



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП

(подпись)

Крайнова Г.С.

(Ф.И.О.)

« 27 » апреля 2022 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. директора департамента общей и  
экспериментальной физики

(подпись)

Короченцев В. В.

(Ф.И.О.)

« 27 » апреля 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Процессы на поверхности раздела фаз

**Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

Электроника и нанoeлектроника

**Форма подготовки очная**

курс 3 семестр 6

лекции 32 час.

практические занятия 32 час.

лабораторные работы не предусмотрены

в том числе с использованием МАО лек.     - / пр. 18 / лаб. 00 час.

всего часов аудиторной нагрузки 64 час.

в том числе с использованием МАО 18 час.

самостоятельная работа 80 час.

в том числе на подготовку к экзамену 36 час.

контрольные работы (количество) не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет 0 семестр

экзамен 6 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 11.03.04 **Электроника и нанoeлектроника** утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 19.09.2017 г. № 927 (с изменениями и дополнениями).

Рабочая программа обсуждена на заседании  
департамента общей и экспериментальной физики  
протокол № 7 от « 3 » марта 2022 г.

И.о. директора департамента: к.х.н., доцент Короченцев В. В.

Составитель (ли): член-корр. РАН, профессор Зотов А.В.

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**III. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель: ознакомление студентов с основными определениями и базисными концепциями физики поверхности полупроводниковых кристаллов и физики поверхностей раздела фаз.

Задачи:

- изучение основных положений физики поверхности полупроводников, представление об атомной структуре чистых поверхностях элементарных полупроводников, а также поверхностях с адсорбатами;
- овладение теоретическими основами взаимодействия различных видов излучения с поверхностью твердых тел, наночастицами, наноматериалами;
- овладение знаниями физических принципов и возможностей основных методов исследования поверхности и границ раздела.

Для успешного изучения дисциплины «Процессы на поверхности раздела фаз» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- ОПК-2 - Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Производственно-технологический	ПК-3 Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	ПК -3.1 Осуществляет оценку соответствия наноматериалов и наноструктур требованиям технологических инструкций, технической и нормативной документации по проведению измерений их параметров

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-3.1 Осуществляет оценку соответствия наноматериалов и наноструктур требованиям технологических инструкций, технической и нормативной документации по проведению	Знает принципы получения наноматериалов и наноструктур, методы измерения их параметров
	Умеет осуществлять оценочные расчеты характеристик наноматериалов и наноструктур
	Владеет навыками оценки соответствия наноматериалов и наноструктур требованиям технологических

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
измерений их параметров	инструкций, технической и нормативной документации по проведению измерений их параметров

## 2. Трудоемкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачётные единицы 144 академических часа).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Пр	Практические работы
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

### Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося						Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР	Контроль	
1	Раздел I. Кристаллическая структура поверхности	6	20	-	20	-	80	36	УО-1; УО-3; ПР-6
2	Раздел 2. Процессы на поверхности твердых тел	6	12	-	12	-	80	36	
	Итого:		32		32	-	80	36	

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Лекционные занятия (32 час.)

#### Тема 1. Основы двумерной кристаллографии (4 часа).

Решетка, базис и кристаллическая структура поверхности, двумерные решетки Браве, индексы Миллера плоскостей кристалла, низкоиндексные и высокоиндексные плоскости, индексы направлений, запись для описания структуры поверхности (запись Вуд и матричная запись), двумерная обратная решетка.

## **Тема 2. Методы анализа поверхности кристаллов (4 часа).**

Дифракция медленных электронов (ДМЭ), построение Эвальда для ДМЭ, аппаратура ДМЭ, интерпретация картины ДМЭ, электронная спектроскопия (ЭОС), физические принципы и аппаратура ЭОС, основы оже-анализа, Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), физические принципы и аппаратура СТМ, основные режимы работы СТМ.

## **Тема 3. Атомная структура чистых поверхностей полупроводников (4 часа)**

Релаксация и реконструкция, типы реконструкций, структура поверхности элементарных полупроводников: Si(100), Ge(100), Si(111), Ge(111), способы получения атомарно-чистых поверхностей полупроводников.

