



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)

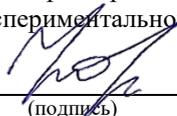
Крайнова Г.С.  
(Ф.И.О.)

« 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**  
Физика и технология квантовых приборов  
**Направление подготовки 11.03.04 наименование**  
(Электроника и наноэлектроника)  
**Форма подготовки очная**

курс 4 семестр 8  
лекции 22 час.  
практические занятия 34 часа  
лабораторные работы \_\_\_\_\_ не предусмотрены  
в том числе с использованием МАО лек. \_\_\_\_\_ / пр. 20 / лаб. 00 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 56 час.  
в том числе с использованием МАО 20 час.  
самостоятельная работа 88 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 27 час.  
контрольные работы 3  
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены  
зачет не предусмотрен  
экзамен 8 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 11.03.04 **Электроника и наноэлектроника**, 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 № 7 от « 3 » марта 2022 г.

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

Составитель: д.ф.-м.н., профессор Н.Г. Галкин

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

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

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

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

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

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

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

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины:

**Цель курса** - изучение физических и технологических аспектов разработки и технологического воплощения гетеропереходных транзисторов, включая транзисторы на горячих носителях и транзисторы на квантовых эффектах.

### **Задачи:**

- ознакомить студентов с понятийным аппаратом квантовой механики в приложении к гетеропереходным транзисторам;
- дать представление о взаимосвязи электронной структуры гетеропереходов и условий квантования электронного газа при построении гетероструктурных транзисторов, включая транзисторы на квантовых эффектах;
- сформировать представления об особенностях технологических процессах при создании квантовых приборов.

Для успешного изучения дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

ОПК-1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;

ОПК-2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

ОПК-7 способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности.

Планируемые результаты обучения по данной дисциплине (знания, умения, владения), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, характеризуют этапы формирования следующих профессиональных компетенций:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Научно-исследовательский	<b>ПК-2</b> Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	ПК-2.1 выбирает методики проведения исследований параметров и характеристик устройств и установок электроники и наноэлектроники
		ПК-2.2 проводит экспериментальные исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и наноэлектроники

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-2.1 выбирает методики проведения исследований параметров и характеристик устройств и установок электроники и наноэлектроники	Знает новые научные результаты по электронике и наноэлектронике
	Умеет правильно ставить задачи по направлению электроники и наноэлектроники, выбирать для исследования необходимые методы, оценивать значимость результатов с точки зрения их результативности и применимости
	Владеет навыками применения выбранных методов к решению научных задач по электронике и наноэлектронике
ПК-2.2 проводит экспериментальные исследования характеристик приборов, схем, устройств электроники и наноэлектроники	Знает способы простейшие методики проведения исследований параметров и характеристик устройств с квантовыми свойствами и систем на их основе для задач электроники и наноэлектроники.
	Умеет проводить исследования параметров

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
	квантовых приборов, схем, рассчитывать их основные характеристики и строить зонные диаграммы приборов электроники и нанoeлектроники
	Владеет технологиями и математическим аппаратом для моделирования квантовых приборов, устройств и установок электроники и нанoeлектроники

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения:

- работа в малых группах (парах) - дает всем студентам возможность участвовать в работе, практиковать навыки сотрудничества, межличностного общения);
- круглый стол - по анализу современной научной литературы по тематике дисциплины на английском языке;
- метод проектов - самостоятельная подготовка студентами презентаций докладов по предлагаемым темам с последующим докладом на семинарах и обсуждением со студентами и преподавателем.

## 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
Практ.	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 1. Полевые и биполярные гетероструктурные транзисторы	8	5	-	13	-	14	7	УО-1; ПР-6
2	Раздел 2. Транзисторы на горячих электронах	8	4	-	5		10	5	
3	Раздел 3. Аналоговые транзисторы	8	2	-	4		10	5	УО-1; УО-3; ПР-6
4	Раздел 4. Транзисторы на квантовых эффектах	8	4	-	4		12	5	УО-1; УО-3; ПР-6; ПР-12
5	Раздел 5. Транзисторы и интегральные микросхемы с наивысшим быстродействием	8	7	-	8		15	5	УО-1; УО-3; ПР-6, ПР-12
	Итого:		22	-	34	-	61	27	

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (22 часа)**

### **1. Полевые и биполярные гетероструктурные транзисторы (5 часов)**

Гетеропереход. Селективное легирование. Двумерный электронный газ. Гетероструктурные полевые транзисторы. Полевые транзисторы на гетероструктурах AlGaAs/GaAs с селективным легированием. Обратные и многоканальные структуры. Гетероструктурные биполярные транзисторы (ГСБТ). Гетероэмиттер. База и коллектор. Гетероструктурные биполярные транзисторы на AlGaAs/GaAs. ГСБТ на GaInAs/InP, GaInAsP/InP. Транзисторы с гетеропереходами из GaAs/Si, Ge/Si,  $\alpha$ -Si/Si.

### **2. Транзисторы на горячих электронах (4 часа)**

Транзисторы с баллистической инжекцией электронов. Спектроскопия горячих электронов. Баллистические транзисторы с планарно-легированными барьерами. Баллистические транзисторы с гетероструктурными барьерами. Транзисторы с переносом заряда в пространстве.

### **3. Аналоговые транзисторы (2 часа)**

Транзисторы со статической индукцией. Транзисторы с проницаемой базой.  
Транзисторы с металлической базой.

