

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 27.10.2023 12:14:44

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)

# Атомная и электронная структура поверхности и межфазных границ

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

в том числе:

аудиторные занятия 85

самостоятельная работа 95

часов на контроль 36

Формы контроля в семестрах:  
экзамен 8

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	8 (4.2)		Итого	
	Неделя 18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	51	51	51	51
Лабораторные	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	85	85	85	85
Контактная работа	85	85	85	85
Сам. работа	95	95	95	95
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	216	216	216	216

Программу составил(и):

*кфмн, Доцент, Комарницкая Елена Александровна*

Рабочая программа

**Атомная и электронная структура поверхности и межфазных границ**

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 30.06.2023 г., №07/23

Руководитель подразделения дфмн, проф. Оганов Артём Ромаевич

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Развить и углубить представления о «поверхностной фазе», особенностях и взаимосвязи атомной и электронной структуры и свойств поверхности материалов и изделий, научить связывать свойства и явления на поверхности материала с технологическими процессами производства, обработки и эксплуатационной надежностью для создания новых материалов, структур и приборов нанoeлектроники.
-----	--

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.24
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Атомное строение фаз	
2.1.2	Биохимия наноматериалов	
2.1.3	Инженерия поверхности	
2.1.4	Металловедение и термическая обработка металлов	
2.1.5	Методы исследования структур и материалов. Часть 1	
2.1.6	Методы исследования физических свойств полупроводниковых структур	
2.1.7	Наноматериалы	
2.1.8	Сверхтвердые материалы	
2.1.9	Технологии материалов с особыми физическими свойствами	
2.1.10	Фазовые и структурные изменения при формировании материалов и эпитаксиальных структур	
2.1.11	Физика магнитных явлений	
2.1.12	Физика полупроводниковых приборов	
2.1.13	Физика прочности	
2.1.14	Физика прочности и механические свойства материалов	
2.1.15	Физико-химия металлов и неметаллических материалов	
2.1.16	Физические основы деформации и разрушения	
2.1.17	Диффузия и диффузионно-контролируемые процессы	
2.1.18	Материаловедение	
2.1.19	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.20	Металловедение инновационных материалов	
2.1.21	Методы исследования материалов	
2.1.22	Метрология и стандартизация цифровых технологий в материаловедении и металлургии	
2.1.23	Метрология и технические измерения функциональных материалов	
2.1.24	Метрология, стандартизация и технические измерения	
2.1.25	Метрология, стандартизация и технические измерения в электронике	
2.1.26	Основы материаловедения и методов исследования материалов	
2.1.27	Разработка новых материалов	
2.1.28	Фазовые равновесия и дефекты структуры	
2.1.29	Физика диэлектриков	
2.1.30	Физика полупроводников	
2.1.31	Введение в квантовую теорию твердого тела	
2.1.32	Дефекты кристаллической решетки	
2.1.33	Компьютеризация эксперимента	
2.1.34	Материалы альтернативной энергетики	
2.1.35	Материалы наукоемких технологий	
2.1.36	Основы дизайна металлических материалов	
2.1.37	Планирование и организация научно-исследовательской работы	
2.1.38	Планирование научного эксперимента	
2.1.39	Современные проблемы материаловедения	
2.1.40	Теория поверхностных явлений	
2.1.41	Теория симметрии	
2.1.42	Электроника	
2.1.43	Кристаллография	

<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Аморфные, микро- и нанокристаллические материалы
2.2.2	Биофизика
2.2.3	Высокотемпературные и сверхтвердые функциональные и конструкционные материалы
2.2.4	Компьютерные и информационные технологии в науке и производстве
2.2.5	Материаловедение и технологии перспективных материалов
2.2.6	Методы исследования характеристик и свойств материалов
2.2.7	Методы электронной микроскопии для материалов твердотельной электроники
2.2.8	Метрология и испытания функциональных материалов
2.2.9	Основы научно-технического перевода
2.2.10	Практика научно-технического перевода и редактирования
2.2.11	Тензорные методы в кристаллофизике
2.2.12	Технология получения кристаллов
2.2.13	Физические основы магнетизма и процессы перемагничивания материалов
2.2.14	Физические свойства приповерхностных слоев и методы их исследований
2.2.15	Функциональные наноматериалы
2.2.16	Химия и технология полимерных материалов
2.2.17	Биоорганическая химия
2.2.18	Высокотемпературные керамические материалы
2.2.19	Жаропрочные и радиационно-стойкие материалы
2.2.20	Квантовая теория твердого тела
2.2.21	Математическое и компьютерное моделирование материалов и процессов электроники
2.2.22	Методы исследования макро- и микроструктуры материалов
2.2.23	Методы непараметрической статистики
2.2.24	Некоторые главы кристаллохимии
2.2.25	Объемные наноматериалы
2.2.26	Процессы получения и обработки сверхтвердых материалов
2.2.27	Структура и технологичность сплавов
2.2.28	Физико-химия эволюции твердого вещества
2.2.29	Ядерно-спектроскопические и синхротронные методы исследований
2.2.30	Аттестация и испытания высокотемпературных и сверхтвердых материалов
2.2.31	Аттестация и сертификация изделий электронной техники
2.2.32	Компьютерные и информационные технологии в науке и производстве функциональных материалов
2.2.33	Материаловедение и технологии перспективных материалов
2.2.34	Материалы и элементы спинтроники и спинволновой оптики
2.2.35	Менеджмент качества
2.2.36	Металлические материалы для крупных транспортных систем
2.2.37	Металловедение высокопрочных сплавов
2.2.38	Методология и практика определения размерных характеристик материалов
2.2.39	Методология научных исследований
2.2.40	Оптические явления в кристаллах. Часть 2
2.2.41	Основы клеточной биологии
2.2.42	Оформление результатов научной деятельности
2.2.43	Практическое применение теории функционала электронной плотности
2.2.44	Симметрия наносистем
2.2.45	Современные компьютерные технологии в структурном анализе
2.2.46	Спектроскопические и зондовые методы
2.2.47	Термомеханическая обработка металлов и сплавов
2.2.48	Управление коллективами
2.2.49	Управление проектами
2.2.50	Химические основы биологических процессов
2.2.51	Цифровое материаловедение

2.2.52	Нормы и правила оформления ВКР
2.2.53	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.54	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.55	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.56	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.57	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.58	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.59	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.60	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 Закономерности структурообразования и дефектообразования, особенности легирования и диффузии на поверхности.

ПК-1-31 Основы и применение методов исследования атомной и электронной структуры поверхности

**Уметь:**

ПК-1-У2 Связывать физические и химические свойства материалов и явления, протекающие в них, с технологическими процессами производства, обработки, их эксплуатационной надежностью и долговечностью.

ПК-1-У1 Проводить анализ взаимодействия поверхности и объема материала, влияния легирующих и фоновых примесей на физические свойства функциональных материалов и приборных структур нанoeлектроники

**Владеть:**

ПК-1-В2 Разрабатывать методологию решения поставленной научно-исследовательской или производственной задачи на основе анализа причинно-следственных связей, выявляемых с помощью современных методов исследования атомной и электронной структуры поверхности материалов, гетероструктур и технологических процессов.

