



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«Дальневосточный федеральный университет»**

(ДВФУ)

**ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

(подпись)

Давыденко А.В.

(Ф.И.О.)

28 февраля 2023 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. директора департамента общей и  
экспериментальной физики

(подпись)

В.В. Короченцев.

(Ф.И.О.)

«28» февраля 2023 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
Физика полупроводников и низкоразмерных систем  
**Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»**  
(Электроника и наноэлектроника)  
**Форма подготовки очная**

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями  
Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки  
11.03.04 **Электроника и наноэлектроника**, утвержденного Министерством науки и высшего  
образования РФ от 19.09.2017, № 927 (с изменениями и дополнениями).

Рабочая программа обсуждена на заседании *департамента общей и экспериментальной  
физики*, протокол от «28» февраля 2023г. №5.

*И.о. директора Департамента В. В. Короченцев*

Составители:

к.ф.-м.н. Шевлягин А. В.

Владивосток  
2023

Оборотная сторона титульного листа РПД

1. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании департамента и общей и экспериментальной физики, протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 г. № \_\_\_\_\_

2. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании департамента и общей и экспериментальной физики, протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 г. № \_\_\_\_\_

3. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании департамента и общей и экспериментальной физики, протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 г. № \_\_\_\_\_

4. Рабочая программа пересмотрена на заседании департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании департамента и общей и экспериментальной физики, протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 г. № \_\_\_\_\_

**Аннотация дисциплины**  
*Физика полупроводников и низкоразмерных систем*

Рабочая программа предназначена для студентов 3 курса специальности «Электроника и наноэлектроника», общая трудоемкость дисциплины 4 зачетных единицы (144 академических часа).

Учебным планом предусмотрены лекции (32 часа), лабораторные работы (34 часа), самостоятельная работа студента (78 часов, в том числе включая подготовку к экзамену 36 часов). Дисциплина «Физика полупроводников и низкоразмерных систем» входит в вариативную часть цикла дисциплин образовательной программы, реализуется на 3-м курсе и завершается экзаменом.

**Язык реализации:** русский.

**Цель:** изучение теории полупроводников, изучение основ зонной теории и статистики электронов в полупроводниках, а также изучение закономерностей важнейших явлений в полупроводниках: явлений переноса, эффектов сильного поля, фотопроводимости, контактных явлений и фотовольтаических эффектов.

**Задачи:**

- ознакомление студентов с понятиями теории полупроводников: электронная и дырочная проводимость, собственная и примесная проводимость;
- изучение понятий донорной и акцепторной примесей, компенсации примесей;
- знакомство с основными классами полупроводниковых материалов;
- изучение закономерностей поведения неравновесных носителей заряда в полупроводниках.

«Физика полупроводников и низкоразмерных систем» опирается на квантово-механические представления, является фундаментальным курсом, закладывающим основы для последующих дисциплин направления подготовки «Электроника и наноэлектроника».

Для успешного изучения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий (УК-1),
- способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни (УК-6),
- способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности (ОПК-1),
- способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности (ОПК-3),

полученные в результате изучения дисциплин *базового модуля общей физики, базового математического модуля, физических основ электроники и обработка цифровой информации.*

Компетенции студентов, индикаторы их достижения и результаты обучения по дисциплине:

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
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	<i>Знает</i> возможные методики проведения исследований различных параметров и характеристик устройств электроники и нанoeлектроники
			<i>Умеет</i> выбирать методики для проведения конкретных исследований устройств нанoeлектроники
			<i>Владеет</i> навыками выбора методик для проведения исследований

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
			конкретных характеристик и параметров устройств нанoeлектроники для получения достоверных результатов
		<b>ПК -2.2</b> Проводит экспериментальные исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	<i>Знает</i> методики проведения экспериментальных исследований характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники
			<i>Умеет</i> проводить исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники
			<i>Владеет</i> методами и навыками проведения исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники
		<b>ПК -2.3</b> Готовит научно-технические отчеты, публикации по результатам выполненных исследований	<i>Знает</i> требования оформления научно-технических отчетов, публикаций по результатам выполненных исследований
			<i>Умеет</i> составлять и оформлять научно-технические отчеты, готовить публикации по результатам выполненных исследований с учетом