#### **4. Транзисторы на квантовых эффектах (4 часов)**

Туннелирование и размерное квантование. Резонансное туннелирование через двойной барьер с квантовой ямой и сверхрешетку. Транзисторы с резонансным туннелированием (биполярные и полевые).

#### **5. Транзисторы и интегральные микросхемы с наивысшим быстродействием (7 часов)**

Транзисторы с наивысшим быстродействием. ИС на быстродействующих транзисторах. Fin-FET транзисторы – путь к снижению размеров и повышению плотности интеграции. Последние достижения в физике сверхбыстродействующих транзисторов на альтернативных полупроводниковых материалах (2014 – 2020). Квантовый компьютер: от идеи до современных реализаций.

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

### **Практические занятия (34 часа)**

#### **Занятие 1. Гетеропереходы (5 часов)**

1. Рассматривается модель Андерсона.
2. Проводится построение зонной модели анизотипного гетероперехода в модели Андерсона без и с учетом поверхностных состояний.
3. Проводится построение зонной модели изотипного гетероперехода в модели Андерсона без и с учетом поверхностных состояний

Занятие проводится с использованием метода активного обучения «работа в малых группах».

#### **Занятие 2. Селективное легирование (4 часа)**

1. Анализ принципа селективного легирования на двух гетеропереходах.
2. Особенности формирования двумерного электронного и дырочного газов.
3. Расчет параметров двумерного электронного и дырочного газов в анизотипных гетеропереходах с различной концентрацией доноров (акцепторов).

Занятие проводится с использованием метода активного обучения «работа в малых группах».

#### **Занятие 3. Гетероструктурные полевые транзисторы (4 часа)**

1. Построение зонных энергетических диаграмм полевых транзисторов на гетероструктурах с селективным легированием (ПТ ГСЛ) без и со смещением на затворе.
2. Расчет параметров ПТ ГСЛ, создаваемых на различных гетеропарах.  
Занятие проводится с использованием метода активного обучения «работа в малых группах».

#### **Занятие 4. Гетероструктурные биполярные транзисторы (5 часов)**

1. Построение зонных энергетических диаграмм гетероструктурного биполярного транзистора (ГСБТ) без и со смещением.
2. Расчет параметров ГСБТ (3 часа), создаваемых на различных гетеропарах.  
Занятие проводится с использованием метода активного обучения «работа в малых группах».

#### **Занятие 5. Транзисторы на горячих электронах (4 часа)**

1. Построение зонных энергетических диаграмм транзисторов на горячих электронах (ТГЭ) без и со смещением.
2. Расчет параметров транзисторов на горячих электронах, создаваемых на различных гетеропарах.  
Занятие проводится с использованием метода активного обучения «работа в малых группах».

#### **Занятие 6. Аналоговые транзисторы (4 часа)**

1. Построение зонных энергетических диаграмм аналоговых транзисторов без и со смещением.
2. Расчет параметров аналоговых транзисторов, создаваемых на различных гетеропарах.  
Занятие проводится с использованием метода активного обучения «работа в малых группах».

#### **Занятие 7. Транзисторы на квантовых эффектах (4 часа)**

1. Построение зонных энергетических диаграмм транзисторов на квантовых эффектах без и со смещением.
3. Построение зонных диаграмм транзисторов на квантовых эффектах, создаваемых на различных гетеропарах.  
Занятие проводится с использованием метода активного обучения «работа в малых группах».

#### **Занятие 8. Современные транзисторы с наивысшим быстродействием (4 часа)**

1. Fin-FET транзисторы – анализ характеристик.
2. Сверхбыстродействующие транзисторы на альтернативных полупроводниковых материалах – текущее состояние технологических разработок.

Занятие проводится с использованием метода активного обучения «работа в малых группах».

### **Самостоятельная работа (61 час)**

1. Подготовка к практическим занятиям.
2. Подготовка к круглым столам - анализ современной научной литературы по тематике дисциплины на английском языке.
3. Метод проектов - самостоятельная подготовка студентами презентаций докладов по предлагаемым темам с последующим докладом на семинарах, активное обсуждение доклада со студентами группы и преподавателем.

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

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Физика и технология квантовых приборов» и 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	Форма контроля

			<b>выполнение</b>	
1	1-2 недели семестра	Подготовка к семинарскому занятию по теме 1 и 2	5 час.	контрольная работа 1
2	3 неделя семестра	Подготовка к семинарскому занятию по теме 3	5 час.	контрольная работа 2
3	4 неделя семестра	Подготовка к семинарскому занятию по теме 4	5 час.	Проверка ИДЗ
4	5 недели семестра	Подготовка к семинарскому занятию по теме 5	5 час.	контрольная работа 3
5	6 недели семестра	Подготовка к семинарскому занятию по теме 6	5 час.	Проверка ИДЗ
6	7 недели семестра	Подготовка к семинарскому занятию по теме 7	5 час.	контрольная работа 4
7	8 неделя семестра	Подготовка к семинарскому занятию по теме 8	6 час.	резюме статей по теме
8	9 неделя семестра	Подготовка устных докладов в виде презентации с рисунками и выводами на основе подготовленных резюме	25 час.	Обзорные доклады по тематике курса
Итого			61 час	

### **Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению**

Задания и методические рекомендации для самостоятельной работы обеспечивают подготовку резюме по прочитанным оригинальным статьям,

контрольным работам и обзорному докладу по всем статьям в рамках тематике курса лекций «Физика и технология квантовых приборов».