ПК-1-В1 Оценивать результаты исследования атомной и электронной структуры поверхности

### 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. Феноменологическая теория атомной и электронной структуры атомарно-чистой поверхности ковалентных кристаллов с позиций квантовой химии, физические причины и процессы перестройки поверхности. Приготовление атомарно-чистых поверхностей. Поверхностные состояния</b>							
1.1	Развитие представлений о "поверхностной фазе". Феноменологическая теория атомной и электронной структуры атомарно-чистой поверхности ковалентных кристаллов с позиций квантовой химии. Уровни Шокли и Тамма. Физические свойства поверхности. /Лек/	8	10	ПК-1-31 ПК-1-32	Л1.1 Л1.3 Л1.5 Л1.7Л2.1 Л2.3 Л2.6 Л2.7 Л2.9 Л2.11Л3.15 Э5 Э7	Электронная версия выложена в LMS Canvas		

1.2	Приготовление атомарно-чистых поверхностей. /Пр/	8	2	ПК-1-У1 ПК-1-У2	Л1.4 Л1.5Л2.6 Л2.7 Л2.11Л3.15 Э5 Э6 Э7	Методические указания: <a href="https://lms.misis.ru/">https://lms.misis.ru/</a>	КМ1,КМ2,КМ4	Р1,Р5,Р6
1.3	Развитие представлений о "поверхностной фазе". Феноменологическая теория атомной и электронной структуры атомарно-чистой поверхности ковалентных кристаллов с позиций квантовой химии. Уровни Шокли и Тамма. Физические свойства поверхности. Приготовление атомарно-чистых поверхностей. /Ср/	8	13	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.7Л2.1 Л2.3 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11Л3.15 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Указания на консультации		
1.4	Приготовление атомарно-чистых поверхностей /Лаб/	8	2	ПК-1-В1 ПК-1-В2	Л1.1 Л1.3Л2.3 Л2.4 Л2.5Л3.6 Э4 Э5 Э7	Методические указания: <a href="https://lms.misis.ru/">https://lms.misis.ru/</a>	КМ7	Р11
	<b>Раздел 2. Механизмы возникновения слоя пространственного заряда на поверхности. Зонная структура поверхности материалов. Управление зонной структурой поверхности. Физическая и химическая адсорбция и их влияние на электронную структуру поверхности</b>							
2.1	Зонная структура поверхности материалов. Поверхностные центры. Физическая и химическая адсорбция и их влияния на электронную структуру поверхности. Применение кинематической и динамической теории дифракции для расшифровки поверхностной структуры кристаллов. /Лек/	8	10	ПК-1-31 ПК-1-32	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.7Л2.1 Л2.3 Л2.4 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11Л3.6 Л3.13 Э5 Э7	Электронная версия выложена в LMS Canvas		
2.2	Подвижность носителей заряда в слое пространственного заряда на поверхности. Поверхностная проводимость. Работа выхода электрона. Связь поверхностных свойств и явлений с технологическими процессами производства, обработки и эксплуатационной надежностью материала. /Пр/	8	4	ПК-1-У1 ПК-1-У2	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7Л2.1 Л2.3 Л2.4 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11Л3.5 Э5 Э6 Э7	Методические указания: <a href="https://lms.misis.ru/">https://lms.misis.ru/</a>	КМ4,КМ3	Р2,Р7,Р8

2.3	Зонная структура поверхности материалов. Поверхностные центры. Физическая и химическая адсорбция и их влияние на электронную структуру поверхности. Применение кинематической и динамической теории дифракции для расшифровки поверхностной структуры кристаллов. Подвижность носителей заряда в слое пространственного заряда на поверхности. Поверхностная проводимость. Работа выхода электрона. Связь поверхностных свойств и явлений с технологическими процессами производства, обработки и эксплуатационной надежностью материала. /Ср/	8	20	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-У2	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7Л2.1 Л2.3 Л2.4 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11Л3.5 Л3.6 Л3.13 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Указания на консультации		
	<b>Раздел 3. Контактные явления и внутренние взаимные процессы, влияния на них различных воздействий, управление свойствами модифицированных структур</b>							
3.1	Контактные явления и внутренние взаимные процессы в полупроводниках и диэлектриках. Атомные и электронные состояния на границе раздела фаз. Поверхностная диффузия. Поверхностная сегрегация. /Лек/	8	10	ПК-1-31 ПК-1-32	Л1.1 Л1.3 Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7Л2.1 Л2.3 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11Л3.8 Э5 Э7	Электронная версия выложена в LMS Canvas		
3.2	Методы модификации поверхности и управления свойствами модифицированных структур. /Пр/	8	6	ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-В2	Л1.4 Л1.1 Л1.6 Л1.7Л2.1 Л2.7 Л3.8 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11Л3.5 Л3.12 Э5 Э6 Э7	Методические указания: <a href="https://lms.msis.ru/">https://lms.msis.ru/</a>	КМ2,КМ3,КМ4,КМ6	Р3,Р6,Р7,Р8,Р9
3.3	Контактные явления и внутренние взаимные процессы, влияния на них различных воздействий, управление свойствами модифицированных структур /Ср/	8	16	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-В2	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7Л2.1 Л2.3 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11Л3.8 Л3.12 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Указания на консультации		

	<b>Раздел 4. Современные методы диагностики и исследования атомной и электронной структуры, механических и физических свойств поверхности и межфазных границ</b>							
4.1	Современные методы диагностики и исследования атомной и электронной структуры, механических и физических свойств поверхности и межфазных границ /Ср/	8	46	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-В1 ПК-1-В2	Л1.2 Л1.1Л2.12 Л2.1 Л2.5 Л2.1 Л2.1 Л2.1Л3.3 Л3.7 Л3.9 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	Указания на консультации и		
4.2	Спектроскопические и зондовые методы исследования /Лек/	8	21	ПК-1-31 ПК-1-32	Л1.2 Л1.1Л2.12 Л2.1 Л2.1 Л2.1Л3.3 Л3.7 Э5 Э7	Электронная версия выложена в LMS Canvas		
4.3	Применение электронной спектроскопии в исследованиях процессов на поверхности. Идентификация адсорбированных на поверхности атомов. Экспериментальные методы исследования особенностей электронной структуры поверхности. Наблюдения методом дифракции медленных электронов сверхструктур на поверхностях. /Пр/	8	5	ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-В1 ПК-1-В2	Л1.2 Л1.1Л2.12 Л2.1 Л2.5 Л2.1 Л2.1 Л2.1Л3.3 Л3.9 Э5 Э6 Э7	Методические указания: <a href="https://lms.misis.ru/">https://lms.misis.ru/</a>	КМ1,КМ4	Р4,Р5,Р8
4.4	Электронная спектроскопия: Электронная оже-спектроскопия (ЭОС), Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Изучение химического состава, выявление окисленных состояний, анализ влияния обработки на состав поверхности. /Лаб/	8	8	ПК-1-В1 ПК-1-В2	Л2.12 Л1.1 Л1.2 Л1.1 Л2.3 Л3.7 Л3.8Л3.9 Л2.11 Л3.13 Л2.1Л2.1 Л3.3 Э1 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Методические указания: <a href="https://lms.misis.ru/">https://lms.misis.ru/</a>	КМ7	Р12
4.5	Ионная масс-спектрометрия /Лаб/	8	2	ПК-1-В1 ПК-1-В2	Л2.8 Л2.9 Л2.11 Л3.12 Л3.13 Л1.6Л1.1 Л3.7Л2.12 Э1 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Методические указания: <a href="https://lms.misis.ru/">https://lms.misis.ru/</a>	КМ7	Р13