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
			существующих требований
			<i>Владеет</i> навыками подготовки научно-технических отчетов, публикаций по результатам выполненных исследований в соответствии с предъявляемыми требованиями
Сервисно-эксплуатационный	<b>ПК-5</b> Способен к сервисному обслуживанию измерительного, диагностического, технологического оборудования	<b>ПК-5.1</b> Соблюдает правила эксплуатации технологического оборудования	<i>Знает</i> принципы работы и правила эксплуатации технологического оборудования
			<i>Умеет</i> использовать нормативные данные эксплуатации технологического оборудования
			<i>Владеет</i> навыками использования технологического оборудования в соответствии с правилами эксплуатации
		<b>ПК-5.2</b> Осуществляет диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования	<i>Знает</i> этапы диагностики неполадок и как провести частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования
			<i>Умеет</i> осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
			<i>Владеет</i> навыками диагностики неполадок и частичного ремонта измерительного, диагностического, технологического оборудования
		<b>ПК-5.3</b> Проводит мониторинг диагностического, технологического оборудования	<i>Знает</i> методы мониторинга измерительного, диагностического и технологического оборудования, используемого в области электроники и нанoeлектроники
			<i>Умеет</i> проводить работы по мониторингу измерительного, диагностического и технологического оборудования
			<i>Владеет</i> навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования, используемого в области электроники и нанoeлектроники

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Физика полупроводников и низкоразмерных систем» применяются следующие образовательные технологии и методы активного/интерактивного обучения: работа в малых группах, круглый стол.

## I. Цели и задачи освоения дисциплины:

**Цель:** подготовка высококвалифицированных специалистов, которые должны обладать знаниями в области теории полупроводников, основ зонной теории и статистики электронов в полупроводниках, а также закономерностей важнейших явлений в полупроводниках: явлений переноса, эффектов сильного поля, фотопроводимости, контактных явлений и фотовольтаических эффектов.

### **Задачи:**

- Ознакомление с основными понятиями теории полупроводников: электронная и дырочная проводимость, собственная и примесная проводимость;
- изучение понятий донорной и акцепторной примесей, компенсации примесей;
- знакомство с основными классами полупроводниковых материалов;
- изучение закономерностей поведения неравновесных носителей заряда в полупроводниках.

Для успешного изучения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий (УК-1),
- способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни (УК-6),
- способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности (ОПК-1),
- способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности (ОПК-3),

Профессиональные компетенции студентов, индикаторы их достижения и результаты обучения по дисциплине:

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
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	<i>Знает</i> возможные методики проведения исследований различных параметров и характеристик устройств электроники и нанoeлектроники
			<i>Умеет</i> выбирать методики для проведения конкретных исследований устройств нанoeлектроники
			<i>Владеет</i> навыками выбора методик для проведения исследований конкретных характеристик и параметров устройств нанoeлектроники для получения достоверных результатов
		ПК -2.2 Проводит экспериментальные исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	<i>Знает</i> методики проведения экспериментальных исследований характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники
<i>Умеет</i> проводить исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники			

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)	
			<i>Владеет</i> методами и навыками проведения исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	
			<b>ПК -2.3</b> Готовит научно-технические отчеты, публикации по результатам выполненных исследований	<i>Знает</i> требования оформления научно-технических отчетов, публикаций по результатам выполненных исследований
				<i>Умеет</i> составлять и оформлять научно-технические отчеты, готовить публикации по результатам выполненных исследований с учетом существующих требований
				<i>Владеет</i> навыками подготовки научно-технических отчетов, публикаций по результатам выполненных исследований в соответствии с предъявляемыми требованиями
Сервисно-эксплуатационный	<b>ПК-5</b> Способен к сервисному обслуживанию измерительного, диагностического, технологического оборудования	<b>ПК-5.1</b> Соблюдает правила эксплуатации технологического оборудования	<i>Знает</i> принципы работы и правила эксплуатации технологического оборудования	
			<i>Умеет</i> использовать нормативные данные эксплуатации технологического оборудования	
			<i>Владеет</i> навыками использования	