### **Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению**

Задания выдаются в виде оригинальных статей по курсу читаемых лекций, которые необходимо разобрать к семинарскому занятию и подготовить короткое резюме (2-3) страницы машинописного текста.

#### **Требования к представлению резюме**

Резюме по оригинальным статьям представляет краткую письменную работу с изложением сути рассматриваемой в статье проблемы. Обучаемый самостоятельно проводит анализ этой проблемы и кратко излагает их в резюме в виде выводов и сопоставляет с разобранным в ходе лекций материалами.

Резюме составляется по тематике определенных теоретических вопросов изучаемой дисциплины при использовании научной литературы. Резюме оформляется в соответствии с требованиями Правил оформления письменных работ студентами ДВФУ.

По форме резюме представляет краткое письменное сообщение, имеющее ссылки на источники литературы и краткий терминологический словарь, включающий основные термины и их расшифровку (толкование) по раскрываемой теме (вопросу).

Резюме представляется на проверку в электронном виде, исходя из условий:

- ✓ текстовый документ в формат MS Word;
- ✓ объем – 2-3 компьютерные страницы 1 статье;
- ✓ объем словаря – не менее 7-10 терминов на одно резюме;
- ✓ набор текста с параметрами - шрифт 14, межстрочный интервал 1,5;
- ✓ формат листов текстового документа - А4;
- ✓ *титальный лист* (первый лист документа, без номера страницы) – по заданной форме;

✓ список литературы по использованным при подготовке резюме источникам, наличие ссылок в тексте резюме на источники по списку.

**Оценивание резюме проводится по критериям:**

- использование данных отечественной и зарубежной литературы, источников Интернет и курса лекций;
- владение методами и приемами анализа теоретических и/или практических аспектов изучаемой области;
- отсутствие фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы.

**Подготовка к контрольным работам**

Подготовка к контрольным работам проводится по тематике лекций в рамках рассмотренных тем. Вопросы выносятся на контрольные работы без их предварительного обсуждения. Преподаватель оставляет за собой право проводить короткие по времени контрольные работы (до 10 минут) с ответом на 5 коротких вопросов, сформулированных в строгом соответствии с темами лекционных занятий.

**IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Гетеропереходы	ПК-1,	знает	Конспект лекций (ПР-1)	экзамен, вопросы 1-4
			умеет	Семинарское занятие (ПР-1)	экзамен, задание 1
			владеет	ИДЗ (ПР-1)	
2	Селективное легирование	ПК-1	знает		экзамен, вопросы 5-8
			умеет	Семинарское занятие (ПР-2)	экзамен, задание 2

			владеет	Контрольная работа (ПР-2)	резюме статей по теме
3	Гетероструктурные полевые транзисторы	ПК-1	знает		
			умеет	Семинарское занятие (ПР-3)	экзамен, задание 3
			владеет	Контрольная работа (ПР-3)	
4	Гетероструктурные биполярные транзисторы	ПК-1,	знает	резюме (ПР-4)	экзамен, вопросы 9 - 12
			умеет	Семинарское занятие (ПР-4)	экзамен, задание 4
			владеет	Круглый стол (ПР-4)	резюме статей по теме
5	Транзисторы на горячих электронах	ПК-1,	знает	резюме (ПР-5)	экзамен, вопросы 13-15
			умеет	Семинарское занятие (ПР-5)	экзамен, задание, тип 5
			владеет	Контрольная работа (ПР-5)	
6	Аналоговые транзисторы	ПК-1,	знает	резюме (ПР-6)	экзамен, вопросы 16-18
			умеет	Семинарское занятие (ПР-6)	экзамен, задание, тип 6
			владеет	Круглый стол (ПР-6)	экзамен, задание, тип 6
7	Транзисторы на квантовых эффектах	ПК-1,	знает	Резюме (ПР-7)	экзамен, вопросы 19-20
			умеет	Семинарское занятие (ПР-7)	экзамен, задание, тип 7

			владеет	Контрольная работа (ПР-7)	резюме статей по теме
8	Современные транзисторы с наивысшим быстродействием	ПК-1,	знает	резюме (ПР-8)	экзамен, вопросы 21 - 22
			умеет	Семинарское занятие (ПР-8)	экзамен, задание, тип 8
			владеет	Обзорные доклады (ПР-8)	резюме статей по теме

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в разделе ФОС.

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

### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Алексеенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника. М.: Радио связь, 1982, 414 с.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984, 567 с.
3. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. М.: Советское радио, 1980, 424 с.
4. Алексеенко А.Г. Основы микросхемотехники. М.: Советское радио, 1977, 405 с.
5. Дубровский В.Г. Теоретические основы технологии полупроводниковых наноструктур. Учебное пособие. - СПб.: СПбГПУ, 2006. - 347 с. <http://window.edu.ru/resource/346/63346>

6. Лысенко А.П. Биполярные транзисторы: Учебное пособие. - М.: МИЭМ, 2006. - 76 с. <http://window.edu.ru/resource/860/55860>