4.6	Проведение комплексных измерений. Составление описания комплекса измерений. Контроль производственных процессов. /Лаб/	8	5	ПК-1-В1 ПК-1-В2	Л1.1 Л1.2 Л3.8 Л2.10Л2.12 Л2.1 Л1.1 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.9Л3.3 Л1.1 Л3.5 Л3.6 Л3.7 Л3.9 Л2.1 Л2.1 Л3.12 Л3.13 Л2.1 Э1 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Методические указания: <a href="https://lms.misis.ru/">https://lms.misis.ru/</a>	КМ7,КМ1	Р14
-----	--	---	---	-----------------	---	---	---------	-----

### 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
КМ1	Реферат	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-В1;ПК-1-В2	<p>Темы рефератов:</p> <p>1. Контроль технологических параметров нанесения углеродных пленок с помощью спектроскопических и зондовых методов. Реферат должен отражать решение комплексных профессиональных задач на основе анализа причинно-следственных связей:</p> <p>1.1 Как условия эксплуатации изделия влияют на выбор параметров слоев?</p> <p>1.2 В каких изделиях для их эксплуатации необходимо нанесение на поверхность углеродных пленок?</p> <p>1.3 При каких условиях эксплуатируются эти изделия?</p> <p>1.4 Какие требования устанавливаются к параметрам и свойствам структурных слоев этих изделий?</p> <p>1.5 Зачем надо контролировать технологические параметры гетерогенных систем?</p> <p>Оформить реферат-описание необходимо в виде документа.</p> <p>2. Технология изготовления углеродных структур: теоретическая модель для описания особенностей и взаимосвязей атомной и электронной структуры и свойств.</p> <p>3. Управление свойствами модифицированных структур: основные методы переноса графена.</p> <p>4. Связь поверхностных свойств и явлений с технологическими процессами производства, обработки и эксплуатационной надежностью материала (материал определен).</p>

КМ2	Коллоквиум	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-У2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Феноменологическое описание структуры поверхности ковалентного кристалла в терминах квантовой химии.</li> <li>2. Методы приготовления атомарно-чистых поверхностей, методы очистки поверхности в микроэлектронике.</li> <li>3. Структурные отличия поверхностных слоев твердого тела от подложки.</li> <li>4. Физическая и химическая адсорбция и их влияние на электронную структуру поверхности.</li> <li>5. Поверхностные состояния. Поверхностные состояния Тамма и Шокли.</li> <li>6. Предсказание заполненных и незаполненных поверхностных электронных состояний на поверхности в запрещенной для объема зоне.</li> <li>7. Механизм образования слоя пространственного заряда. Элементы теории слоя пространственного заряда на поверхности.</li> <li>8. Влияние поверхности на свойства приповерхностных слоев и параметры микро- и нанoeлектронных структур на основе кремния и арсенида галлия.</li> <li>9. Методы исследования атомной и электронной структуры поверхности и межфазных границ.</li> <li>10. Предсказание сверхструктуры (2×1) и релаксации приповерхностной структуры.</li> <li>11. Сверхвысокий вакуум. Обоснование необходимости сверхвысокого вакуума в методе дифракции медленных электронов.</li> <li>12. Возможности метода дифракции медленных электронов.</li> <li>13. Экспериментальная техника дифракции медленных электронов.</li> <li>14. Определение динамических характеристик поверхностных атомов методом дифракции медленных электронов.</li> <li>15. Атомные структуры поверхностей полупроводников, определенных методом дифракции медленных электронов.</li> <li>16. Экспериментальные наблюдения методом дифракции медленных электронов сверхструктур на поверхностях кремния, германия и арсенида галлия.</li> <li>17. Межплоскостные расстояния и усредненный внутренний потенциал в приповерхностном слое кремния.</li> <li>18. Поверхностная диффузия.</li> <li>19. Поверхностная сегрегация.</li> <li>20. Рекомбинация, подвижность носителей заряда на поверхности.</li> <li>21. Поверхностная проводимость.</li> <li>22. Экспериментальное определение поверхностного потенциала по эффекту поля.</li> <li>23. Методы определения работы выхода электрона.</li> <li>24. Моделирование электронной структуры поверхности с помощью эффекта фото-эдс.</li> <li>25. Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Возможности СЗМ.</li> <li>26. Принцип работы атомно-силового микроскопа.</li> <li>27. Получение трехмерного изображения рельефа поверхности твердого тела, распределение плотности электронных состояний, локальной работы выхода электронов в режимах сканирующей туннельной и атомно- силовой микроскопии.</li> <li>28. Изучение кинетики процессов на поверхности спектроскопическими методами.</li> <li>29. Применение электронной спектроскопии при исследовании поверхностей: адсорбции, поверхностных примесей, поверхностных покрытий, различия объемного и поверхностного состава, границ раздела фаз, микродефектов, радиационных повреждений, идентификация молекул.</li> <li>30. Электронная литография. Области применения. Особенности метода.</li> </ol>
-----	------------	---------------------------------	---

КМ3	Анализ информационных ресурсов (не менее 3) с последующим устным докладом и обсуждением	ПК-1-У1;ПК-1-У2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Структурные отличия поверхностных слоев твердого тела от подложки.</li> <li>2. Физическая и химическая адсорбция и их влияние на электронную структуру поверхности.</li> <li>3. Определение толщины тонких пленок методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.</li> <li>4. Влияние поверхности на свойства приповерхностных слоев и параметры микро- и нанoeлектронных структур на основе кремния и арсенида галлия.</li> <li>5. Методы исследования атомной и электронной структуры поверхности и межфазных границ.</li> <li>6. Применение электронной спектроскопии при исследовании адсорбции на поверхности.</li> <li>7. Анализ химического состояния элементов и их оксидных соединений методами электронной спектроскопии.</li> <li>8. Определение характеристик поверхностных атомов методом дифракции медленных электронов.</li> <li>9. Поверхностные диффузия и сегрегация.</li> <li>10. Экспериментальное определение поверхностного потенциала по эффекту поля.</li> <li>11. Методы определения работы выхода электрона.</li> <li>12. Принципы и технологии направленной модификации поверхности материалов твердотельной электроники.</li> <li>13. Получение трехмерного изображения рельефа в режимах сканирующей зондовой микроскопии.</li> <li>14. Способы управления электронной структурой поверхности.</li> </ol>
КМ4	Составление сравнительной таблицы	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-У2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сравнить методы формирования поверхностных фаз, модификации поверхности.</li> <li>2. Классификация и сравнение возможностей современных методов диагностики и исследования атомной и электронной структуры поверхности.</li> </ol>

