



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)

Г. С. Крайнова

(Ф.И.О.)

« 15 » декабря 2021 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

И. о. директора Департамента общей и  
экспериментальной физики

(подпись)

В. В. Короченцев

(Ф.И.О.)

« 15 » декабря 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Кинетические явления в наноструктурах

**Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

(Электроника и нанoeлектроника)

**Форма подготовки очная**

курс 4 семестр 7

лекции 30 час.

практические занятия 30 час.

лабораторные работы не предусмотрены

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

всего часов аудиторной нагрузки 60 час.

в том числе с использованием МАО 90 час.

самостоятельная работа 12 час.

в том числе на подготовку к экзамену - час.

контрольные работы (количество) не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет 7 семестр

экзамен не предусмотрен

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 сентября 2017 г. № 927 (с изменениями и дополнениями).

Рабочая программа обсуждена на заседании  
департамента общей и экспериментальной физики  
протокол № 3 от « 29 » ноября 2021 г.

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

Составитель (ли): д.ф.-м.н. Горошко Д.Л.

**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: знакомство с физическими процессами, лежащими в основе кинетических явлений в объемных и наноструктурированных материалах.

Задачи:

1. познакомить с механизмами переноса электрического заряда и тепла в полупроводниках и полуметаллах;
2. изучить гальваномагнитные и термомагнитные эффекты в полупроводниках;
3. дать представление о физических причинах отличия кинетических эффектов в объемных и наноразмерных структурах.

Для успешного изучения дисциплины «Кинетические явления в наноструктурах» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- ОПК-1.1 формулирует фундаментальные законы природы и основные физические математические законы
- ОПК-1.2 применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

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
научно-исследовательский	ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.2 Работает с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
научно-исследовательский	ПК-2 Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	ПК-2.1 Выбирает методики проведения исследований параметров и характеристик устройств и установок электроники и нанoeлектроники

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-1.2 Работает с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике	Знает контрольно-измерительное оборудование, используемое в нанoeлектронике
	Умеет работать с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике
	Владеет способностью контролировать и измерять характеристики и параметры нанoeлектронных систем и приборов
ПК-2.1 Выбирает методики проведения исследований параметров и характеристик устройств и установок электроники и нанoeлектроники	Знает методики проведения исследований параметров и характеристик устройств и установок электроники и нанoeлектроники
	Умеет проводить исследования параметров и характеристик устройств и установок электроники и нанoeлектроники
	Владеет способностью проведения исследований параметров и характеристик устройств и установок электроники и нанoeлектроники

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

Общая трудоёмкость 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
ОК	Онлайн курс
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. Строение вещества: от атомов и молекул до материалов и наночастиц	7	-	-	-	72	-	-	ПР-1
2	Раздел 2. Кинетические явления в наноструктурах	7	30	-	30	-	12	-	УО-1; ПР-4
	Итого:		30	-	30	72	12	-	

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Лекционные занятия (30 час.)

#### Тема 1. Формирование наноструктур на поверхности кремния (4 час.)

Создание высокоплотных массивов наноразмерных островков полупроводниковых силицидов переходных металлов на монокристаллическом кремнии. Влияние ориентации подложки и предварительно сформированных поверхностных реконструкций на формирование высокоплотных массивов наноразмерных островков полупроводниковых силицидов переходных металлов.

#### Тема 2. Объемные наноструктуры (4 час.)

Формирование заращенных кремнием массивов островков полупроводниковых силицидов железа и хрома, сформированных на

поверхности монокристаллического кремния. Создание многопериодных нанокomпозитов со встроенными нанокристаллитами полупроводниковых силицидов в кремниевой матрице. Ионная имплантация и постимплантационная обработка для формирования наноструктур со встроенными кристаллитами полупроводниковых силицидов.

### **Тема 3. Оптическая спектроскопия для характеристики наноструктур (4 час.)**

Определение параметров фундаментальных межзонных переходов нанокomпозитов с нанокристаллитами одного и двух полупроводниковых силицидов. Метод оптической спектроскопии.

### **Тема 4. Определение кинетических параметров наноструктурированных систем (3 час.)**

Механизмы переноса носителей заряда при низких и высоких температурах в нанокomпозитах со встроенными нанокристаллитами полупроводниковых силицидов. Термоэлектрические свойства нанокomпозитных материалов. Селективное легирование термоэлектриков.