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

1. Щелкачев Н.М., Фоминов Я.В. Электрический ток в наноструктурах: кулоновская блокада и квантовые точечные контакты: Учебно-методическое пособие. - М.: МФТИ, 2010. - 39 с.  
<http://window.edu.ru/resource/539/73539>
2. Дорохин М.В., Данилов Ю.А. Измерение поляризационных характеристик излучения наногетероструктур: учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. - 81 с. <http://window.edu.ru/resource/006/74006>
3. Борисенко С.И. Физика полупроводниковых наноструктур: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. - 115 с. <http://window.edu.ru/resource/927/73927>
4. Лапшинов Б.А. Технология литографических процессов. Учебное пособие. - Московский государственный институт электроники и математики. - М., 2011. - 95 с. <http://window.edu.ru/resource/498/78498>
5. Вдовичев С.Н. Современные методы высоковакуумного напыления и плазменной обработки тонкопленочных металлических структур. Электронное учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. - 60 с.  
<http://window.edu.ru/resource/357/79357>
6. Поляков В.И., Стародубцев Э.В. Проектирование гибридных тонкопленочных интегральных микросхем: учебное пособие по дисциплине "Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ" - СПб.: НИУ ИТМО, 2013. - 80 с.  
<http://window.edu.ru/resource/042/79042>
7. Григорьев Ф.И. Плазмохимическое и ионно-химическое травление в технологии микроэлектроники: Учебное пособие / Московский государственный институт электроники и математики. - М. 2003. - 48 с.  
<http://window.edu.ru/resource/784/76784>

8. Громов Д.Г. Металлизация ультрабольших интегральных схем: учебное пособие / Д.Г. Громов, А.И. Мочалов, А.Д. Сулимин, В.И. Шевяков. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 277 с.: ил.  
<http://window.edu.ru/resource/591/64591>
9. Ткалич В.Л., Макеева А.В., Оборина Е.Е. Физические основы наноэлектроники: Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. - 83 с.  
<http://window.edu.ru/resource/415/73415>

### **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. Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки <http://diss.rsl.ru/>
5. Электронная библиотека Европейского математического общества <https://www.emis.de/>
6. Электронные базы данных EBSCO <http://search.ebscohost.com/>

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

1. Mathcad
2. Maple

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

В общей трудоемкости дисциплины 144 час. (4 ЗЕ) аудиторные занятия составляют 56 час, включая лекции (22 час.) и семинарские занятия (34 час.).

По дисциплине предусмотрена внеаудиторная самостоятельная работа в объеме 61 час на весь курс дисциплины.

Расписание аудиторных занятий включает в неделю 9 часов. Рекомендуется учащимся планировать внеаудиторную самостоятельную работу в объеме 5 часов в учебную неделю.

Для углубленного изучения теоретического материала курса дисциплины рекомендуются использовать основную и дополнительную литературу, указанную в приведенном выше перечне.

На лекциях преподаватель объясняет теоретический материал. Вводит основные понятия, определения, свойства. Формулирует и доказывает положения теоретических моделей. Приводит примеры. Необходимо поддерживать непрерывный контакт с аудиторией, отвечать на возникающие у студентов вопросы. На практических занятиях преподаватель разбирает примеры по пройденной теме. Во второй части занятия студентам предлагается работать самостоятельно, выполняя задания по теме. Преподаватель контролирует работу студентов, отвечает на возникающие вопросы, подсказывает ход и метод решения. Если знаний полученных в аудитории оказалось недостаточно, студент может самостоятельно повторно прочитать лекцию. После выполнения задания, студент отправляет его на проверку преподавателю. Работа должна быть отослана в формате PDF одним документом.

Самостоятельная работа студентов при изучении данной дисциплины состоит из подготовки к семинарским занятиям и подготовки коротких эссе по каждой теме лекционных занятий на основе современных специализированных по курсу статей, в том числе и на английском языке. Эссе выполняются в виде коротких заметок на 1-2 страницы с анализом литературных данных.

Целью осуществления данной деятельности является приобретение студентами, обучающимися по направлению «Электроника и наноэлектроника», навыков работы с научной литературой при подготовке к семинарским занятиям; получение опыта обработки и интерпретации литературных данных, а также методов построения зонных диаграмм гетероструктур и анализа их поведения при приложении рабочих напряжений.

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

№ п/п	Наименование предмета, дисциплины (модуля) в соответствии с учебным	Наименование оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий с перечнем основного оборудования	Адрес (местоположение) учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий, объектов физической культуры и спорта
1	2	3	4

1.	Конечные поля	<p>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного, семинарского типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.</p> <p>Мультимедийное оборудование: 690001, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, Корпус D, ауд. D732</p> <p>Экран проекционный Projecta Elpro Large Electron, 300x173 см, размер рабочей области 290x163</p> <p>Документ-камера Avervision CP 355 AF</p> <p>Мультимедийный проектор, Mitsubishi FD630U, 4000 ANSI Lumen, 1920x1080</p> <p>Сетевая видеокамера Multipix MP-HD718</p> <p>ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA</p> <p>ЖК-панель 42", Full HD, LG M4214 CCBA</p> <p>ЖК-панель 42", Full HD, LG M4214 CCBA</p>	
		<p>Аудитория для самостоятельной работы, Читальные залы Научной библиотеки ДВФУ с открытым доступом к фонду</p> <p>Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт.</p> <p>Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт.</p> <p>Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт. Скорость доступа в Интернет 500 Мбит/сек.</p> <p>Рабочие места для людей с ограниченными возможностями здоровья оснащены дисплеями и принтерами Брайля; оборудованы: портативными устройствами для чтения плоскочечатных текстов, сканирующими и читающими машинами видеоувеличителем с возможностью регуляции цветовых спектров; увеличивающими электронными лупами и ультразвуковыми маркировщиками</p>	690001, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, Корпус А, ауд. А1017

## **VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

Для дисциплины «Физико-химия нанокластеров и наноструктур» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

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

Письменные работы:

1. Практическая работа (ПР-6)
2. Контрольно-расчетная работа (ПР-12)

### **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.

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

Контрольно-расчетная работа (ПР-12) – 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 «Физика и технология квантовых приборов» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

По дисциплине «Физика и технология квантовых приборов» учебным планом предусмотрен экзамен в восьмом семестре.