КМ5	Тесты	ПК-1-31;ПК-1-32	<p>Типовой тест:</p> <p>1. Признаком физической адсорбции на поверхности твердого тела является:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- образование ковалентной или ионной химической связи с поверхностным атомом</li> <li>- низкая температура десорбции</li> <li>- Ван-дер-Ваальсова связь с поверхностным атомом</li> </ul> <p>2. Какой из методов приготовления атомарно-чистых поверхностей применим только к монокристаллам</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- бомбардировка ионами инертных газов с последующим отжигом</li> <li>- раскол кристалла в сверхвысоком вакууме</li> <li>- обработка поверхности в восстановительной атмосфере</li> <li>- продолжительный прогрев в сверхвысоком вакууме</li> </ul> <p>3. Зона «оборванных» состояний s-типа располагается:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ниже зоны «оборванных» состояний p-типа</li> <li>- ниже зоны «оборванных» состояний p-типа; выше зоны «оборванных» состояний p-типа</li> <li>- ниже зоны «оборванных» состояний p-типа; выше зоны «оборванных» состояний p-типа; в зоне «оборванных» состояний p-типа</li> </ul> <p>4. Зона поверхностных состояний ковалентного кристалла находится:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- в валентной зоне</li> <li>- в запрещенной для объема зоне; в разрешенной для объема зоне</li> <li>- в запрещенной для объема зоне</li> <li>- частично в запрещенной, частично в разрешенной для объема зоне</li> </ul> <p>5. Угол между связями <math>sp^2</math>-гибридными орбиталями, град.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 90</li> <li>- 180</li> <li>- 120</li> <li>- <math>109^{\circ}28'</math></li> </ul> <p>6. Модель вертикальных смещений Хэйнемана (H-модель) предложена для объяснения сверхструктур (<math>2 \times 1</math>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- сколотых граней Si и Ge</li> <li>- ионноимплантированных поверхностей Si и Ge</li> <li>- отожженных поверхностей Si и Ge</li> </ul> <p>7. В методе дифракции медленных электронов используются энергии первичных электронов в интервале:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 - 300 эВ</li> <li>- 1,5 - 20 кэВ</li> <li>- 300 - 600 эВ</li> <li>- 10 - 600 эВ</li> </ul> <p>8. При высоких температурах среднеквадратичное смещение атомов не зависит от:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- величины и направленности межатомных сил</li> <li>- постоянной квазиупругой силы</li> <li>- массы колеблющейся частицы</li> <li>- температуры</li> </ul> <p>9. Элементарная ячейка в виде параллелограмма, образованного отрезками вдоль <math>\langle 110 \rangle</math>, вектор трансляции вдоль одной из сторон вдвое больше, чем в объеме, а вдоль другой совпадает с объемным</p>
-----	-------	-----------------	--

			<p>значением, соответствует:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- структурному переходу <math>(2 \times 1) \rightarrow (1 \times 1)</math></li><li>- реконструированной структуре <math>(2 \times 1)</math> поверхности (110) кремния</li><li>- реконструированной структуре <math>(2 \times 1)</math> поверхности (111) кремния</li></ul> <p>10. Адсорбция малых количеств остаточных молекул воды на поверхности скола Si (111):</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- увеличивает нестабильность системы</li><li>- стимулирует структурный переход <math>(2 \times 1) \rightarrow (1 \times 1)</math></li><li>- приводит к появлению дробных дифракционных рефлексов</li></ul>
--	--	--	--

КМ6	Контрольная работа	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-У2	<p>Вариант 1</p> <p>Известно, что слои диоксида кремния, полученные на поверхности кремния, всегда содержат донорные примеси, сосредоточенные вблизи границ с кремнием. Какое влияние оказывают эти слои на приповерхностную структуру кремния n- и p-типа. Определить удельное сопротивление поверхностного слоя толщиной 1 мкм, если подвижность носителей заряда ..., их средняя концентрация в слое ...</p> <p>Вариант 2</p> <p>Определить величину поверхностного потенциала и форму зон, если к собственному германию перпендикулярно поверхности приложено постоянное электрическое поле, напряженность которого 160 В/см.</p> <p>Вариант 3</p> <p>Определить величину поверхностного потенциала и форму зон, если к акцепторному полупроводнику с полностью ионизованной примесью в объеме перпендикулярно поверхности приложено постоянное электрическое поле, напряженность которого E.</p> <p>Вариант 4</p> <p>Найти поверхностный потенциал, если к донорному полупроводнику с полностью ионизованной примесью в объеме перпендикулярно поверхности приложено постоянное электрическое поле, напряженность которого E. Аппроксимировать ход поверхностного потенциала, решать уравнение Пуассона в приближении большого загиба зон.</p> <p>Вариант 5</p> <p>Найти плотность адсорбированного на поверхности кремния, легированного акцепторной примесью, поверхностного заряда при комнатной температуре, если при адсорбции работа выхода уменьшается на 0,26 эВ.</p> <p>Вариант 6</p> <p>Найти изменение работ выхода электронов, если на поверхности полупроводника адсорбированы молекулы с дипольным моментом... Плотность адсорбированных молекул... Сравнить во сколько раз изменение работы выхода будет меньше, чем в собственном полупроводнике, на поверхности которого адсорбирована донорная примесь с той же концентрацией.</p> <p>Вариант 7</p> <p>Постройте энергетические диаграммы контактов металл-полупроводник различного типа в разных соотношениях работ выхода. В каких случаях в полупроводнике образуются обедненные носителями заряда слои, в каких – обогащенные? Что такое барьер Шотки? Какими свойствами при этом обладают поверхностные слои полупроводника? Подберите пары металл-полупроводник для этих случаев.</p>
-----	--------------------	---------------------------------	--