### **Тема 5. Излучательные и фотоспектральные свойства наноструктур (3 час.)**

Люминесцентные свойства светодиодов на основе кремния со встроенными нанокристаллитами полупроводникового дисилицида железа. Фото спектральные свойства диодов на основе полупроводниковых нанокomпозитов. Расширение спектрального диапазона чувствительности кремниевых детекторов.

### **Тема 6. Наноразмерные металлические частицы: получение, свойства (3 час.)**

Металлические наночастицы: оптические свойства, обусловленные возбуждением плазмонов. Гранулированные металлические пленки: время дефазировки плазмона.

### **Тема 7. Электронный газ пониженной размерности (3 час.)**

Энергетический спектр электронного газа пониженной размерности. Оптическое поглощение электронного газа пониженной размерности. Влияние упругих напряжений кристаллической решетки на энергетический спектр электронного газа.

### **Тема 8. Фотовольтаические эффекты и фотопроводимость в квантоворазмерных гетероструктурах (3 час.)**

Спектроскопия фотоэдс и фототока на барьерах квантоворазмерных гетероструктур с металлом.

### **Тема 9. Колебательные зонные состояния в сверхрешетках (3 час.)**

Фононы в объемных и ограниченных структурах. Рамановское рассеяние на сложных акустических фононах. Фононы в нанокристаллах. Расчеты колебательных спектров нанокристаллов. Размерно-ограниченные кристаллические среды. Квантованные конфайментные оптические и акустические моды.

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

### **Онлайн курс (72 час.)**

#### **Модуль 1.**

Модели и модельные представления в химии. Развитие представлений о строении вещества от античности до начала 20 века. Химический элемент. Атомно-молекулярная теория. Эквивалент. Основные законы АМТ.

#### **Модуль 2.**

Строение атома. Опыты Крукса. Открытие электрона. Фотоэффект. Рентгеновское излучение. Радиоактивность. Изотопы. Закон Мозли. Опыты Резерфорда. Теория Бора. Квантовые числа.

#### **Модуль 3.**

Корпускулярно-волновой дуализм. Гипотеза Де-Бройля. Квантово-механическое описание атома. Радиальная и угловая часть волновой функции. Атомные орбитали. Основные характеристики атома.

#### **Модуль 4.**

Типы химической связи. Ионная связь. Энергия кристаллической решетки.

Ковалентная связь. Метод молекулярных орбиталей для частицы  $H_2^+$ .

#### **Модуль 5.**

Метод валентных связей для молекулы водорода. Двухатомные гомо- и гетероядерные молекулы элементов второго периода (методы МО и ВС). Геометрия молекул. Теория ОЭПВО.

#### **Модуль 6.**

Гибридизация АО. Многоатомные молекулы в методе МО и ВС. Донорно-акцепторная связь. Электрондефицитные и электронизбыточные молекулы. Теория гипервалентных связей.

#### **Модуль 7.**

Комплексные соединения. Соединения со связью металл-металл. Кластеры. Металлическая связь. Зонная теория. Металлы, металлоиды, полупроводники, диэлектрики. Интерметаллиды. Свойства и применение металлов и сплавов.

#### **Модуль 8.**

Межмолекулярное взаимодействие. Ориентационное, индукционное, дисперсионное взаимодействие. Водородная связь. Диводородная связь. Структура жидкостей. Особые свойства воды. Металлофильные взаимодействия. Галогенная и пниктогенная связь. Агрегатные состояния вещества. Твердое тело, жидкость, газ, плазма. Плазмотрон.

#### **Модуль 9.**

Типы кристаллических решеток. Инженерия кристаллов. Стекла и ситаллы. Ионные жидкости и их применение.

#### **Модуль 10.**

Нестехиометрические соединения. Магнитные свойства твердых тел.

#### **Модуль 11.**

Инженерия материалов. Композитные материалы. Металл-органические каркасные соединения. Подходы цифровой экономики в области химических наук.

#### **Модуль 12.**

Наноструктуры и наноматериалы.

### **Практические занятия (30 час.)**

**Практическое занятие №1. Определение кинетических параметров наноструктурированных систем (7 час.)**



1. Критерии сильного и слабого магнитного поля в отношении носителей зарядов в полупроводнике.
2. Влияние механизмов рассеяния на температурный характер движения электронов.
3. Особенности эффекта Холла в неоднородных средах.