Экзамен проводится в письменно-устной форме. Студент составляет конспект ответа и выполняет письменные задания, затем устно отвечает на вопросы.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика и технология квантовых приборов» проводится в форме контрольных мероприятий (защита резюме, выступление на семинарских занятиях, контрольное тестирование) по оцениванию фактических результатов обучения студентов 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.

Оценивание результатов освоения дисциплины на этапе текущей аттестации проводится в соответствии с используемыми оценочными средствами.

### Критерии оценки резюме

Оценивание защиты резюме проводится при представлении резюме в электронном виде, по двухбалльной шкале: «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он представляет к защите резюме, удовлетворяющее поставленным к резюме требованиям (использование данных отечественной и зарубежной литературы, источников Интернет и сопоставления с теоретическим курсом лекций, представление краткого терминологического словаря по теме), по оформлению, если студент

демонстрирует владение методами и приемами теоретических аспектов работы, не допускает фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если он не владеет методами и приемами теоретических аспектов работы, допускает существенные ошибки в работе, связанные с пониманием проблемы, представляет резюме с существенными отклонениями от правил оформления письменных работ.

#### Критерии оценки отчетов по семинарским занятиям

Оценивание работы на семинарских занятиях проводится на основе анализа выступлений студента с краткими ответами по заданным на семинарском занятии вопросам теоретического и технологического характера по двухбалльной шкале: «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он посетил 100% семинарских занятий и продемонстрировал владение методами и приемами теоретических и/или практических аспектов работы.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если он посетил менее 50% семинарских занятий и не владеет методами и приемами теоретических и/или практических аспектов работы, допускает существенные ошибки в работе, представляет отчет с существенными отклонениями при ответах на поставленные вопросы.

#### Критерии оценки контрольных работ

Оценивание проводится после письменных ответов на поставленные вопросы по пятибалльной шкале.

Максимальная оценка по контрольной работе – 5, минимальная 3.

Результаты контрольных работ учитываются при сдаче экзаменов. Дополнительные вопросы задаются по темам с оценкой ниже 4.

#### **Перечень вопросов для подготовки к экзамену**

1. Гетеропереходы: изотипные и анизотипные.
2. Модель Андерсона для построения зонных диаграмм.
3. Расчет параметров гетеропереходов: области пространственного заряда и емкости.

4. Формирование разрывов энергетических зон в гетеропереходах.
5. Спектроскопия горячих электронов.
6. Селективное легирование. Двумерный электронный газ.
7. Стационарная дрейфовая скорость, междолинный переброс, эффект убегания электронов.
8. Гетеропереход: основные условия формирования, типы гетеропереходов, разрывы зон, резкие и варизонные гетеропереходы.
9. Гетероструктурные биполярные транзисторы: гетероэмиттер, база и коллектор.
10. Гетероструктурные биполярные транзисторы: транзисторы на структуре AlGaAs/GaAs.
11. Полевые транзисторы на гетероструктурах с селективным легированием (ПТ ГСЛ): прямая, обратная и многоканальные структуры, нормально открытые и нормально закрытые структуры, достоинства и недостатки ПТ ГСЛ.
12. Всплеск дрейфовой скорости в длинных и коротких структурах, баллистический пролет.
13. Баллистические транзисторы с планарно-легированными барьерами.
14. Баллистические транзисторы с гетероструктурными барьерами: транзистор с двумерной базой, туннельный транзистор на горячих электронах.
15. Транзисторы на горячих электронах: транзисторы с баллистической инжекцией электронов.
16. Баллистические транзисторы с гетероструктурными барьерами: БЭТ с варизонным эмиттером, транзистор с индуцированной базой.
17. Транзисторы с переносом заряда в пространстве.
18. Транзисторы со статической индукцией: принцип действия, частотные характеристики.
19. Аналоговые транзисторы: транзисторы с проникаемой и металлической базами.

20. Транзисторы на квантовых эффектах: резонансное туннелирование через двойной барьер с квантовой ямой и сверхрешетку.
21. Транзисторы с ДБКС-эмиттером.
22. Квантово-размерные структуры: квантовые проволоки и квантовые точки. Материалы с распределенными квантовыми точками.
23. Биполярные транзисторы с резонансным туннелированием.
24. Полевые транзисторы с резонансным туннелированием.
25. Перспективы построения интегральных схем на сверхбыстродействующих транзисторах.
26. Основные проблемы интегральных схем при дальнейшей микроминиатюризации транзисторов.

**Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине  
«Физика и технология квантовых приборов»**

Баллы (рейтингов ой оценки)	Оценка зачета/ экзамена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
100-85	«зачтено»/  «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, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
75-84	«зачтено»/  «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.