КМ7	Защита отчета по лабораторной работе	ПК-1-В1;ПК-1-В2;ПК-1-У2;ПК-1-У1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Физические основы метода.</li> <li>2. Аппаратурная реализация.</li> <li>3. Калибровка установки и выбор параметров эксперимента. Контролируемые и неконтролируемые параметры.</li> <li>4. Нормируемые характеристики и факторы, влияющие на их значения.</li> <li>5. Получение, особенности и структура, принципы расшифровки спектров.</li> <li>6. Анализ эксперимента, интерпретация полученных результатов.</li> <li>7. Возможности метода.</li> <li>8. Сравнение методов.</li> <li>9. Как бы вы спланировали свой эксперимент?</li> </ol>
<b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)</b>			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Практическая работа	ПК-1-У1;ПК-1-У2	Приготовление атомарно-чистых поверхностей.
P2	Практическая работа	ПК-1-У1;ПК-1-У2	Подвижность носителей заряда в слое пространственного заряда на поверхности. Поверхностная проводимость. Работа выхода электрона. Связь поверхностных свойств и явлений с технологическими процессами производства, обработки и эксплуатационной надежностью материала.
P3	Практическая работа	ПК-1-У1;ПК-1-У2	Методы модификации поверхности и управления свойствами модифицированных структур.
P4	Практическая работа	ПК-1-У1;ПК-1-У2	Применение электронной спектроскопии в исследованиях процессов на поверхности. Идентификация адсорбированных на поверхности атомов. Экспериментальные методы исследования особенностей электронной структуры поверхности. Наблюдения методом дифракции медленных электронов сверхструктур на поверхностях.
P5	Реферат	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-В1;ПК-1-В2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Контроль технологических параметров нанесения углеродных пленок с помощью спектроскопических и зондовых методов. Реферат должен отражать решение комплексных профессиональных задач на основе анализа причинно-следственных связей: <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 Как условия эксплуатации изделия влияют на выбор параметров слоев?</li> <li>1.2 В каких изделиях для их эксплуатации необходимо нанесение на поверхность углеродных пленок?</li> <li>1.3 При каких условиях эксплуатируются эти изделия?</li> <li>1.4 Какие требования устанавливаются к параметрам и свойствам структурных слоев этих изделий?</li> <li>1.5 Зачем надо контролировать технологические параметры гетерогенных систем?</li> </ol> </li> <li>Оформить реферат-описание необходимо в виде документа.</li> <li>2. Технология изготовления углеродных структур: теоретическая модель для описания особенностей и взаимосвязей атомной и электронной структуры и свойств.</li> <li>3. Управление свойствами модифицированных структур: основные методы переноса графена.</li> <li>4. Связь поверхностных свойств и явлений с технологическими процессами производства, обработки и эксплуатационной надежностью материала (материал определен).</li> </ol>

P6	Коллоквиум	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-У2	<p>Феноменологическая теория атомной и электронной структуры атомарно-чистой поверхности ковалентных кристаллов с позиций квантовой химии, физические причины и процессы перестройки поверхности. Приготовление атомарно-чистых поверхностей. Поверхностные состояния.</p> <p>Механизмы возникновения слоя пространственного заряда на поверхности. Зонная структура поверхности материалов.</p> <p>Управление зонной структурой поверхности. Физическая и химическая адсорбция и их влияние на электронную структуру поверхности.</p> <p>Контактные явления и внутренние взаимные процессы, влияния на них различных воздействий, управление свойствами модифицированных структур.</p> <p>Современные методы диагностики и исследования атомной и электронной структуры, механических и физических свойств поверхности и межфазных границ.</p>
P7	Анализ информационных ресурсов (не менее 3) с последующим устным докладом и обсуждением	ПК-1-У1;ПК-1-У2	<p>Физические причины и процессы перестройки поверхности. Приготовление атомарно-чистых поверхностей. Управление зонной структурой поверхности. Технология и свойства модифицированных структур. Современные методы диагностики и исследования атомной и электронной структуры, механических и физических свойств поверхности и межфазных границ.</p>
P8	Составление сравнительной таблицы	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-У2	<p>Сравнение методов формирования поверхностных фаз, модификации поверхности. Классификация и сравнение возможностей современных методов диагностики и исследования атомной и электронной структуры поверхности.</p>
P9	Контрольная работа	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-У2	<p>Контактные явления и внутренние взаимные процессы в полупроводниках и диэлектриках. Атомные и электронные состояния на границе раздела фаз.</p>
P10	Тесты	ПК-1-31;ПК-1-32	<p>Феноменологическая теория атомной и электронной структуры атомарно-чистой поверхности ковалентных кристаллов с позиций квантовой химии, физические причины и процессы перестройки поверхности. Приготовление атомарно-чистых поверхностей. Поверхностные состояния.</p> <p>Механизмы возникновения слоя пространственного заряда на поверхности. Зонная структура поверхности материалов.</p> <p>Управление зонной структурой поверхности. Физическая и химическая адсорбция и их влияние на электронную структуру поверхности.</p> <p>Контактные явления и внутренние взаимные процессы, влияния на них различных воздействий, управление свойствами модифицированных структур.</p> <p>Современные методы диагностики и исследования атомной и электронной структуры, механических и физических свойств поверхности и межфазных границ.</p>
P11	Лабораторная работа	ПК-1-В1;ПК-1-В2	<p>Приготовление атомарно-чистых поверхностей</p>
P12	Лабораторная работа	ПК-1-В1;ПК-1-В2	<p>Электронная спектроскопия: Электронная оже-спектроскопия (ЭОС), Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Изучение химического состава, выявление окисленных состояний, анализ влияния обработки на состав поверхности.</p>
P13	Лабораторная работа	ПК-1-В1;ПК-1-В2	<p>Ионная масс-спектроскопия</p>
P14	Лабораторная работа	ПК-1-В1;ПК-1-В2	<p>Проведение комплексных измерений. Составление описания комплекса измерений. Контроль производственных процессов.</p>



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

Экзаменационный билет состоит из трех вопросов теоретической и практической направленности.

Экзаменационные билеты хранятся на кафедре, их число соответствует числу студентов в группе. Пример экзаменационного билета в приложении.

Типовые вопросы итогового контроля:

1. Влияние поверхностных состояний на контактные явления в полупроводниках (материал определен).
2. Поверхностная рекомбинация в полупроводниках.
3. Переход типа Яна-Теллера и явление поверхностной релаксации.
4. Изменение заряда и емкости поверхностных состояний при изменении величины поверхностного потенциала в полупроводниках.
5. Образование поверхностных каналов и их влияние на параметры р-п-перехода.
6. Сравнение параметров поверхностной электропроводности графита и алмаза.
7. Поверхностные состояния в ионных кристаллах.
8. Влияние характера обработки поверхности на поверхностную проводимость германия.
9. Проблемы физики поверхностных состояний в технологиях кремний-на-сапфире, кремний-на-изоляторе.
10. Критерии гетерозитаксии.
11. Причины закрепления уровня Ферми на поверхности германия и кремния.
12. Определение структуры валентной зоны методом фотоэлектронной спектроскопии.
13. Экспериментальные методы определения положения уровня Ферми на поверхности и в объеме.
14. Способы модификации поверхности и свойств. Управляемая диффузия на поверхности.
15. Вычисление энергии связи на основе данных, полученных методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.
16. Обоснование необходимости сверхвысокого вакуума для проведения спектроскопических исследований.
17. Классификация современных методов анализа поверхности и приповерхностных слоев твердых тел.
18. Определение элементного состава поверхности с помощью спектроскопических методов.
19. Определение атомной структуры с помощью метода дифракции медленных электронов.

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

Обучение по дисциплине проводится в активных и интерактивных формах с применением технологии «обратный класс».

По каждому разделу дисциплины предусмотрена как текущая, так и рубежная аттестация. Каждое Практическое занятие предусматривает предварительную подготовку к нему. Новые учебные материалы и методические указания по их самостоятельному освоению, а также ссылки на дополнительные материалы представлены на сайте <https://lms.misis.ru/>.