## **4. Структура поверхностей с адсорбатами (4 часа).**

Физосорбция и хемосорбция, поверхностные фазы, состав поверхностных фаз, покрытие адсорбата, покрытие атомов подложки, экспериментальные методы определения состава, фазовая диаграмма, типы фазовых переходов, типичные примеры поверхностных фаз адсорбатов на кремнии.

## **5. Структурные дефекты поверхности (3 часа).**

Общее рассмотрение, точечные дефекты, ступени, сингулярные и вицинальные поверхности, фасетки, адатомы, вакансии, дефекты замещения, дислокации, доменные границы.

## **6. Элементарные процессы на поверхности (3 часа).**

Адсорбция, кинетика адсорбции, зависимость от покрытия, температуры, угла падения и кинетической энергии атомов адсорбата, термическая десорбция, кинетика десорбции, десорбционная спектроскопия, нетермическая десорбция, поверхностная диффузия, основные уравнения, атомные механизмы поверхностной диффузии (прыжковый механизм, механизм атомного обмена, механизм туннелирования, вакансионный механизм), поверхностная диффузия кластеров, поверхностная диффузия и формирование фаз, экспериментальные методы изучения поверхностной диффузии.

## **7. Механизмы роста тонких пленок (3 часа).**

Основные механизмы роста тонких пленок, механизм Франка – ван дер Мерве, механизм Вольмера – Вебера, механизм Странского – Крастанова, зарождение и рост островков, кинетические эффекты в гомоэпитаксии,

эффекты механических напряжений в гетероэпитаксии, сверхвысоковакуумные методы роста тонких пленок, молекулярно-лучевая эпитаксия, твердофазная эпитаксия, химическая лучевая эпитаксия, рост пленок в присутствии сурфактантов.

### **8. Атомные манипуляции и рост наноструктур (3 часа).**

Объекты нанометрового масштаба и пониженной размерности, атомные манипуляции с помощью СТМ (перемещение атомов вдоль поверхности, удаление атомов, осаждение атомов), формирование наноструктур с использованием механизмов самоорганизации, фуллерены, углеродные нанотрубки, графен.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Рабочей программой учебной дисциплины «Процессы на поверхности раздела фаз» предусмотрены 32 часа практических занятий в форме семинаров по следующим темам.

### **Практические занятия (32 час.)**

1. Определение кристаллической решетки поверхности из данных дифракции медленных электронов.
2. Построение Эвальда для рассеяния электронов низких энергий на поверхности с реконструкцией.
3. Определение химического состава поверхности из данных электронной оже-спектроскопии.
4. Анализ СТМ-изображений с целью определения состава поверхностных фаз, в том числе концентрации атомов подложки, встроенных в поверхностную фазу.

### **Самостоятельная работа**

Тематика самостоятельной работы студента:

Ознакомление с популярной литературой по современным направлениям и новым тенденциям развития физики наноструктур и наноматериалов, методам исследований.

Подготовка краткого отчета по исследованиям низкоразмерных материалов с перспективными свойствами, такими, например, как гигантское спиновое

расщепление зон поверхностных состояний, необычная спиновая текстура, сверхпроводимость, нетривиальная топология зон электронных и состояний.

### III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-3 недели семестра	Ознакомление с дополнительной литературой по структуре и свойствам поверхностных реконструкций металл/кремний	9 час.	УО-1 (собеседовани е/устный опрос)
2	4-6 недели семестра	Ознакомление с дополнительной литературой по многослойным гетероструктурам	9 час.	УО-1 (собеседовани е/устный опрос)
3	7-9 недели семестра	Ознакомление с дополнительной литературой по метадам манипуляций атомами и молекулами на поверхности кристаллов	9 час.	УО-1 (собеседовани е/устный опрос)
4	10-12 недели семестра	Подготовка отчета по практической работе	8 час.	УО-3 (презентация/ сообщение)
5	13-15 недели семестра	Ознакомление с популярной литературой по транспортным свойствам моноатомных пленок при низких температурах, включая, сверхпроводимость и эффект слабой антилокализации	9 час.	УО-1 (собеседовани е/устный опрос)
9	16-18 неделя семестра	Подготовка к экзамену	36 час	экзамен
Итого			80 час.	