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
			технологического оборудования в соответствии с правилами эксплуатации
		<b>ПК-5.2</b> Осуществляет диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования	<i>Знает</i> этапы диагностики неполадок и как провести частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования
			<i>Умеет</i> осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования
			<i>Владеет</i> навыками диагностики неполадок и частичного ремонта измерительного, диагностического, технологического оборудования
		<b>ПК-5.3</b> Проводит мониторинг диагностического, технологического оборудования	<i>Знает</i> методы мониторинга измерительного, диагностического и технологического оборудования, используемого в области электроники и нанoeлектроники
			<i>Умеет</i> проводить работы по мониторингу измерительного, диагностического и технологического оборудования
			<i>Владеет</i> навыками мониторинга

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
			диагностического, технологического оборудования, используемого в области электроники и нанoeлектроники

## II. Трудоемкость дисциплины и виды учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц (144 академических часов).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

### Структура дисциплины

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	С е м е с т р	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося						Конт роль	Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР			
1	Раздел 1. Полупроводниковые материалы и Механизмы проводимости	5	11	12	-					УО-1; УО-3; ПР-2; ПР-6
2	Раздел 2. Зонная теория полупроводников. Статистика электронов в полупроводниках	5	11	12		-	42	36		
3	Раздел 3. Кинетические и контактные явления в полупроводниках	5	10	10						
	Итого:		32	34		-	42	36		

## III. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Лекционные занятия

## **Раздел 1. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕХАНИЗМЫ ПРОВОДИМОСТИ**

### **Тема 1. Электропроводность полупроводников**

Основные свойства полупроводников и их применение в современной технике. Влияние температуры, освещения, примесей и других факторов на электропроводность. Собственная проводимость, электронный и дырочный механизмы проводимости в классическом и квантовом представлении. Примесная проводимость. Доноры и акцепторы. Концентрация и подвижность носителей заряда.

### **Тема 2. Полупроводниковые материалы**

Классификация полупроводников по типам химических связей и свойствам. Важнейшие для современной техники полупроводниковые материалы: кремний, германий, соединения элементов III и V группы, соединения элементов II и VI группы, и др.

### **Тема 3. Неравновесные носители заряда в полупроводниках**

Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Время жизни. Диффузия и дрейф. Уравнение непрерывности, частные случаи его применения.

## **Раздел 2. ЗОННАЯ ТЕОРИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ. СТАТИСТИКА ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

### **Тема 4. Основы зонной теории полупроводников.**

Приближение сильной связи. Обменное взаимодействие. Обменная энергия. Образование энергетических зон при сближении атомов. Свойства энергетических зон. Приближение слабой связи. Электрон в потенциальном ящике с гладким дном. Модель Кронига-Пенни. Возникновение энергетических зон. Свойства зон (сравнение с «сильной связью»).

Зависимость энергии электрона от волнового вектора в разрешенной зоне. Разрешенные состояния электрона. Теорема Блоха. Условия цикличности Борна-

Кармана. Число состояний в зоне. Квазиимпульс электрона. Зоны Бриллюэна.

Заполненность энергетических зон электронами. Различие между металлами. Полупроводниками. Диэлектриками. Примеры (см. табл. Менделеева – 1, 2, 3, 4 группы, а также NaCl). Структура энергетических зон (зависимость энергии от волнового вектора) Ge, Si, GaAs и других полупроводников. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Однодолинные и многодолинные полупроводники.

Эффективная масса электрона в кристалле. Электроны и дырки. Тензор эффективной массы. Элементарная теория примесных состояний в кристалле. Водородоподобная модель примесного центра, ее применимость. Примеры доноров и акцепторов в германии и кремнии, в полупроводниковых соединениях. Примесные зоны.

#### **Тема 5. Статистика электронов в полупроводниках.**

Основные положения статистики Ферми-Дирака. Понятие об уровне Ферми. Вычисление концентрации носителей заряда в полупроводнике. Вырожденный и невырожденный полупроводник.

Собственная проводимость. Примесная проводимость. Случаи высоких и низких температур.

### **Раздел 3. КИНЕТИЧЕСКИЕ И КОНТАКТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

#### **Тема 6. Кинетические явления в полупроводниках.**

Взаимодействие носителей заряда с кристаллической решеткой в полупроводнике. Подвижность. Измерение подвижностей и концентраций. Температурная зависимость подвижности при разных механизмах рассеяния.

Явления переноса в полупроводнике. Электропроводность. Зависимость от температуры. Практическое применение.