### **Практическое занятие №2. Анализ спектральных зависимостей фото-ЭДС и фототока в гетероструктурах (8 час.)**

1. Как влияет скорость поверхностной рекомбинации носителей заряда на фотоэдс?
2. Какова связь между шириной запрещенной зоны и краем поглощения в гетероструктуре?
3. В чем отличие внешней и внутренней квантовой эффективности?
4. Теоретический предел КПД солнечного элемента.

### **Практическое занятие №3. Анализ спектров люминесценции наногетероструктур (8 час.)**

1. Что такое рекомбинационное излучение?
2. Чем обусловлено различие в спектрах фото и электролюминесценции?
3. Отличие люминесценции наногетероструктур и объемных полупроводников.

### **Практическое занятие №4. Эффект Зеебека в структурно однородных и неоднородных полупроводниках (7 час.)**

1. Что характеризует параметр  $ZT$  в термоэлектриках?
2. Как связан коэффициент термоэдс с электропроводностью в классических и наноструктурированных термоэлектриках?

### **Задания для самостоятельной работы**

## **Самостоятельная работа №1. Формирование наноструктур на поверхности кремния.**

*Требования:*

1. Что такое эпитаксиальная структура?
2. Как избежать образование дефектов интерфейса при гетероэпитаксии?
3. В чем состоит особенность взаимодействия железа и кремния при молекулярно-лучевой эпитаксии?
4. Движущая сила процесса самоформирования массива высокоплотных островков на кремнии.
5. Как влияет ориентация поверхности подложки на процесс самоорганизации?
6. Зачем нужны поверхностные реконструкции при гетероэпитаксии?

## **Самостоятельная работа №2. Оптическая спектроскопия для характеристики наноструктур**

*Требования:*

1. Характерные особенности спектров отражения и пропускания кремниевой подложки.
2. Явление интерференции в слоистых гетероструктурах.
3. Определение энергии непрямого межзонного перехода на тонких образцах.
4. Что такое собственное поглощение?
5. В чем состоит правило отбора для электронных переходов?
6. Роль фонона при непрямых переходах.

## **Самостоятельная работа №3. Наноразмерные металлические частицы: получение, свойства**

*Требования.*

1. Плазменные возбуждения в твердых телах и одноэлектронное возбуждение.

2. Зависимость частоты плазмонов от формы и размера частиц.
3. Температурная зависимость спектров экстинкции массивов металлических наночастиц.
4. Спектр экстинкции плазмонов, локализованных в металлических частицах, его ширина.
5. Методики анализа спектра экстинкции.

#### **Самостоятельная работа №4. Электронный газ пониженной размерности**

*Требования.*

1. Природа возникновения электронного газа пониженной размерности.
2. Типы локализации электронов в квантовых ямах.
3. Чем определяется фотоэлектрический спектр квантово-размерных образований?
4. Существуют ли ограничения по размеру квантовой ямы, при которых квантовая точка проявляет свои свойства?
5. При каких условиях может наблюдаться размерный эффект в наноструктурах:

#### **Самостоятельная работа №5. Фотовольтаические эффекты и фотопроводимость в квантоворазмерных гетероструктурах**

*Требования.*

1. Какие факторы надо учесть при оценке спектра реальной гетероструктуры с квантовой ямой?
2. Модели для описания квантовых ям и квантовых точек.
3. Как зависит коэффициент поглощения квантовой ямы от энергии?
4. Чем ограничивается эмиссия электронно-дырочных пар из квантовой ямы?
5. Как толщина покровного слоя гетероструктуры влияет на энергетический спектр квантовых точек?

6. Как фотоэлектрическая спектроскопия применяется для исследования дефектообразования в полупроводниках?

### III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ И ОНЛАЙН КУРСА

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	В течение семестра	Подготовка к практическим занятиям, изучение литературы	4 час.	УО-1 (собеседование/устный опрос)
2	1-12 неделя семестра	онлайн курс	72 час.	ПР-1 (онлайн тест)
3	13 неделя семестра	Выполнение самостоятельной работы № 2	1 час.	УО-1 (собеседование/устный опрос)
4	14 неделя семестра	Выполнение самостоятельной работы № 3	2 час.	УО-1 (собеседование/устный опрос) ПР-4 (реферат)
5	15 неделя семестра	Выполнение самостоятельной работы № 4	1 час.	УО-1 (собеседование/устный опрос)
6	16 неделя семестра	Выполнение самостоятельной работы № 5	2 час.	УО-1 (собеседование/устный опрос) ПР-4 (реферат)
7	18 неделя семестра	Подготовка к зачету	2 час.	зачет
Итого:			84 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 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 больший 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.