#### Рекомендации по самостоятельной работе студентов

### *Планирование и организация времени, отведенного на выполнение заданий самостоятельной работы.*

Изучив график выполнения самостоятельных работ, следует правильно её организовать. Рекомендуется изучить структуру каждого задания, обратить внимание на график выполнения работ, отчетность по каждому заданию предоставляется в последнюю неделю согласно графику. Обратите внимание, что итоги самостоятельной работы влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины.

#### *Работа с литературой.*

При выполнении ряда заданий требуется работать с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

В процессе выполнения самостоятельной работы, в том числе при написании эссе рекомендуется работать со следующими видами изданий:

а) Научные издания, предназначенные для научной работы и содержащие теоретические, экспериментальные сведения об исследованиях. Они могут публиковаться в форме: монографий, научных статей в журналах или в научных сборниках;

б) Учебная литература подразделяется на:

- учебные издания (учебники, учебные пособия, тексты лекций), в которых содержится наиболее полное системное изложение дисциплины или какого-то ее раздела;

- справочники, словари и энциклопедии – издания, содержащие краткие сведения научного или прикладного характера, не предназначенные для сплошного чтения. Их цель – возможность быстрого получения самых общих представлений о предмете.

Существуют два метода работы над источниками:

– сплошное чтение обязательно при изучении учебника, глав монографии или статьи, то есть того, что имеет учебное значение. Как правило, здесь требуется повторное чтение, для того чтобы понять написанное. Старайтесь при сплошном чтении не пропускать комментарии, сноски, справочные материалы, так как они предназначены для пояснений и помощи. Анализируйте рисунки (карты, диаграммы, графики), старайтесь понять, какие тенденции и закономерности они отражают;

– метод выборочного чтения дополняет сплошное чтение; он применяется для поисков дополнительных, уточняющих необходимых сведений в словарях,

энциклопедиях, иных справочных изданиях. Этот метод крайне важен для повторения изученного и его закрепления, особенно при подготовке к зачету.

Для того чтобы каждый метод принес наибольший эффект, необходимо фиксировать все важные моменты, связанные с интересующей Вас темой.

Тезисы – это основные положения научного труда, статьи или другого произведения, а возможно, и устного выступления; они несут в себе большой объем информации, нежели план. Простые тезисы лаконичны по форме; сложные – помимо главной авторской мысли содержат краткое ее обоснование и доказательства, придающие тезисам более весомый и убедительный характер. Тезисы прочитанного позволяют глубже раскрыть его содержание; обучаясь излагать суть прочитанного в тезисной форме, вы сумеете выделять из множества мыслей авторов самые главные и ценные и делать обобщения.

Конспект – это способ самостоятельно изложить содержание книги или статьи в логической последовательности. Конспектируя какой-либо источник, надо стремиться к тому, чтобы немногими словами сказать о многом. В тексте конспекта желательно поместить не только выводы или положения, но и их аргументированные доказательства (факты, цифры, цитаты).

Писать конспект можно и по мере изучения произведения, например, если прорабатывается монография или несколько журнальных статей.

Составляя тезисы или конспект, всегда делайте ссылки на страницы, с которых вы взяли конспектируемое положение или факт, – это поможет вам сократить время на поиск нужного места в книге, если возникает потребность глубже разобраться с излагаемым вопросом или что-то уточнить при написании письменных работ.

### **Методические рекомендации для подготовки презентаций**

Выбор темы презентации студент осуществляет самостоятельно.

Общие требования к презентации:

- презентация не должна быть меньше 10 слайдов;
- первый лист – это титульный лист, на котором обязательно должны быть представлены: название доклада; фамилия, имя, отчество автора;
- следующим слайдом должно быть содержание, где представлены основные этапы (моменты) презентации; желательно, чтобы из содержания по гиперссылке можно перейти на необходимую страницу и вернуться вновь на содержание;
- дизайн-эргономические требования: сочетаемость цветов, ограниченное количество объектов на слайде, цвет текста;
- последними слайдами презентации должны быть глоссарий и список литературы.

## Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Оценка	50-60 баллов (неуд.)	61-75 баллов (удовл.)	76-85 баллов (хорошо)	86-100 баллов (отлично)
<b>Критерии</b>	<b>Содержание критериев</b>			
<b>Представление</b>	Проблема не раскрыта	Проблема раскрыта не полностью	Проблема раскрыта, но не все выводы обоснованы	Проблема раскрыта, проведен анализ, все выводы обоснованы
<b>Оформление</b>	Больше 4 ошибок	3- 4 ошибки	Не более 2 ошибок	Ошибки отсутствуют
<b>Ответы на дополнительные вопросы</b>	Нет ответов на вопросы	Только ответы на элементарные вопросы	Ответы на вопросы полные и/или частично полные	Ответы на вопросы полные с приведением пояснений

### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел I. Кристаллическая структура поверхности	ПК -3.1 Осуществляет оценку соответствия наноматериалов и наноструктур требованиям технологических инструкций, технической и нормативной документации по проведению измерений их параметров	Знает: принципы получения наноматериалов и наноструктур, методы измерения их параметров	УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-6 лабораторная работа	вопросы к экзамену 1-20
			Умеет: осуществлять оценочные расчеты характеристик наноматериалов и наноструктур	УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-6 лабораторная работа	
			Владеет: навыками оценки соответствия наноматериалов и наноструктур требованиям технологических инструкций, технической и нормативной документации по проведению измерений их параметров	ПР-12 контрольно-расчетная работа	
2	Раздел 2. Процессы на поверхности твердых тел	ПК -3.1 Осуществляет оценку соответствия наноматериалов и наноструктур требованиям технологических инструкций, технической и	Знает: принципы получения наноматериалов и наноструктур, методы измерения их параметров	УО-1 собеседование / устный опрос	вопросы к экзамену 21-27
			Умеет: осуществлять оценочные расчеты характеристик наноматериалов и наноструктур	УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-6 лабораторная работа	

		нормативной документации по проведению измерений их параметров	Владеет: навыками оценки соответствия наноматериалов и наноструктур требованиям технологических инструкций, технической и нормативной документации по проведению измерений их параметров	ПР-6 лабораторная работа;	
--	--	--	--	---------------------------	--

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также качественные критерии оценивания, которые описывают уровень сформированности компетенций, представлены в разделе VIII.

## V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

1. Введение в физику поверхности / К. Оура, В. Г. Лифшиц, А. А. Саранин [и др.]; [отв. ред. В. И. Сергиенко] ; Российская академия наук, Дальневосточное отделение, Институт автоматизации и процессов управления. Москва : Наука , 2006. 490 с. В 24 538.9 ЕК NB DVFU: Режим доступа: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:248486&theme=FEFU>
2. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологий: учебное пособие – Изд. "Бином. Лаборатория знаний", 2012. - 431 стр. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=8688](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=8688)
3. В.Л. Ткалич, А.В. Макеева, Е.Е. Оборина «Физические основы наноэлектроники: Учебное пособие» - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. - 83 с. Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/415/73415>
4. Барыбин А.А. Физико-технологические основы макро-, микро- и наноэлектроники: учебное пособие для вузов / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, В. И. Шаповалов ; под общ. ред. А. А. Барыбина. - Москва : Физмат-лит, 2011. - 783 с Режим доступа: <https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:675441&theme=FEFU>
5. Нелинейная оптика кремния и кремниевых наноструктур / О. А. Акципетров, И. М. Баранова, К. Н. Евтюхов. Москва : Физматлит , 2012. 543 с.