61-74	«зачтено»/ «удовлетвор ительно»	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.
60 и менее	«незачтено»/ «неудовлетвор ительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### Оценочные средства для текущей аттестации

Текущая аттестация студентов по дисциплине «Физика и технология квантовых приборов» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме контрольных мероприятий (контрольных работ и индивидуальных домашних заданий) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

**Контрольная работа** является формой контроля усвоения студентами практической части курса. Выполняется студентами во время практических занятий по завершению изучения практической части разделов курса. Контрольная работа считается выполненной успешно при получении оценок «отлично», «хорошо», «удовлетворительно». При получении оценки «неудовлетворительно» контрольная работа считается не сданной, соответствующий раздел практикума неусвоенным.

### Оценочные средства для текущей аттестации

## Вопросы для самопроверки

### Тема 1. Полевые и биполярные гетероструктурные транзисторы (12 часов)

1. Что такое гетеропереход и при каких условиях он формируется?
2. Какие типы гетеропереходов существуют? Чем они принципиально различаются?
3. Модель Андерсона – в чем основные допущения?
4. Возможно ли создание идеальных гетеропереходов между полупроводниками с различной симметрией кристаллической решетки?
5. Что такое принцип селективного легирования? Какой из слоев в гетеропереходе легируется?
6. Как сформировать слой двумерного электронного газа? При каких условиях формируется двумерный дырочный газ?
7. Возможно ли в кремниевом p-n переходе сформировать двумерный электронный газ?
8. Каковы условия рассеяния носителей в двумерном электронном (дырочном) газе?
9. Может ли двумерный электронный газ существовать при комнатной температуре (да, нет, почему)?
10. Какой тип рассеяния носителей превалирует в двумерном электронном (дырочном) газе?
11. Чем определяется максимальная дрейфовая скорость в полупроводниках?
12. Возможен ли всплеск максимальной дрейфовой скорости носителей?
13. Возможно ли всплеск дрейфовой скорости реализовать в транзисторных структурах с тонкой базовой областью?
14. Чем отличается гетероструктурный полевой транзистор от МОП-полевого транзистора?
15. Какой принцип работы полевого транзистора на гетероструктурах AlGaAs/GaAs с селективным легированием?
16. При каких температурах проявляются основные достоинства транзисторов на гетероструктурах с селективным легированием?
17. Назовите основные режимы работы транзисторов на гетероструктурах с селективным легированием?
18. В чем достоинства и недостатки обратных и многоканальных типов транзисторов на гетероструктурах с селективным легированием?
19. Каков принцип работы гетероструктурных биполярных транзисторов (ГСБТ)?
20. Какой параметр гетероперехода позволяет регулировать гетероэмиттер?

21. Чего позволяет добиться использование электрического поля в базе и как это влияет на быстродействие ГСБТ?
22. Какой уровень легирования допускается в коллекторе ГСБТ в системе GaAs/AlGaAs/GaAs?
23. Сравните схемы легирования в обычном биполярном транзисторе и гетероструктурном биполярном транзисторе.
24. В чем преимущества гетероструктурных биполярных транзисторы на других гетеропарах GaInAs/InP, GaInAsP/InP, GaAs/Si, Ge/Si, a-Si/Si?

## **Тема 2. Транзисторы на горячих электронах (10 часов)**

1. Что такое горячие электроны? Каковы основные механизмы их генерации в полупроводниках?
2. До каких максимальных расстояний в транзисторных структурах нужно учитывать существование горячих носителей?
3. Что такое баллистический перенос носителей в полупроводниках? Можно ли этот эффект использовать при создании транзисторных структур?
4. Принцип действия транзисторов с баллистической инжекцией электронов, типовые его структуры и параметры быстродействия.
5. Что такое спектроскопия горячих электронов? На каком типе транзисторных структур она реализована?
6. Что такое планарно-легированный барьер? Это гетеропереход или нет?
7. Сравните по быстродействию обычный p-n переход и планарно-легированный барьер.
8. Нарисуйте схему баллистического транзистора с планарно-легированными барьерами и обоснуйте параметры его быстродействия.
9. Принцип работы и параметры быстродействия баллистических транзисторов с гетероструктурными барьерами.
10. Типы транзисторов с переносом заряда в пространстве и их зонные диаграммы.

## **Тема 3. Аналоговые транзисторы (5 часов)**

1. Конструкция и принцип работы транзисторов со статической индукцией.
2. Механизм переноса носителей в транзисторе со статической индукцией. Вольт-амперные характеристики.
3. Основные типы транзисторов со статической индукцией и области их применения.
4. Чем отличаются транзисторы с проницаемой базой от транзисторов со статической индукцией.
5. Реальные конструкции транзисторов с проницаемой базой и их быстродействие.

6. Конструкция транзисторов с металлической базой и их зонная диаграмма.
7. Как влияет квантово-механическое отражение на коллекторном барьере на коэффициент переноса носителей в транзисторах с металлической базой?
8. Для каких систем можно ожидать реализацию транзисторов с металлической базой?