#### 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. Строение вещества: от атомов и молекул до материалов и наночастиц	ПК-1.2 Работает с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике	Знает контрольно-измерительное оборудование, используемое в нанoeлектронике	ПР-1 (онлайн тест)	вопросы онлайн теста
			Умеет работать с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике	ПР-1 (онлайн тест)	
			Владеет способностью контролировать и измерять характеристики и параметры нанoeлектронных систем и приборов	ПР-1 (онлайн тест)	
2	Раздел 2. Кинетические явления в наноструктурах	ПК-2.1 Выбирает методики проведения исследований параметров и характеристик устройств и установок электроники и нанoeлектроники	Знает методики проведения исследований параметров и характеристик устройств и установок электроники и нанoeлектроники	УО-1 собеседование / устный опрос	вопросы к зачету 1-20
			Умеет проводить исследования параметров и характеристик устройств и установок электроники и нанoeлектроники	УО-1 собеседование / устный опрос	
			Владеет способностью проведения исследований параметров и характеристик устройств и установок электроники и нанoeлектроники	ПР-4 реферат	

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. Лозовский В.Н., Константинова Г.С., Лозовский С.В. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. Учебное пособие. Лань 2008, 336 с. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=232](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=232)
2. Суздальев И. П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. Либроком, 2013, 592 стр. Режим доступа: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:242083&theme=FEFU>
3. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии: Учебное пособие / Под общ. редакцией Л.Н. Патрикеева. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. - 431 с. Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/622/64622>
4. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований./ (Дж. Уайтсайдс, Эйглер Д., Р. Андерс и др. Под ред. М. К. Роко, Р. С. Уильямса и П. Аливисатоса) М.: Мир, 2002, 292 стр. Режим доступа: <http://log-in.ru/books/nanotekhnologiya-v-blizhaiyshem-desyatiletii-prognoz-napravleniya-issledovaniiy-1-dzh-uaiytsaiyds-eiygler-d-r-anders-i-dr-pod-red-m-k-roko-r-s-uilyamsa-i-p-alivisatosa-nauka-i-obrazovanie/>
5. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - 2-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2007. - 414 с. Режим доступа: [http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=Lan:/usr/vtls/ChamoHome/visualizer/data\\_lan/data\\_lan+%285574%29.xml&theme=FEFU](http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=Lan:/usr/vtls/ChamoHome/visualizer/data_lan/data_lan+%285574%29.xml&theme=FEFU).

### Дополнительная литература

1. Галкин Н.Г. и др. Формирование наноразмерных островков CrSi<sub>2</sub> на Si(111)7x7 и покрывающих эпитаксиальных слоев кремния в гетероструктурах Si(111)/нанокристаллиты CrSi<sub>2</sub>/Si // Журнал технической физики 2007, т. 77, вып. 8, с.120-126.



2. Galkin N.G. et. al. Formation and transport properties of Si(111)/ $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/Si nanoclusters structures //6-th Japan-Russia Seminar on Semiconductor surfaces. Abstracts, October 10-17, 2004, Toyama University, Japan, p. L3.

3. Галкин Н.Г. и др. Формирование, кристаллическая структура и свойства кремния со встроенными нанокристаллитами дисилицида железа на подложках Si(100) // Физика и техника полупроводников, 2007, том 41, вып. 9, с.1085-1092.

4. Galkin N.G. et. al. Silicon layers atop iron silicide nanoislands on Si(100) substrate: island formation, silicon growth, morphology and structure // Thin Solid Films, V. 515 (No 20-21) (2007) 7805-7812.

5. Галкин Н.Г. и др. Влияние толщины слоя хрома на морфологию и оптические свойства гетероструктур Si(111)/нанокристаллиты CrSi<sub>2</sub>/Si(111) // Физика твердого тела, 2008, т. 50, вып. 2, с.345-353.

6. Галкин Н.Г. и др. Эпитаксиальный рост кремния на кремнии, имплантированном ионами железа, и оптические свойства полученных структур // Журнал технической физики, 2008, т. 78, вып. 2, с.84-90.