А 447 538.9 ЕК NB DVFU: Режим доступа:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:704478&theme=FEFU>

### Дополнительная литература

1. Витязь П.А. Основы нанотехнологий и наноматериалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / П.А. Витязь, Н.А. Свидунович. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2010. — 302 с. — 978-985-06-1783-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20108.html>

2. Малышев К.В. Наноматериалы для радиоэлектронных средств. Подготовка сканирующего туннельного микроскопа к диагностике и модификации наноматериалов [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам по курсу «Наноматериалы для радиоэлектронных средств» / К.В. Малышев, Е.А. Скороходов, В.М. Башков. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2007. — 44 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31463.html>

3. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия твердых тел : теория и практика : учебное пособие / И. С. Осьмушко, В. И. Вовна, В. В. Короченцев ; Дальневосточный федеральный университет. Владивосток : 2010. 42 с. О-798 539.1(075.8) ДВФУ ЕК NB DVFU:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:301195&theme=FEFU>

4. Современные методы исследования поверхности / Д. Вудраф, Т. Делчар ; пер. с англ. Е. Ф. Шека. Москва : Мир , 1989. 568 с. В 881 535 В 881 535 ЕК NB DVFU: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:27376&theme=FEFU>

5. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / под ред. Д. Бриггса, М. П. Сиха ; пер. с англ. : [А. М. Гофман и др.]. Москва : Мир , 1987. 598 с. А 64 535 ЕК NB DVFU:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:114965&theme=FEFU>

## **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Производитель атомно-силовых микроскопов и их различных модификаций:  
<http://www.ntmdt.ru/>
2. Справочные данные по оже-электронной спектроскопии:  
<http://silicon.dvo.ru/>
3. Популярно о нанотехнологиях:  
<http://www.nanonewsnet.ru/>

## **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

1. Пакет программного обеспечения Microsoft Office (Word, Outlook, Power Point, Excel, Photoshop)
2. Программные продукты для Windows. Профессиональная ГИС «Панорама» <https://gisinfo.ru/download/download.htm>

## **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Планирование и организация времени, отведенного на изучение дисциплины.** Приступить к освоению дисциплины следует незамедлительно в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы дисциплины. Обратит внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, лабораторные занятия) планируется самостоятельная работа, итоги которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все задания (аудиторные и самостоятельные) необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с графиком.

В процессе изучения материалов учебного курса предлагаются следующие формы работ: чтение лекций, лабораторные занятия, задания для самостоятельной работы.

*Лекционные занятия* ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

*Лабораторные занятия* акцентированы на наиболее принципиальных и проблемных вопросах курса и призваны стимулировать выработку практических умений.

Особо значимой для профессиональной подготовки студентов является *самостоятельная работа* по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. Студентам необходимо ознакомиться с основными источниками, без которых невозможно полноценное понимание проблематики курса.

Освоение курса способствует развитию навыков обоснованных и самостоятельных оценок фактов и концепций. Поэтому во всех формах контроля знаний, особенно при сдаче зачета, внимание обращается на понимание проблематики курса, на умение практически применять знания и делать выводы.

**Работа с литературой.** Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ и электронные библиотеки (<http://www.dvfu.ru/library/>), а также доступные для использования другие научно-библиотечные системы.

**Подготовка к экзамену.** К сдаче экзамена допускаются обучающиеся, выполнившие все задания (лабораторные, самостоятельные), предусмотренные учебной программой дисциплины, посетившие не менее 85% аудиторных занятий.

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

### **Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины**

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
690041, Приморский край, г. Владивосток, Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа	Мультимедийный проектор, экран Количество посадочных рабочих мест для студентов -	ПЕРЕЧЕНЬ ПО

(г. Владивосток, ул. Радио 5, ИАПУ ДВО РАН, 325)	15	
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб. А1017. Аудитория для самостоятельной работы	Оборудование: Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.)	ПЕРЕЧЕНЬ ПО

Для проведения исследований, связанных с выполнением практических заданий по дисциплине доступно лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

## **VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

Для дисциплины «Процессы на поверхности раздела фаз» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

1. Собеседование (УО-1)
2. Презентация / сообщение (УО-3)

Письменные работы:

1. Лабораторная работа (ПР-6)

### **Устный опрос**

Устный опрос позволяет оценить знания и кругозор студента, умение логически построить ответ, владение монологической речью и иные коммуникативные навыки.

Обучающая функция состоит в выявлении деталей, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий и

при подготовке к зачёту.

Собеседование (УО-1) – средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

Презентация / сообщение (УО-3) – продукт самостоятельной работы обучающегося, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы.

