучения влияния термодоноров на электропроводность полупроводников; набор демонстрационного оборудования в том числе: доска учебная, мультимедийная панель с ПК, комплект учебной мебели
К-405	Учебная аудитория	микроскоп оптический Метам Р-1 с блоком питания (5 шт.), микроскоп оптический ММУ-3 с блоком питания, микротвердомер ПМТ-3, металлографический микроскоп МИР-12, образцы рентгеновских трубок и рентгеновских камер (3 шт.), набор демонстрационного оборудования в том числе: доска учебная, мультимедийный проектор, ПК, пакет лицензионных программ MS Office, экран проекционный, комплект учебной мебели
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Проведение практических занятий осуществляется исключительно в аудиториях, обеспеченных мультимедийным оборудованием, с возможностью показа презентаций и видеофильмов.

Проведение практических занятий может производиться с использованием технологического и исследовательского оборудования соответствующих лабораторий.

Практические занятия должны быть нацелены на изучение особенностей реального технологического и исследовательского оборудования, особенностей и технологических ограничений, а также способов их преодоления.

Проведение аудиторных занятий предусматривает использование в учебном курсе активных и интерактивных технологий:

- при проведении практических занятий допускается использование проприетарного ПО, входящего в состав технологического и исследовательского оборудования.

Дисциплина относится к точным наукам и требует значительного объема самостоятельной работы. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации.

Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе.

Подготовка к контрольным работам проводится в часы самостоятельной работы и, при необходимости, в часы консультаций лектора.

По курсу предусмотрен экзамен.

Материалы курса (презентации лекций, рекомендуемая литература, видеоматериалы и др.) приводятся в системе LMS Canvas по мере освоения дисциплины.