7. Goroshko D.L. et. al. Electrical Properties of Thin Iron Films Grown on Clean Si(100) and on Si(100)-c(4×12)-Al Surface Phase // e-Journal of Surface Science and Nanotechnology Vol. 7 (2009) 167-172.

8. Komnik Yu. F. The 2D conducting system formed by nanocrystallites CrSi<sub>2</sub> in the (111) plane of silicon: New object // Physica E 64 (2014) 165–168.

9. Galkin N.G. et. al. Morphological, structural and luminescence properties of Si/ $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/Si heterostructures fabricated by Fe ion implantation and Si MBE // J. Phys. D: Appl. Phys, 40 (2007) 5319–5326.

10. Шамирзаев Т.С. и др. Светодиодные 1.5-мкм электролюминесцентные излучатели на основе структур p<sup>+</sup>-Si/НК  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/n-Si // ФТП, 2015, том 49, выпуск 4 с. 519-523.

11. К. Борен, Д. Хафмен. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М. Мир. 1986.

12. Оптика наноструктур. Под ред. А.В. Федорова. Изд-во «Недра», СПб, 2005.

13. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М.: Логос, 2000.

14. Карпович И.А. и др. Фотоэлектрические свойства эпитаксиальных гетероструктур GaAs/InGaAs с квантовой ямой. ФТП 1990, 24, 2172.

15. Милехин А.Г. Спектроскопия колебательных состояний низкоразмерных многослойных структур. Институт физики полупроводников СО РАН. Новосибирск, 2006.

16. Питер Ю., Кардона М. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2002. - 560 с.

### **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/>

### **Онлайн курс**

1. "Строение вещества: от атомов и молекул до материалов и наночастиц" в объеме 2 з.е., разработчик СПбГУ <<https://openedu.ru/course/spbu/CHEM2/>>

## **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, практические 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, практические занятия, задания для самостоятельной работы, онлайн курс.

*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.

*Онлайн курс* еженедельные занятия будут включать просмотр тематических видеолекций, изучение дополнительных материалов и выполнение тестовых заданий с автоматизированной проверкой результатов, тестирование по пройденному материалу. Для получения сертификата необходимо выполнить все задания, тесты и написать финальный экзамен.

*Практические 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 зачету.** К сдаче зачета 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	Перечень лицензионного программного обеспечения.
---------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------------------

	помещений для самостоятельной работы	Реквизиты подтверждающего документа
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 502. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 30) Оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA – 1 шт. Доска аудиторная.	ПЕРЕЧЕНЬ ПО
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

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 «Кинетические явления в наноструктурах» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

1. Собеседование (УО-1)

Письменные работы:

1. Контрольная работа (ПР-2)

### 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.

### **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.

Контрольная работа (ПР-2) – средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине.

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

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

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Кинетические явления в наноструктурах» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчётности по дисциплине – зачет (7-й, осенний семестр). Зачет по дисциплине включает ответы на 2 вопроса. Один из вопросов носит общий характер. Он направлен на раскрытие студентом знаний по «сквозным» вопросам и проблемам объемных и поверхностных наноструктур. Второй вопрос касается свойств наноструктур.

### **Методические указания по сдаче зачета**

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

Во время проведения зачета студенты могут пользоваться рабочей программой дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего

зачет, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

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

Присутствие на зачете 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 зачет с сопровождающими.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «зачтено» или «не зачтено».

В зачетную книжку студента вносится только запись «зачтено», запись «не зачтено» вносится только в экзаменационную ведомость. При неявке студента на зачет в ведомости делается запись «не явился».

### **Вопросы зачету**

1. Создание высокоплотных массивов наноразмерных островков полупроводниковых силицидов переходных металлов на монокристаллическом кремнии.
2. Влияние ориентации подложки и предварительно сформированных поверхностных реконструкций на формирование высокоплотных массивов наноразмерных островков полупроводниковых силицидов переходных металлов.
3. Формирование заращенных кремнием массивов островков полупроводниковых силицидов железа и хрома, сформированных на поверхности монокристаллического кремния.
4. Создание многопериодных нанокompозитов со встроенными нанокристаллитами полупроводниковых силицидов в кремниевой матрице.
5. Определение параметров фундаментальных межзонных переходов нанокompозитов с нанокристаллитами одного и двух полупроводниковых силицидов. Метод оптической спектроскопии.
6. Ионная имплантация и постимплантационная обработка для формирования наноструктур со встроенными кристаллитами полупроводниковых силицидов.
7. Механизмы переноса носителей заряда при низких и высоких температурах в нанокompозитах со встроенными нанокристаллитами полупроводниковых силицидов
8. Термоэлектрические свойства нанокompозитных материалов. Селективное легирование термоэлектриков.
9. Люминесцентные свойства светодиодов на основе кремния со встроенными