### **Письменные работы**

Письменный ответ приучает к точности, лаконичности, связности изложения мысли. Письменная проверка используется во всех видах контроля и осуществляется как в аудиторной, так и во внеаудиторной работе.

Лабораторная работа (ПР-6) – средство для закрепления и практического освоения материала по определенному разделу.

## **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Методы исследования наноструктур и наноматериалов» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчётности по дисциплине – экзамен (6-й, осенний семестр). Экзамен по дисциплине включает ответы на 2 вопроса.

### **Методические указания по сдаче экзамена**

Экзамен принимается ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности потока по распоряжению заведующего кафедрой (заместителя директора по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей. В первую очередь привлекаются преподаватели, которые проводили лабораторные занятия по дисциплине в группах.

В исключительных случаях, по согласованию с заместителем директора Школы по учебной и воспитательной работе, заведующий кафедрой имеет право принять зачет в отсутствие ведущего преподавателя.

Форма проведения экзамена (устная, письменная и др.) утверждается на заседании кафедры по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Во время проведения экзамена студенты могут пользоваться рабочей программой дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего экзамен, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Время, предоставляемое студенту на подготовку к ответу на экзамене, должно составлять не более 20 минут. По истечении данного времени студент должен быть готов к ответу.

Присутствие на экзамене посторонних лиц (кроме лиц, осуществляющих проверку) без разрешения соответствующих лиц (ректора либо проректора по учебной и воспитательной работе, директора Школы, руководителя ОПОП или заведующего кафедрой), не допускается. Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, не имеющие возможности самостоятельного передвижения, допускаются к экзамену с сопровождающими.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «отлично» «хорошо» «удовлетворительно» «не удовлетворительно».

При неявке студента на зачет в ведомости делается запись «не явился».

### **Вопросы к экзамену**

1. Кристаллическая решетка, базис, структура, элементарная и примитивные ячейки, ячейка Вигнера-Зейтца.
2. Двумерные решетки Браве.
3. Индексы Миллера плоскостей кристаллов: определение, примеры низкоиндексных и высокоиндексных плоскостей.
4. Запись для описания структуры поверхности: матричная запись и запись Вуд.
5. Двумерная обратная решетка.
6. Дифракция медленных электронов: физические принципы и аппаратура.
7. Построение Эвальда для дифракции медленных электронов.
8. Интерпретация картин дифракции медленных электронов.

9. Электронная спектроскопия для анализа химического состава поверхности.
10. Сканирующая туннельная микроскопия.
11. Атомно-силовая микроскопия.
12. Атомная структура чистых поверхностей: релаксация и реконструкция.
13. Структура атомарно-чистой поверхности Si(111).
14. Структура атомарно-чистых поверхностей Si(100) и Ge(100).
15. Поверхности с адсорбатами: физосорбция и хемосорбция.
16. Поверхностные фазы в субмонослойных системах адсорбат/подложка.
17. Состав поверхностных фаз: покрытие адсорбата, покрытие атомов подложки, экспериментальные методы определения состава.
18. Фазовые диаграммы.
19. Типы фазовых переходов в субмонослойных системах адсорбатов.
20. Структурные дефекты поверхности: типы дефектов, реальные примеры (адатомы, вакансии, дефекты замещения, дислокации, доменные границы, ступени).
21. Процессы адсорбции и десорбции на поверхности.
22. Поверхностная диффузия: основные атомные механизмы, экспериментальные методы изучения диффузии.
23. Основные механизмы роста тонких пленок.
24. Кинетические эффекты в гомоэпитаксии.
25. Методы роста тонких пленок в вакууме.
26. Атомные манипуляции на поверхности с помощью сканирующего туннельного микроскопа.
27. Рост наноструктур на поверхности с использованием механизмов самоорганизации.

### **Критерии выставления оценки студенту на экзамене**

К экзамену допускаются обучающиеся, выполнившие программу обучения по дисциплине, прошедшие все этапы текущей аттестации.