Перед каждым практическим занятием студенту необходимо изучить представленный материал на соответствующей странице и самостоятельно оценить усвоение контента, пройдя тест из 10 вопросов (итоговый тест по дисциплине из 18 вопросов) в часы самостоятельной работы по дисциплине. Всего 6 тестов, студент имеет 2 попытки, время ограничено 20 минутами. Зачитывается положительное прохождение теста, если студент правильно ответил на 7 вопросов из 10, итоговый тест - 13 правильных ответов.

Задание "Составление сравнительной таблицы" выполняется по шаблону в Canvas. Таблица проходит взаимное рецензирование. Для этого она отправляется одногруппнику, следующему в списке (последний в списке оценивает заметки первого). Критерий оценивания - последовательное изложение с использованием общепринятой терминологии. Итог «Понятно/ не понятно» вносится в соответствующую графу Google-документа с аргументацией положительных и отрицательных сторон сравнительной таблицы. Проблемные вопросы по заданию обсуждаются в часы практических занятий в форме коллективной беседы. Итоговую оценивание проводит преподаватель - "Принято/не принято".

Анализ 3 статей по проблемам взаимодействия поверхности и объема, влияния легирующих и фоновых примесей на физические свойства функциональных материалов и компонентов приборов квантовой и оптической электроники, применению современных методов для решения практических задач в области электроники и материаловедения и др, и доклад результатов анализа (5 минут) в часы практических занятий является тренировочным заданием. Статьи для анализа подбираются студентом самостоятельно с использованием информационных ресурсов. После доклада проходит его обсуждение - групповая дискуссия. Аргументированный ответ докладчиком на один из вопросов дискуссии является необходимым требованием для положительного засчитывания данного мероприятия. Итоговую оценивание проводит преподаватель - "Принято/не принято".

Лабораторное занятие начинается с освоения правил техники безопасности и порядка проведения эксперимента с использованием руководства-описания установки. Во время лабораторного занятия студенту необходимо сделать заметки по ходу объяснения преподавателя в виде краткой инструкции по проведению эксперимента. Заметки отправляются для оценивания одногруппнику, следующему в списке (последний в списке оценивает заметки первого). Критерий оценивания - последовательное изложение с использованием общепринятой терминологии. Итог «Понятно/ не понятно» вносится в соответствующую графу Google-документа с аргументацией положительных и отрицательных сторон инструкции.

Для обработки, расшифровки и анализа результатов эксперимента староста группы делит студентов на команды по 4-5 человек. Каждая команда получает свое задание. Обработка результатов проводится с помощью пакета прикладных программ спектрометра. Для расшифровки спектров команда использует базу данных. Экспериментальные данные и результаты качественного и количественного анализа выданного команде образца записываются в Google-таблицу, доступ к которой является совместным у всей команды и преподавателя. В конце лабораторного занятия проводится самопроверка результатов с помощью файла "Ответы" на странице соответствующего раздела в Canvas.

Инструкцию и таблицу необходимо оформить в отчет по лабораторной работе. В отчет также включается ответ на контрольный вопрос на странице в разделе Задания. Номер вопроса, на который надо ответить студенту, - порядковый номер в списочном составе группы. Файл с отчетом по лабораторной работе прикрепляется в разделе Задания на сайте <https://lms.misis.ru/>. Критерий оценивания - грамотное и последовательное изложение, соответствие командному заданию и индивидуальному вопросу. Итог "Принято/не принято".

Защита отчета по лабораторным работам проводится в часы лабораторных работ или в часы дополнительных консультаций преподавателя. Онлайн-консультации для желающих проходят еженедельно по предварительной договоренности. Цель защиты отчета - определение степени самостоятельности выполнения лабораторной работы студентом. Если уровень компетенций, выявленных в процессе индивидуальной беседы, достаточный, то защита отчета по лабораторным работам признается удовлетворительной.

Рубежная аттестация проводится в виде коллоквиумов. Вопросы к коллоквиумам выдаются студентам на первом практическом занятии. Коллоквиумы проводятся в устной форме в часы практических занятий. Студент должен правильно ответить на три из предложенных ему преподавателем вопросов, в этом случае контрольное мероприятие "Коллоквиум" считается выполненным с оценкой "Отлично", ответ на два вопроса - оценка "Хорошо", на один вопрос "Удовлетворительно", ни на один из вопросов - оценка "Неудовлетворительно".

Реферат является суммирующим оценочным мероприятием. Срок сдачи реферата - 12 неделя. Формулировка темы реферата и движущий вопрос работы дорабатываются студентом самостоятельно. На первом практическом занятии студенту объясняется задание. Студент выполняет работу в часы для самостоятельной работы по дисциплине. План самостоятельной работы над рефератом:

1. Изучение учебного материала и систематизация информации;
2. Самотестирование в системе Canvas;
3. Определение актуальной для своей НИР проблемы;
4. Поиск дополнительных ресурсов, соответствующих определенной проблеме;
5. Постановка задачи;
6. Разработка движущего вопроса и планирование работы;
7. Написание реферата;
8. Оформление работы в соответствии с нормативными документами.

Во время практических занятий студент озвучивает проблемы, возникшие у него при написании реферата. Решение проблем происходит с помощью взаимного обсуждения и группового мозгового штурма. Защита отчета происходит в часы практических работ. После доклада проходит его обсуждение - групповая дискуссия. Аргументированный ответ докладчиком на один из вопросов дискуссии является необходимым требованием для положительного засчитывания данного мероприятия. В асинхронном режиме студент загружает реферат в электронную среду и участвует во взаимной проверке, а затем изучает рецензию на свой реферат. После чего студент имеет возможность внести исправления в реферат.

Критерии оценивания реферата представлены в таблице. Выполнение 9 ("Принято") из 9 критериев необходимо для зачета реферата с оценкой "Отлично", выполнение 8 ("Принято") критериев соответствует оценке "Хорошо", выполнение 6-7 ("Принято") критериев соответствует оценке "Удовлетворительно", выполнение 5 ("Принято") и менее критериев соответствует оценке "Неудовлетворительно".

Критерии	Доработать	Принято
Постановка проблемы/задачи	Не корректная	Корректная
Выбран информационный ресурс	Не соответствует задаче	Соответствует задаче
Обоснование актуальности работы	Не обосновано	Обоснован
Заключение по работе краткое и логичное	Нет или не логичное, не соответствует теме/задаче	Соответствует теме/задаче,
Элемент творчества	Шаблонная работа	Оригинальность
Изложение материала последовательное	Не логичное, не последовательное	Логичное,
Ссылки на информационные ресурсы соответствуют списку используемых источников	Нет ссылок, нет списка используемых источников	Ссылки расставлены,
Оформление работы требованиям нормоконтроля	Не соответствует требованиям нормоконтроля	Соответствует
Проверка на плагиат оригинальности и выше	Менее 75% оригинальности	75%