#### **Тема 4. Транзисторы на квантовых эффектах (7 часов)**

1. Механизм туннелирования носителей через одиночный барьер
2. Механизм переноса носителей через квантовую яму
3. Как размерное квантование влияет на перенос носителей?
4. В чем заключается механизм резонансного туннелирования через двойной барьер с квантовой ямой?
5. Чем отличаются последовательное и резонансное туннелирование через двойной барьер с квантовой ямой?
6. Что такое сверхрешетка и как ее можно сформировать на основе гетеропереходов?
7. Чем отличаются многобарьерные структуры от сверхрешетки?
8. Каков механизм переноса носителей через сверхрешетку?
9. В каком случае сверхрешетку можно использовать для эмиссии фотонов?
10. Какие типы транзисторов с резонансным туннелированием вы можете перечислить?
11. В каких транзисторах на квантовых эффектах можно ожидать реализацию резонансного туннелирования с максимальной вероятностью?
12. В чем основная особенность выходных характеристик транзисторов на квантовых эффектах?
13. Как можно построить умножитель частоты на транзисторах на квантовых эффектах?
14. Каково быстродействие транзисторов на квантовых эффектах?
15. Какие из параметров транзисторов на квантовых эффектах ограничивает их быстродействие?
16. Каков принцип действия диода на двойном барьере с квантовой ямой?
17. От каких параметров зависит быстродействие диодов на двойном барьере с квантовой ямой?
18. В чем разница принципов действия между биполярными и полевыми транзисторами на квантовых эффектах?.

## **Тема 5. Транзисторы и интегральные микросхемы с наивысшим быстродействием (6 часов)**

1. Какие из транзисторов с наивысшим быстродействием реализованы на практике и каковы их параметры быстродействия?
2. Каковы перспективы использования транзисторов на горячих электронах, с баллистическим пролетом и аналоговых транзисторов?
3. Можно ли ожидать использования транзисторов на квантовых эффектах в микросхемах с наивысшим быстродействием?
4. Интегральные микросхемы на сверхбыстродействующих транзисторах.
5. Основные технологические проблемы при реализации транзисторов с наивысшим быстродействием.

### **Критерии оценки (письменный ответ)**

100-86 баллов - если ответ показывает глубокое и систематическое знание всего программного материала и структуры конкретного вопроса, а также основного содержания и новаций лекционного курса по сравнению с учебной литературой. Студент демонстрирует отчетливое и свободное владение концептуально-понятийным аппаратом, научным языком и терминологией соответствующей научной области. Знание основной литературы и знакомство с дополнительно рекомендованной литературой. Логически корректное и убедительное изложение ответа.

85-76 - баллов - знание узловых проблем программы и основного содержания лекционного курса; умение пользоваться концептуально-понятийным аппаратом в процессе анализа основных проблем в рамках данной темы; знание важнейших работ из списка рекомендованной литературы. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа.

75-61 - балл - фрагментарные, поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания лекционного курса; затруднения с использованием научно-понятийного аппарата и терминологии учебной дисциплины; неполное знакомство с рекомендованной литературой; частичные затруднения с выполнением предусмотренных программой

заданий; стремление логически определенно и последовательно изложить ответ.

60-50 баллов - незнание, либо отрывочное представление о данной проблеме в рамках учебно-программного материала; неумение использовать понятийный аппарат; отсутствие логической связи в ответе.

Это соответствует: 100-86 баллов – «отлично», 85-76 баллов – «хорошо», 75-61 баллов – «удовлетворительно», не более 60 баллов – «неудовлетворительно».

### Паспорт ФОС

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
Тип задач профессиональной деятельности: Научно-исследовательский			
<p>Анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;</p> <p>Математическое моделирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования.</p>	<p>Средства, способы и методы человеческой деятельности, направленные на теоретическое и экспериментальное исследование, математическое и компьютерное моделирование, математические модели, алгоритмы решения</p>	<p>ПК-1 способность 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.</p>	<p>ПК1.1. Умеет: правильно ставить задачи по выбранной тематике, выбирать для исследования необходимые методы; применять выбранные методы к решению научных задач, оценивать значимость получаемых результатов</p> <p>ПК-1.2. Знает: классические и современные методы решения задач по выбранной тематике научных исследований; новые научные результаты, связанные с тематикой научных исследований работы магистранта</p> <p>ПК-1.3 Владеет: навыками критического анализа и оценки современных достижений и результатов деятельности по решению</p>

	<p>типовых задач, современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники, нанофотоники, нанотехнологий</p>		<p>исследовательских и практических задач; навыками выступлений на научно-тематических конференциях и современными методами решения задач по выбранной тематике научных исследований</p>
--	---	--	--

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Гетеропереходы	ПК-1	знает	Конспекты лекций (ПР-1)	экзамен, вопросы 1-4
			умеет	Семинарское занятие (ПР-1)	экзамен, задание 1
			владеет	ИДЗ (ПР-1)	
2	Селективное легирование	ПК-1	знает		экзамен, вопросы 5-8
			умеет	Семинарское занятие (ПР-2)	экзамен, задание 2

			владеет	Контрольная работа (ПР-2)	резюме статей по теме
3	Гетероструктурные полевые транзисторы	ПК-1	знает		Экзамен, вопросы 9,10
			умеет	Семинарское занятие (ПР-3)	экзамен, задание 3
			владеет	Контрольная работа (ПР-3)	
4	Гетероструктурные биполярные транзисторы	ПК-1 ПК-3	знает	резюме (ПР-4)	экзамен, вопросы 11, 12
			умеет	Семинарское занятие (ПР-4)	экзамен, задание 4
			владеет	Круглый стол (ПР-4)	резюме статей по теме
5	Транзисторы на горячих электронах	ПК-1	знает	резюме (ПР-5)	экзамен, вопросы 13-15
			умеет	Семинарское занятие (ПР-5)	экзамен, задание, тип 5
			владеет	Контрольная работа (ПР-5)	
6	Аналоговые транзисторы	ПК-1	знает	резюме (ПР-6)	экзамен, вопросы 16-18
			умеет	Семинарское занятие (ПР-6)	экзамен, задание, тип 6