Баллы (рейтингов ой оценки)	Оценка экзамена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86 -100	«отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
76 - 85	«хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
61 -75	«удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
0 -60	«не удовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного «не материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### Оценочные средства для текущей аттестации

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме контрольных мероприятий (собеседования, презентации, лабораторных работ) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

– учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);

– степень усвоения теоретических знаний;

– уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;

– результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, активности обучающихся на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

### **Вопросы для собеседования / устного опроса**

1. Дать определение решетки, базиса и кристаллической структуры.
2. Перечислить двумерные решетки Браве.
3. Как определяются индексы Миллера плоскости кристалла?
4. Показать на кубическом кристалле плоскости с индексами (100), (110), (112).
5. Являются ли эквивалентными плоскости (133)б (33-1) и (113) простого кубического кристалла?
6. Каков тип двумерной решетки Браве у плоскости (111) гранецентрированного кубического кристалла? Какой период имеет эта решетка?
7. Какие виды записи используют для для высокоиндексных ступенчатых поверхностей?
8. Какие виды записи существуют для описания суперрешетки поверхности?
9. Дать определение матричной записи.
10. Что такое ячейка Вигнер-Зейтца?
11. Как определяются вектора трансляций обратной решетки?
12. Какой тип обратных решеток у двумерных решеток Браве?
13. Как в матричном виде можно описать квадратную суперрешетку  $c(2 \times 2)$ ?

14. Каковы свойства векторов трансляций обратной решетки?
15. Почему дифракция медленных электронов (ДМЭ) является методом анализа структуры поверхности?
16. Какова энергия электронов, используемых в ДМЭ?
17. Что представляет собой аппаратура ДМЭ?
18. Как выполняется построение Эвальда для ДМЭ?
19. Каков радиус сферы Эвальда?
20. Как изменится картина на экране ДМЭ при изменении (например, увеличении) энергии электронов?
21. Какая информация о структуре поверхности может быть извлечена из анализа картины ДМЭ?
22. О чем свидетельствует уширение рефлексов картины ДМЭ?
23. Каковы принципы, лежащие в основе метода электронной оже-спектроскопии (ЭОС)?
24. На чем основан элементный анализ с помощью метода ЭОС?
25. Какое экспериментальное оборудование используется в ЭОС?
26. На каком принципе базируется метод сканирующей туннельной микроскопии (СТМ)?
27. Каково пространственное разрешение СТМ?
28. Какие режимы работы СТМ Вы знаете?
29. Что такое сканирующая туннельная спектроскопия?
30. В чем различие релаксации и реконструкции поверхности?
31. Что такое консервативная и неконсервативная реконструкции?
32. Какие реконструкции может иметь атомарно-чистая поверхность  $\text{Si}(111)$ ? Какие из них стабильные, а какие метастабильные?
33. Каковы основные элементы DAS-структуры поверхности  $\text{Si}(111)7 \times 7$ ?
34. Сколько адатомов, димеров, рест-атомов и ненасыщенных связей содержит поверхность  $\text{Si}(111)7 \times 7$ ?
35. Сколько адатомов, димеров, рест-атомов и ненасыщенных связей содержит поверхности  $\text{Si}(111)5 \times 5$  и  $\text{Si}(111)9 \times 9$ ?

36. Как устроены поверхности Si(100)<sub>2x1</sub> и Si(100)<sub>c(4x2)</sub>?
37. Что такое физосорбция и хемосорбция?
38. Какими величинами характеризуется состав поверхностных фаз?
39. Что такое покрытие и как определяется один монослой?
40. Как экспериментально можно определить покрытие атомов адсорбата в поверхностной фазе?
41. Как строится фазовая диаграмма?
42. Какие типы фазовых переходов Вы знаете?
43. Приведите примеры точечных и линейных дефектов на поверхности?
44. Что такое коэффициент прилипания и от чего он зависит?
45. Что можно узнать с помощью десорбционной спектроскопии?
46. Какие механизмы атомной диффузии на поверхности Вы знаете?
47. Каковы три основных механизма роста тонких пленок?
48. Как сурфактанты влияют на рост тонких пленок?
49. Какие виды атомных манипуляций на поверхности могут быть произведены с помощью СТМ?
50. Приведите примеры формирования наноструктур на поверхности с использованием механизмов самоорганизации.