Итоговая аттестация по дисциплине предусмотрена в виде экзамена. Экзамен отражает результат процесса формирования компетенций студента при изучении дисциплины и устанавливает уровень знаний студентов по применению полученных знаний, умений и навыков. Экзамен проводится в устной форме в период экзаменационной сессии в соответствии с расписанием экзаменов. В течении семестра необходимо выполнить все работы из перечня работ, выполняемых по дисциплине. В случае невыполнения работы, предусмотренной программой дисциплины, студент на экзамене получает дополнительный вопрос или задание, соответствующие работе по дисциплине. "Отлично" ставится в том случае, если студент выполнил все работы по дисциплине и правильно ответил на 3 вопроса экзаменационного билета. "Хорошо" ставится в том случае, если студент выполнил все работы по дисциплине, но не ответил на 1 или 2 вопроса экзаменационного билета. "Удовлетворительно" ставится в том случае, если студент выполнил не все работы по дисциплине, но правильно ответил на 2 вопроса экзаменационного билета. "Неудовлетворительно" ставится в том случае,

если студент не ответил на 2 вопроса экзаменационного билета или не выполнил все работы по дисциплине. "Не явка" ставится, если обучающийся на проставление 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	Разумовская И. В.	Физика твердого тела: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Прометей, 2011
Л1.2	Филимонова Н. И., Кольцов Б. Б.	Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия: учебное пособие	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013
Л1.3	Корнилович А. А., Ознобихин В. И., Суханов И. И., Холявко В. Н.	Физика твердого тела: учебное пособие	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2012
Л1.4	Куприянов М. Ф., Кабилов Ю. В., Рудская А. Г., Кофанова Н. Б., Разумная А. Г.	Физико-химические основы создания активных материалов: учебник	Электронная библиотека	Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2011
Л1.5	Горелик С. С., Дашевский М. Я.	Материаловедение полупроводников и диэлектриков: учебник для студ. вузов по напр. 'Материаловедение и технология новых материалов', 'Материаловедение, технологии материалов и покрытий'	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2003
Л1.6	Пархоменко Юрий Николаевич, Полисан Андрей Андреевич	Физика и технология приборов фотоники. Солнечная энергетика и нанотехнологии: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2014
Л1.7	Ковалев А. Н., Рабинович О. И., Тимошина М. И.	Физика и технология наноструктурных гетерокомпозиций: учебник	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2015

#### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Дебройн Н., Гувинк Р.	Адгезия: клеи, цементы, припои: монография	Электронная библиотека	Москва: Изд-во иностр. лит., 1954
Л2.2	Ханефт А. В.	Ионные и электронные процессы и контактные явления в широкозонных полупроводниках: электронное учебное пособие: учебное пособие	Электронная библиотека	Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2014
Л2.3	Лифшиц И. М., Азбель М. Я., Каганов М. И.	Электронная теория металлов: монография	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1971

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.4	Герасименко Н. Н., Пархоменко Ю. Н.	Кремний - материал нанoeлектроники: учеб. пособие для студ. вузов спец. 210600 - 'Нанотехнология' и спец. 210100 - 'Электроника и микроэлектроника'	Библиотека МИСиС	М.: Техносфера, 2007
Л2.5	Брандон Д., Каплан У., Баженов С. Л., Егорова С. В.	Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля: учеб. пособие для студ. напр. 'Прикладные математика и физика': пер. с англ.	Библиотека МИСиС	М.: Техносфера, 2004
Л2.6	Кузнецов Геннадий Дмитриевич	Атомно-молекулярные процессы кристаллизации: Разд.: Поверхностные явления на границе раздела фаз: учеб. пособие для практ. занятий для студ. спец. 0643	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1985
Л2.7	МИСиС, Горелик С. С.	Вып.89: Поверхностные явления в полупроводниках: Сб.статей	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1976
Л2.8	Ковалев Алексей Николаевич, Фоломин Павел Иванович	Твердотельная электроника: Разд.: Контактные явления: Учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1997
Л2.9	Аленков Владимир Владимирович, Евсеев Виктор Алексеевич, Ершова Светлана Аркадиевна, др., Кузнецов Геннадий Дмитриевич	Технология материалов электронной техники: Разд.: Микротехнология тонких пленок и твердотельных структур: Лаб. практикум для студ. направлений 550700, 551600, 553100 и спец. 200100, 200200	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1998
Л2.10	Кожитов Лев Васильевич, Крапухин Всеволод Валерьевич, Улыбин Владимир Анатольевич	Технология эпитаксиальных слоев и гетерокомпозиций: Учебно-метод. пособие для студ. спец. 200100	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2001
Л2.11	Кузнецов Геннадий Дмитриевич	Технология материалов электронной техники. Атомно-молекулярные процессы кристаллизации: учебно-метод. пособие для студ. вузов напр. Физ. материаловедение и спец. Наноматериалы	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2006

### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Бёккер Ю.	Спектроскопия: монография	Электронная библиотека	Москва: РИЦ Техносфера, 2009
Л3.2	Королев Ф. А.	Спектроскопия высокой разрешающей силы: монография	Электронная библиотека	Москва: Государственное издательство технико- теоретической литературы, 1953

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛЗ.3	Фомин Д. В., Дубов В. Л.	Учебно-методическое пособие по выполнению расчетно-графической работы по теме: электронная оже-спектроскопия: методическое пособие	Электронная библиотека	Москва, Берлин: Директ-Медиа, 2015
ЛЗ.4	Звеков А. А., Невоструев В. А., Каленский А. В.	Спектральные методы исследования в химии: учебное пособие	Электронная библиотека	Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2015
ЛЗ.5	Полисан Андрей Андреевич, Астахов Владимир Петрович	Материалы и элементы электронной техники. Расчет режимов термического окисления и диффузии при формировании легированных слоев: практикум	Электронная библиотека	М.: Учеба, 2007
ЛЗ.6	Бублик Владимир Тимофеевич, Мильвидский Андрей Михайлович	Методы исследования материалов и структур электроники. Рентгеновская дифракционная микроскопия: курс лекций	Электронная библиотека	М.: Учеба, 2006
ЛЗ.7	Абрамов Н. Н., Белов В. А., Гершман Е. И., др., Калошкин Сергей Дмитриевич	Современные методы исследований функциональных материалов: лаб. практикум: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 'Металлургия'	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2011
ЛЗ.8	Овчинников В. В., Тимошин Анатолий Семенович, Крапухин Всеволод Валерьевич	Технология многослойных структур для микроэлектроники: Разд.: Термический и электролитический методы получения оксидных пленок	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 1992
ЛЗ.9	Кузнецов Геннадий Дмитриевич, Никоненко В. А., Полистанский Юрий Григорьевич, Сушков Валерий Петрович, Кузнецов Геннадий Дмитриевич	Методика определения параметров тонких пленок и эпитаксиальных слоев: лаб. практикум для студ. напр. 550700, 551600, 553100 и спец. 200110, 200200	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1999
ЛЗ.10	Бублик Владимир Тимофеевич, Дубровина Аида Николаевна	Методы исследования материалов и компонентов электронной техники: учеб. пособие для практ. занятий студ. спец. 20.02	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1991
ЛЗ.11	Валянский Сергей Иванович, Наими Евгений Кадырович, Капуткин Дмитрий Ефимович	Современные методы исследования наноструктур. Метод оптической поверхностно-плазмонной микроскопии: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛЗ.12	Юрчук Сергей Юрьевич	Компьютерное моделирование нанотехнологий, наноматериалов и наноструктур. Математическое моделирование фотолитографических процессов и процессов электронной литографии при создании субмикронных структур с нанометровыми размерами: курс лекций	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2013
ЛЗ.13	Бублик Владимир Тимофеевич, Щербачев Кирилл Дмитриевич, Воронова Марина Игоревна, Мильвидский Андрей Михайлович	Дифракционные методы изучения материалов и приборных структур. Ионная имплантация: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2013
ЛЗ.14	Филичкина Вера Александровна, Скорская Ольга Лениардовна, Козлов А. С.	Методы и средства аналитического контроля материалов. Атомно-эмиссионный спектральный анализ: лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2015
ЛЗ.15	Пархоменко Юрий Николаевич, Антипов В. В., Жуков Р. А., др.	Выращивание кристаллов. Выращивание кристаллических пленок методом магнетронного напыления: лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: [МИСиС], 2017