- нанокристаллитами полупроводникового дисилицида железа.
10. Фото спектральные свойства диодов на основе полупроводниковых наноконкомпозитов. Расширение спектрального диапазона чувствительности.
  11. Металлические наночастицы: оптические свойства, обусловленные возбуждением плазмонов.
  12. Гранулированные металлические пленки: время дефазировки плазмона.
  13. Энергетический спектр электронного газа пониженной размерности. Оптическое поглощение электронного газа пониженной размерности.
  14. Энергетический спектр электронного газа пониженной размерности. Влияние упругих напряжений на энергетический спектр электронного газа.
  15. Фотовольтаические эффекты и фотопроводимость в квантоворазмерных гетероструктурах.
  16. Спектроскопия фотоэдс и фототока на барьерах квантоворазмерных гетероструктур с металлом.
  17. Колебательные зонные состояния в сверхрешетках. Фононы в объемных и ограниченных структурах.
  18. Колебательные зонные состояния в сверхрешетках. Рамановское рассеяние на сложных акустических фононах.
  19. Фононы в нанокристаллах. Расчеты колебательных спектров нанокристаллов.
  20. Размерно-ограниченные кристаллические среды. Квантованные конформентные оптические и акустические моды.

### **Критерии выставления оценки студенту на зачете**

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

<b>Оценка</b>	<b>Требования к сформированным компетенциям</b>
<b>«зачтено»</b>	Студент показал развернутый ответ, представляющий собой связное, логическое, последовательное раскрытие поставленного вопроса, широкое знание литературы. Студент обнаружил понимание материала, обоснованность суждений, способность применить полученные знания на практике. Допускаются некоторые неточности в ответе, которые студент исправляет самостоятельно.
<b>«не зачтено»</b>	Студент обнаруживает незнание большей части проблем, связанных с изучением вопроса, допускает ошибки в ответе, искажает смысл текста, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Данная оценка характеризует недостатки в подготовке студента, которые являются серьезным препятствием к успешной профессиональной и научной деятельности.

### **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, рефератов, самостоятельных 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. Зонная структура объемных полупроводников.
2. Причины возникновения разрешенных и запрещенных энергетических зон. Энергетическое состояние.
3. Распределение разрешенных состояний в пространстве квазиимпульса. Долины, поверхности постоянной энергии. Примесные состояния. Хвосты энергетических зон. Причины их возникновения.
4. Экситоны. Энергия ионизации экситона.
5. Экситон Френкеля, Ванье-Мотта.
6. Условия существования экситона: влияние температуры, критические точки  $k$ -пространства, сильное локальное поле, деформационный потенциал.
7. Экситонные комплексы. Энергия связи экситонного комплекса. Экситонные ионы, молекулы. Связанный экситон. Примеры связанных экситонов.
8. Экситонное поглощение. Прямые и непрямые экситоны. Энергия экситонного поглощения, характер зависимости коэффициента поглощения от энергии. Экситонное поглощение в электрическом поле. Поглощение, связанное с изоэлектронными ловушками. Спектр поглощения на изоэлектронных ловушках.
9. Влияние внешних воздействий на полупроводник. Давление (гидростатическое, одноосное). Зависимость положения энергетических уровней, концентрации носителей заряда от давления. Температурные эффекты, уширение энергетических уровней. Электрическое поле: эффект



Штарка, эффект Франца-Келдыша. Магнитное поле: расщепление Ландау, эффект Зеемана.

10. Поглощение. Собственное поглощение объемных полупроводников. Зависимость коэффициента собственного поглощения от энергии для разрешенных прямых переходов; для непрямых переходов между непрямыми долинами. График зависимости коэффициента поглощения от энергии фотона для непрямых переходов при низких и высоких температурах.

11. Поглощение фотонов с энергией больше чем ширина  $z_z$ . Сдвиг Бурштейна-Мосса. Непрямые переходы между прямыми долинами. Переходы из спин-орбитально отщепленной валентной зоны.