Электропроводность при сильном электрическом поле. Ударная ионизация. Туннельный эффект, эффект Ганна

#### **Тема 7. Контактные явления в полупроводниках.**

Контактная разность потенциалов (КРП), методы измерения, природа КРП. Контакт металл-полупроводник. Запорные и антизапорные слои. Толщина запорного слоя. Выпрямление на контакте двух металлов, на контакте металл-полупроводник. Изготовление P-N перехода. Выпрямление на нем. P-N переход в равновесии. Уравнение Пуассона. Характеристики электрического поля в P-N переходе. Инжекция и экстракция носителей заряда через P-N переход.

Теория тонкого P-N перехода. Применение P-N перехода: диод, триод. Полупроводниковый лазер. Гетеропереход.

#### **IV. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

##### **Лабораторные работы**

**Лабораторная работа №1.** Эффект Холла. Определение концентрации, подвижности и знака носителей заряда в полупроводниках.

**Лабораторная работа №2.** Определение ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости электропроводности.

**Лабораторная работа №3.** Определение ширины запрещенной зоны полупроводника по спектральной характеристике фотопроводимости.

**Лабораторная работа №4.** Определение времени жизни неравновесных носителей заряда по кривым релаксации фотопроводимости.

**Лабораторная работа №5.** Выпрямление на контакте двух полупроводников. Вольт-амперные характеристики p-n переходов.

**Лабораторная работа №6.** Фотоэлектрические преобразователи: фотодиоды и фотосопротивления.

##### **Задания для самостоятельной работы**

*Требования:* Перед каждой лабораторной работой обучающемуся необходимо изучить Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Физика полупроводников и низкоразмерных систем», ответить на контрольные вопросы, подготовить шаблон для отчета.

## V. 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 1. Полупроводниковые материалы и механизмы проводимости	ПК-2. 1 Выбирает методики проведения исследований параметров и характеристик устройств и установок электроники и нанoeлектроники	Знает возможные методики проведения исследований различных параметров и характеристик устройств электроники и нанoeлектроники	УО-1 собеседование / устный опрос;	вопросы к экзамену 1-15, задание тип 1	
			Умеет выбирать методики для проведения конкретных исследований устройств нанoeлектроники	УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-6 лабораторная работа		
			Владеет навыками выбора методик для проведения исследований конкретных характеристик и параметров устройств нанoeлектроники для получения достоверных результатов	ПР-2 контрольная работа ПР-6 лабораторная работа		
		ПК-2.2 Проводит экспериментальные исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	Знает методики проведения экспериментальных исследований характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	УО-1 собеседование / устный опрос		вопросы к экзамену 1-15, задание тип 1
			Умеет проводить исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-6 лабораторная работа		
			Владеет методами и навыками проведения	ПР-6 лабораторная		

			исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	работа; ПР-2 контрольная работа	
		ПК-2.3 Готовит научно-технические отчеты, публикации по результатам выполненных исследований	Знает методики проведения экспериментальных исследований характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	УО-1 собеседование / устный опрос	вопросы к экзамену 1-15, задание тип 1,2
			Умеет проводить исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	ПР-6 лабораторная работа	
			Владеет методами и навыками проведения исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	ПР-6 лабораторная работа	УО-3 доклад
2	Раздел 2. Зонная теория полупроводников. Статистика электронов в полупроводниках.	ПК-2.1 Выбирает методики проведения исследований параметров и характеристик устройств и установок электроники и нанoeлектроники	Знает возможные методики проведения исследований различных параметров и характеристик устройств электроники и нанoeлектроники	УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-2 контрольная работа	вопросы к экзамену 16-25, задание тип 2,3
			Умеет выбирать методики для проведения конкретных исследований устройств нанoeлектроники	УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-6 лабораторная работа	
			Владеет навыками выбора методик для проведения исследований конкретных характеристик и параметров устройств нанoeлектроники для получения достоверных результатов	ПР-6 лабораторная работа; ПР-2 контрольная работа	
		ПК-5.1 соблюдает правила эксплуатации	Знает принципы работы и правила эксплуатации технологического оборудования	УО-1 собеседование / устный опрос;	вопросы к экзамену 16-25, задание