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

Э1	Электронно-библиотечная система	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Э2	Медиаотека НИТУ "МИСиС"	<a href="https://misis.ru/media-library/">https://misis.ru/media-library/</a>
Э3	Информационная система Единое окно доступа к образовательным ресурсам	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Э4	Список электронных ресурсов НИТУ "МИСиС"	<a href="http://lib.misis.ru/links.html">http://lib.misis.ru/links.html</a>
Э5	LMS Canvas	<a href="https://lms.misis.ru/">https://lms.misis.ru/</a>
Э6	Google-документы	<a href="https://www.google.ru/">https://www.google.ru/</a>
Э7	Платформа для проведения конференций Zoom	<a href="https://zoom.us/">https://zoom.us/</a>

#### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Microsoft Office
П.2	LMS Canvas
П.3	MS Teams
П.4	Зернограничная диффузия
П.5	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr
П.6	ANSYS Academic Research CFD

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

И.1	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a> ,
И.2	Библиотека «Развитие технологий для человечества» (IEEE Xplore) - <a href="https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp">https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp</a> ,
И.3	Научный журнал «Nature Nanotechnology» - <a href="https://nano.nature.com/">https://nano.nature.com/</a> ,
И.4	Источник патентной информации, заявок, научных публикаций и сервисов Clarivate Analytics - <a href="https://clarivate.ru/">https://clarivate.ru/</a> ,
И.5	База данных научных публикаций Scopus - <a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a> ,
И.6	Интерактивная база данных SpringerLink - <a href="https://rd.springer.com/">https://rd.springer.com/</a> ,
И.7	База данных по материалам SpringerMaterials - <a href="https://materials.springer.com/">https://materials.springer.com/</a> ,
И.8	Электронная библиотечная система Издательства «Наука» - <a href="https://www.libnauka.ru/">https://www.libnauka.ru/</a> ,

И.9	Журналы издательства Cambridge University Press - <a href="https://www.cambridge.org/">https://www.cambridge.org/</a> ,
И.10	Журналы издательства Oxford University Press и Цифровой архив журнала Science - <a href="https://archive.neicon.ru/xmlui/">https://archive.neicon.ru/xmlui/</a> ,
И.11	Журнальный портал ФТИ им. А.Ф. Иоффе - <a href="https://journals.ioffe.ru/">https://journals.ioffe.ru/</a> ,
И.12	Университетская информационная система Россия - <a href="https://www.uisrussia.msu.ru/">https://www.uisrussia.msu.ru/</a> .

### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
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 электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 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
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
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

Обучение по дисциплине проводится в активных и интерактивных формах. Для синхронной работы в дистанционном формате используется Zoom. Командная работа проводится с использованием Google-документов. Асинхронная работа осуществляется в LMS Canvas на основе инструмента Задания.

Для самостоятельного освоения теоретических основ дисциплины студентам передаются электронные презентации и учебные пособия, в которых рассматриваются основные положения, необходимые для решения практических задач и выполнения лабораторных работ. Электронный контент в Canvas на сайте <https://lms.misis.ru/> включает универсальный методический комплекс дисциплины (УМКД) «Современные методы диагностики и исследования наногетероструктур».

Для получения доступа к материалам студентам необходимо зарегистрироваться на сайте НИТУ «МИСиС» и выбрать курс «Современные методы диагностики и исследования наногетероструктур».

Практические и лабораторные занятия проводятся с использованием наглядных пособий, образцов, установок с соответствующим программным обеспечением Учебно-научного комплекса лабораторий Спектроскопических методов исследования и Сканирующей зондовой микроскопии кафедры материаловедения полупроводников и диэлектриков и Центра коллективного пользования «Материаловедение и металлургия»: электронный оже-спектрометр PHI-680 AES фирмы "Physical Electronics"; рентгеновский фотоэлектронный спектрометр PHI-5500 ESCA фирмы "Physical Electronics"; рентгеновский фотоэлектронный спектрометр PHI VersaProbe II 5000; вторичный ионный масс-спектрометр PHI-6600 SIMS System фирмы "Physical Electronics"; профилометр ALPHA-STEP фирмы Tencor; сканирующий зондовый микроскоп MFP 3D Stand Alone (Asylum Research); сканирующая зондовая лаборатория NTEGRA фирмы "NT-МЭТ"; сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) (оригинальная разработка Центра); последовательный рентгенофлуоресцентный спектрометр XRF-1800 фирмы Шимадзу; быстросканирующий инфракрасный Фурье-спектрометр IFS-66V/S фирмы BRUKER.

Электронные презентации и (или) опорные конспекты теоретических основ дисциплины заранее передаются обучающимся для предварительного ознакомления. Перед проведением практических и лабораторных занятий обучающимся рекомендуется дома самостоятельно просмотреть теоретический материал по тематике предстоящего занятия.

Лабораторные работы проводятся в два этапа: проверка готовности студентов к выполнению работы и проведение всех запланированных экспериментов, защита лабораторных работ. Рекомендуется на каждом практическом и лабораторном занятии проводить экспресс опрос с целью установления усвояемости дисциплины и готовности к выполнению лабораторной работы. Успешное прохождение тестирования в Canvas может заменять проверку готовности к выполнению

лабораторной работы в форме опроса и защиту выполненной лабораторной работы. Обработка и оформление результатов экспериментов проводится студентами самостоятельно в свободное от аудиторных занятий время. Отчеты по лабораторным занятиям составляются с использованием программного обеспечения соответствующих экспериментальных установок для построения и анализа графиков и массивов данных. Защита проводится в виде ответов студентов на вопросы преподавателя.

Обучение организуется в соответствии с настоящей программой. Самостоятельная работа студентов организуется и контролируется путем индивидуального опроса студентов и проверки работы над рефератом-описанием во время практических и лабораторных занятий. Для успешного освоения изучаемой дисциплины для студентов возможна организация консультаций, в том числе индивидуальных.

Студентам предоставляется возможность копирования презентаций и всех электронных материалов для самоподготовки и подготовки к итоговому контролю.

Текущий контроль успеваемости и итоговый экзамен проводится в виде собеседования с использованием вопросов для текущего контроля успеваемости, переданных обучающимся перед началом освоения дисциплины.