### Критерии оценивания

Оценка	Требования
«зачтено»	Студент показал развернутый ответ на вопрос, знание литературы, обнаружил понимание материала, обоснованность суждений, неточности в ответе исправляет самостоятельно.
«не зачтено»	Студент обнаруживает незнание вопроса, неуверенно излагает ответ.

### Тематика презентаций

1. Подготовка отчета по практической работе – по тематике исследований низкоразмерных материалов с перспективными свойствами, такими, например, как гигантское спиновое расщепление зон поверхностных состояний, необычная спиновая текстура, сверхпроводимость, нетривиальная топология зон электронных и состояний

## Критерии оценки презентации

Оценка	2 балла (неудовлетворительно)	3 балла (удовлетворительно)	4 балла (хорошо)	5 баллов (отлично)
<b>Критерии</b>	<b>Содержание критериев</b>			
<b>Раскрытие Проблемы</b>	Проблема не раскрыта. Отсутствуют выводы	Проблема раскрыта не полностью. Выводы не сделаны и/или выводы не обоснованы	Проблема раскрыта. Проведен анализ проблемы без привлечения дополнительной литературы. Не все выводы сделаны и/или обоснованы	Проблема раскрыта полностью. Проведен анализ проблемы с привлечением дополнительной литературы. Выводы обоснованы
<b>Представление</b>	Представляемая информация логически не связана. Не использованы профессиональные термины. Отсутствует иллюстративный материал в виде блок-диаграмм, профилей	Представляемая информация не систематизирована и/или не последовательна. Использовано 1-2 профессиональных термина. Иллюстративный материал в виде блок-диаграмм, профилей заимствован	Представляемая информация не систематизирована и последовательна. Использовано более 2 профессиональных терминов. Представлен иллюстративный материал в виде блок-диаграмм, профилей	Представляемая информация систематизирована, последовательна и логически связана. Использовано более 5 профессиональных терминов. Представлен самостоятельно сделанный иллюстративный материал в виде блок-диаграмм, профилей
<b>Оформление</b>	Не использованы технологии Power Point. Больше 4 ошибок в представляемой информации	Использованы технологии Power Point частично. 3-4 ошибки в представляемой информации	Использованы технологии Power Point. Не более 2 ошибок в представляемой информации	Широко использованы технологии (Power Point и др.). Отсутствуют ошибки в представляемой информации
<b>Ответы на вопросы</b>	Нет ответов на вопросы	Только ответы на элементарные вопросы	Ответы на вопросы полные и/или частично полные	Ответы на вопросы полные, с приведением примеров и/или пояснений

## Тематика практических работ

Типовые задания к практическим и самостоятельным работам

1. Рассказать об основном физическом эффекте, лежащем в основе

работы прибора или исследовательского метода.

2. Показать область применимости данного метода исследования и основные свойства вещества, анализируемые данным методом.
3. Выбрать входные и выходные параметры, диапазоны принимаемых значений и определить основные возможности измерений прибора.
4. Построить схему аппаратной функции прибора или принципиальную блок-схему.
5. Определить методы контроля точности прибора и диапазон измеряемых величин.

### Критерии оценки практических работ

Оценка	Требования
<b>«зачтено»</b>	Студент выполняет практическую работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения измерений, правильно самостоятельно определяет цель работы; самостоятельно, рационально выбирает необходимое оборудование для получения наиболее точных результатов проводимой работы. Грамотно и логично описывает ход работы, правильно формулирует выводы, точно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления и т.п., умеет обобщать фактический материал. Допускается два/три недочёта или одна негрубая ошибка и один недочёт. Работа соответствует требованиям и выполнена в срок.
<b>«не зачтено»</b>	Студент выполнил работу не полностью, объем выполненной части не позволяет сделать правильные выводы; не определяет самостоятельно цель работы; в ходе работы допускает одну и более грубые ошибки, которые не может исправить, или неверно производит наблюдения, измерения, вычисления и т.п.; не умеет обобщать фактический материал. Практическая работа не выполнена.