12. Поглощение фотонов с энергией меньше чем ширина  $z_z$ . Переходы между хвостами зон: случай вырожденного материала  $p$ -типа. Собственное поглощение в сильном электрическом поле – туннелирование с участием фотона. Влияние локальных внутренних полей на край поглощения на примере поглощения в GaAs  $p$ -типа в зависимости от температуры. Переходы между примесными уровнями и зонами. Коэффициент поглощения для переходов с участием примесей. Переходы между донорами и акцепторами. Поглощение с участием горячих электронов.

13. Тепловые колебания кристаллической решетки, фононы, типы фононов. Фононный спектр. Решеточное поглощение.

14. Излучательные переходы. Люминесценция. Виды люминесценции. Эффективность излучения. Излучательное время жизни в различных полупроводниках.

15. Экситонная рекомбинация. Рекомбинация свободного экситона в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Роль фононов. Рекомбинация связанного экситона. Фотолюминесценция в объемном кремнии.

16. Излучательные переходы зона проводимости — валентная зона. Прямые переходы. Зависимость края спектра излучения от энергии.

17. Непрямые переходы, участие фонона в таких переходах. Самопоглощение на примере спектра излучения германия.

18. Излучение при взаимодействии с носителем. Низкоэнергетический хвост излучения, связанный с разогревом носителей.

19. Излучательные переходы, связанные с примесью. Переходы между зоной и примесным уровнем: мелкие переходы, при которых происходит нейтрализация ионизированных доноров или акцепторов.

20. Донорно-акцепторные излучательные переходы, их спектральная структура. Пример излучения, сопровождающегося туннелированием в компенсированном GaAs при низких и высоких скоростях возбуждения. Временная зависимость донорно-акцепторных переходов.

21. Безызлучательная рекомбинация. Виды безызлучательной рекомбинации. Оже эффект. Поверхностная рекомбинация. Рекомбинация через дефекты и включения.

22. Энергетическая схема многослойных гетереструктур. Одиночный гетеропереход, двойной гетеропереход. Сверхрешетка. Классификация сверхрешеток. Толстобарьерная сверхрешетка.

23. Энергетический спектр электронного газа пониженной размерности. Условие квантования. Полная энергия электрона в квантовой яме.

24. Дополнительные факторы при расчёте спектра реальной КЯ: конечная глубина ямы; влияние упругих напряжений на энергетический спектр; локализованные состояния электронов в КЯ. Электронный 0D газ.

25. Зависимость энергии переходов от размера и формы КТ. Минимальный и максимальный размер трехмерной потенциальной ямы, при которой КТ проявляет свои свойства.

26. Межзонное оптическое поглощение квантовой ямы. Коэффициент поглощения одиночной КЯ. Спектр фотоЭДС структуры с КЯ.

### 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 рефератов

#### Тема 1. Объемные наноструктуры

1. Отличие и сходство явлений объемного и поверхностного псевдоморфизма.
2. Преимущества и недостатки молекулярно-лучевой эпитаксии для формирования объемных наноструктур.
3. Чем обусловлена возможность применения импульсного ионного отжига с точки зрения физико-химических процессов?
4. Возможно ли восстановление кристаллической структуры подложки после ионной имплантации?
5. Для чего требуются многокомпонентные (каскадные) нанокompозитные материалы?

#### Тема 2. Колебательные зонные состояния в сверхрешетках

1. Причины возникновения разрешенных электронных и колебательных состояний.
2. Одномерная модель кристалла: дисперсионная зависимость.
3. Оптические и акустические ветви фононов и электронов.
4. Что такое сложенные акустические и оптические моды?
5. Природа рамановского рассеяния на фононах.

6. Модели, применяемые для описания фононов в нанокристаллах: диэлектрического, механического и упругого континуума.
7. Колебательный спектр нанокристаллов и его расчет.

### Критерии оценки рефератов

Оценка	Требования
<i>«зачтено»</i>	Студент владеет навыками самостоятельной работы по теме исследования, реферировать литературные источники; методами анализа теоретических и/или практических аспектов изучаемой области. Реферат характеризуется смысловой цельностью, связностью и последовательностью изложения. Студент умеет обобщать фактический материал, делать самостоятельные выводы. Работа соответствует требованиям и выполнена в установленные сроки.
<i>«не зачтено»</i>	Не раскрыта структура и теоретическая составляющая темы. Студент не умеет обобщать фактический материал, делать самостоятельные выводы, не владеет навыком реферировать литературные источники. Реферат не выполнен.