			владеет	Круглый стол (ПР-6)	экзамен, задание, тип 6
7	Транзисторы на квантовых эффектах	ПК-1 ПК-3	знает	Резюме (ПР-7)	экзамен, вопросы 19-22
			умеет	Семинарское занятие (ПР-7)	экзамен, задание, тип 7
			владеет	Контрольная работа (ПР-7)	резюме статей по теме
8	Современные транзисторы с наивысшим быстродействием		знает	резюме (ПР-8)	экзамен, вопросы 23 -26
			умеет	Семинарское занятие (ПР-8)	экзамен, задание, тип 8
			владеет	Обзорные доклады (ПР-8)	резюме статей по теме

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели	баллы
ПК-1, способность строить простейшие физические и математические модели приборов,	знает (пороговый уровень)	физику процессов формирования гетеропереходов;  основные механизмы достижения	воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной	способность показать базовые знания и основные умения в использовании:  - механизмов транспорта носителей в гетероструктурах, включая принципы	3

<p>схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования</p>		<p>максимальных дрейфовых скоростей носителей в объемных полупроводниках;</p> <p>методы генерации горячих носителей в гетеропереходах и методы исследования горячих носителей в них;</p> <p>физику процессов переноса носителей через транзисторные структуры с гетеропереходами и двойной барьер с квантовой ямой;</p> <p>условия формирования транзисторных структур и их зонные диаграммы.</p>	<p>точности и полноты</p>	<p>баллистического транспорта носителей для анализа работы транзисторов;</p> <p>- подходов к построению зонных диаграмм транзисторных структур;</p> <p>- особенностей ростовых процессов для реализации транзисторных структур.</p>	
	<p>умеет (продвинутой)</p>	<p>анализировать и моделировать физику процессов формирования гетеропереходов;</p> <p>определить возможности достижения максимальных дрейфовых скоростей</p>	<p>выполнять типичные задачи по разработке конструкции и параметров сверхбыстродействующих транзисторов на основе воспроизведения стандартных подходов</p>	<p>способность применить сформированные представления и практические умения в задачах, связанных с разработкой технологии транзисторных структур со сверхвысоким быстродействием:</p> <p>- анализировать механизмы транспорта</p>	<p>4</p>

	<p>носителей в транзисторных структурах;</p> <p>задать параметры транзисторных структур для генерации в них горячих носителей;</p> <p>учесть влияние поверхностных состояний на формирование зонных диаграмм гетеропереходов;</p> <p>использовать типы транзисторных структур для исследования механизмов рассеяния горячих носителей в них;</p> <p>рассчитать параметры носителей в гетеропереходных транзисторных структурах и двойном барьере с квантовой ямой;</p> <p>построить зонные диаграммы для всех типов транзисторных структур;</p> <p>рассчитать электрические и частотные</p>		<p>носителей в гетероструктурах, включая баллистический транспорт носителей при различных температурах;</p> <p>- проводить сравнительный анализ зонных диаграмм транзисторных структур с различными механизмами транспорта носителей;</p> <p>- анализировать технологи-ческие процессы при росте различных типов транзисторных структур;</p> <p>- проводить оценки параметров быстродействия транзисторных структур в зависимости от типов материалов и выбора технологических схем для реализации транзисторных структур.</p>	
--	---	--	--	--

		характеристик и всех типов транзисторных структур			
владеет (высокий)	Владеет навыками и имеет опыт применения методов расчета параметров транзисторных структур, методов расчета свойств реальных гетеропереходов и двойных барьеров с квантовой ямой, а также методами построения зонных диаграмм сверхбыстродействующих транзисторных структур всех типов без и со смещением, сравнительного анализа быстродействия транзисторных структур и построения на их основе интегральных схем с анализом основных технологических процессов и их совместимости с планарной технологией.	решать усложненные задачи по разработке конструкции и расчету параметров сверхбыстродействующих транзисторов основе приобретенных знаний, умений и навыков	способность применить систематизированные знания и практические умения в задачах, связанных с разработкой и расчетами параметров транзисторных структур со сверхвысоким быстродействием:	5	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать механизмы транспорта носителей в гетероструктурах, включая баллистический транспорт носителей при различных температурах;</li> <li>- проводить сравнительный анализ зонных диаграмм транзисторных структур с различными механизмами транспорта носителей;</li> <li>- анализировать технологические процессы при росте различных типов транзисторных структур;</li> <li>- проводить оценки параметров быстродействия транзисторных структур в зависимости от типов материалов и выбора технологических схем для реализации</li> </ul>		

		<p>Владеет методами расчета параметров транзисторных структур для генерации в них горячих носителей.</p> <p>Владеет методами расчета электрических и частотных характеристик всех типов транзисторных структур.</p>		<p>транзисторных структур;</p> <p>- проводить сравнительный анализ параметров быстродействия транзисторных структур всех типов и определять перспективы их использования для построения сверхбыстродействующих интегральных схем.</p>	
--	--	---	--	---	--