		технологическое оборудования	Умеет использовать нормативные данные эксплуатации технологического оборудования	УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-6 лабораторная работа	тип 2,3
			Владеет навыками использования технологического оборудования в соответствии с правилами эксплуатации	ПР-2 контрольная работа ПР-6 лабораторная работа	
3	Раздел 3. Кинетические и контактные явления в полупроводниках.	ПК-2.2 проводит экспериментальные исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	Знает методики проведения экспериментальных исследований характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	УО-1 собеседование / устный опрос;	вопросы к экзамену 26-35, задание тип 4, 5
			Умеет проводить исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-6 лабораторная работа	
			Владеет методами и навыками проведения исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и нанoeлектроники	ПР-2 контрольная работа ПР-6 лабораторная работа	
		ПК-5.2 осуществляет диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного , диагностическое, технологическое оборудования	Знает принципы работы измерительного, диагностического, технологического оборудования	УО-1 собеседование / устный опрос;	вопросы к экзамену 26-35, задание тип 4, 5
			Умеет осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования	УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-6 лабораторная работа	
			Владеет навыками сервисного	ПР-2 контрольная	

			обслуживания измерительного, диагностического, технологического оборудования	работа ПР-6 лабораторная работа
		ПК-5.3 проводит мониторинг диагностического, технологического оборудования	Знает методы мониторинга измерительного, диагностического и технологического оборудования, используемого в области электроники и нанoeлектроники	УО-1 собеседование / устный опрос;
			Умеет проводить работы по мониторингу измерительного, диагностического и технологического оборудования	УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-6 лабораторная работа
			Владеет навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования, используемого в области электроники и нанoeлектроники	ПР-2 контрольная работа 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 приложении.

## **VI. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Самостоятельная работа определяется как индивидуальная или коллективная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства педагога, но по его заданиям и под его контролем. Самостоятельная работа – это познавательная учебная деятельность, когда последовательность мышления студента, его умственных и практических операций и действий

зависит и определяется самим студентом.

Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровней, что в итоге приводит к развитию навыка самостоятельного планирования и реализации деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение необходимыми компетенциями по своему направлению подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов:

- работа с основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами;
- самостоятельное ознакомление с лекционным материалом, представленным на электронных носителях, в библиотеке образовательного учреждения;
- подготовка реферативных обзоров источников периодической печати, опорных конспектов, заранее определенных преподавателем;
- поиск информации по теме с последующим ее представлением в аудитории в форме доклада, презентаций;
- выполнение тестовых заданий, решение задач;
- подготовка к зачетам и экзаменам;

Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Физика полупроводников и наноразмерных систем» включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- 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	Подготовка к лабораторной работе №1 и написание отчета	7 часов	ПР-6; УО1
2	4-6 недели	Подготовка к лабораторной работе №2 и написание отчета Подготовка к контрольной работе №1	7 часов	ПР-6; ПР-2; УО1
3	7-9 недели	Подготовка к лабораторной работе №3 и написание отчета	7 часов	ПР-6; УО1
4	10-12 недели	Подготовка к лабораторной работе №4 и написание отчета Подготовка доклада по материалам дополнительных глав дисциплины	7 часов	ПР-6; УО-3; УО1
5	13-15 недели	Подготовка к лабораторной работе №5 и написание отчета	7 часов	ПР-6; УО1
6	16-18 недели	Подготовка к лабораторной работе №6 и написание отчета Подготовка к контрольной работе №2	7 часов	ПР-6; ПР-2; УО1
7	16-18 неделя семестра	Подготовка к экзамену	36 часов	экзамен
Итого:			78 часов	

### **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. Обратить 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 по выполнению заданий для самостоятельной работы и критерии оценки.**

Самостоятельная работа студентов направлена на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений и включает в себя работу с рекомендованной литературой, работу с лекционным материалом, изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку, подготовку к лабораторным и практическим занятиям, выполнение и защита курсового проекта. Особое внимание при этом необходимо обратить на содержание основных положений и выводов, объяснение явлений и фактов, уяснение практического приложения рассматриваемых теоретических вопросов. В процессе этой работы студент должен стремиться понять и запомнить основные положения рассматриваемого материала, примеры, поясняющие его, а также разобраться в иллюстративном материале.

Критерии оценки. Критериями оценки результатов самостоятельной работы обучающихся являются:

- уровень освоения учебного материала;
- уровень умения использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- обоснованность и четкость изложения материала;
- устный опрос при сдаче выполненных индивидуальных заданий;
- общий уровень подготовки презентации (устного доклада) по материалам дополнительных глав дисциплины, включая полноту представления материала, работу с дополнительными источниками информации и чёткость и последовательность изложения;

## **VII. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Шалимова, К.В. Физика полупроводников: учебник / К.В. Шалимова. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 384 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/210524>
2. Ансельм, А.И. Введение в теорию полупроводников: учебник / А.И. Ансельм. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 624 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/212255>
3. Грундман, М. Основы физики полупроводников: нанофизика и технические приложения: учебник / М. Грундман. — Москва: Физматлит, 2012. — 771 с. — Режим доступа: <https://library.dvfu.ru/lib/document/EK/047BB28B-BA20-4F37-AF79-6EF79B094D6A/>

### **Дополнительная литература**

1. Сорокин, В. С., Антипов, Б. Л., Лазарева, Н. П. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики: учебник / В. С. Сорокин — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 448 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/212135>
2. Кардона, М., Питер, Ю. Основы физики полупроводников: учебник / М. Кардона – Москва: Физматлит, 2002. – 560 с. — Режим доступа: <https://library.dvfu.ru/lib/document/EK/820BD634-2F8F-4821-8307-0B39B8D65E67/>
3. Степанов, Н. П. Физические характеристики полупроводников, используемых в твердотельной электронике: Учебное пособие / Н. П. Степанов — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 126 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/271922>

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети**

#### **«Интернет»**

1. [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru) – научная электронная библиотека
2. <http://www.dvfu.ru/web/library>– научная библиотека  
Дальневосточного федерального университета
3. <https://e.lanbook.com/> - электронно-библиотечная система

### **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/>
3. Электронные базы данных EBSCO <http://search.ebscohost.com/>

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

Успешное освоение дисциплины предполагает активную работу студентов на всех занятиях аудиторной формы: лекциях и лабораторных, выполнение аттестационных мероприятий. В процессе изучения дисциплины студенту необходимо ориентироваться на проработку лекционного материала, подготовку к лабораторным занятиям, выполнение контрольных и самостоятельных работ.

Освоение дисциплины «Физика полупроводников и низкоразмерных систем» предполагает итоговую аттестацию в форме экзамена и предусматривает со стороны преподавателя текущий контроль за посещением студентами лекций, подготовкой и выполнением всех видов самостоятельной работы.

Студент считается аттестованным по дисциплине при условии выполнения всех видов текущего контроля и самостоятельной работы, предусмотренных учебной программой.

Шкала оценивания сформированности образовательных результатов по дисциплине представлена в фонде оценочных средств (ФОС).

В процессе обучения студент должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы обычно составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины или на кафедре.

Главное в период обучения своей специальности – это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на следующий день. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием как успешной учебы, так и последующей работы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

#### *Организация деятельности студента на лекции.*

Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий производится с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Необходимо обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Только если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на

практических работах.

Материал лекций необходимо закреплять самостоятельно. В первую очередь, на следующий день необходимо еще раз проработать материал лекции. Практика показывает, что если не сделать этого в течение двух-трех дней, то большая часть материала забудется. В дальнейшем процесс забывания идет по экспоненте. При изучении материала обязательно использование учебников и других материалов по дисциплине. Необходимо найти контрольные вопросы по соответствующей теме, ответить на них. В случае, если по теме есть задачи, то их необходимо решить и сверить с правильными вариантами ответов (при наличии). В случае затруднений необходимо проконсультироваться у преподавателя.

Во всех различных ситуациях, приводящих к ошибочным действиям, некорректным выводам и/или ответам необходимо проанализировать причины, приведшие к ошибкам. Работа над ошибками является одним из условий процесса совершенствования знаний и навыков, а следовательно, успешной учебы и работы.

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

Лекционные занятия проводятся в стандартных лекционных аудиториях лабораторного корпуса (корпус L). Лабораторные работы проводятся в специализированной лаборатории (корпус L), оснащенной лабораторными стендами, состоящими из стандартного оборудования (осциллографы, амперметры, вольтметры, магазины сопротивлений и пр.), позволяющими производить лабораторные работы в полном объеме.

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.