

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 30.09.2023 16:41:18

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2ab454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Физика квантоворазмерных полупроводниковых гетерокомпозиций

Закреплена за подразделением

Кафедра технологии материалов электроники

Направление подготовки

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Технологии микро- и нанoeлектроники

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**5 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

180

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 1

аудиторные занятия

34

курсовая работа 1

самостоятельная работа

110

часов на контроль

36

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	1 (1.1)		Итого	
	УП	РП	УП	РП
Неделя	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	34	34	34	34
Контактная работа	34	34	34	34
Сам. работа	110	110	110	110
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	180	180	180	180

Программу составил(и):

*к.т.н., доцент, Якушко Е.В.*

Рабочая программа

**Физика квантоворазмерных полупроводниковых гетерокомпозиций**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.04.04-МЭН-22-3.plx Технологии микро- и нанoeлектроники, утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, Технологии микро- и нанoeлектроники, утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра технологии материалов электроники**

Протокол от 29.06.2022 г., №10

Руководитель подразделения Костишин В.Г.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цель – подготовить специалистов к решению современных профессиональных задач в научных и производственных коллективах, занимающихся инновационными разработками для создания приборов квантовой электроники.
1.2	Научить пониманию физических основ нового научно-технического направления – нанотехнологии, дать представление об особенностях свойств и возможностях реализации полупроводниковых гетероструктур.
1.3	Ознакомить с перспективными разработками в области низкоразмерных структур на основе полупроводниковых материалов.
1.4	Задачи: научить
1.5	- анализировать структурные и физические свойства различных неорганических полупроводниковых материалов и возможность создания на их основе низкоразмерных структур для приборов микро- и наноэлектроники;
1.6	- анализировать и выбирать технологии изготовления низкоразмерных структур с требуемыми характеристиками;
1.7	- проводить расчёты электрических и оптических характеристик различных приборов микро- и наноэлектроники на основе низкоразмерных структур.

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Компьютерные технологии в научных исследованиях	
2.2.2	Методы исследования материалов	
2.2.3	Метрология, стандартизация и сертификация наноструктур	
2.2.4	Молекулярно-пучковая и МОС-гидридная технологии	
2.2.5	Научно-исследовательская практика	
2.2.6	Неразрушающие методы контроля процессов формирования гетерокомпозиций	
2.2.7	Радиационно-технологические процессы в электронике	
2.2.8	Термодинамика и микротехнология многокомпонентных гетероструктур	
2.2.9	Технологии получения материалов	
2.2.10	Электроника органических полупроводников (материалы, технологии, приборы)	
2.2.11	Высоковакуумное оборудование в наноэлектронике	
2.2.12	Практика научно-технического перевода и деловая переписка, второй иностранный язык (английский язык)	
2.2.13	Практика научно-технического перевода и деловая переписка, второй иностранный язык (немецкий язык)	
2.2.14	Практика научно-технического перевода и деловая переписка, второй иностранный язык (французский язык)	
2.2.15	Приборы и устройства магнитоэлектроники	
2.2.16	Приборы и устройства на основе наносистем	
2.2.17	Проектирование и технология электронной компонентной базы	
2.2.18	Технология материалов экстремальной электроники	
2.2.19	Эпионная технология в микро- и микроиндустрии	
2.2.20	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.21	Преддипломная практика	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

<b>ПК-4: Способность выявлять и реализовывать перспективные направления исследований в области физики, химии, микро- и нанотехнологий гетерокомпозиций полупроводниковых и диэлектрических материалов с целью получения недеградирующих микро- и наноструктур с контролируруемыми свойствами и требуемыми эксплуатационными параметрами</b>
<b>Знать:</b>
ПК-4-31 физические свойства систем с пониженной размерностью, методы их создания, особенности проявления квантовых эффектов в базовых элементах наноэлектроники
<b>Уметь:</b>
ПК-4-У1 вести поиск необходимой информации в специальной и справочной литературе и на интернет-ресурсах

**Владеть:**

ПК-4-В2 применять на практике навыки самостоятельной работы с литературой для поиска информации о понятиях, терминах, задачах и проблемах, объяснения их решения в практических ситуациях

ПК-4-В1 сведениями о технологии изготовления материалов и элементов электронной техники, об основных тенденциях развития электронной компонентной базы

**4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ**

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
<b>Раздел 1. Гетеропереходы</b>								
1.1	Гетероструктуры (ГС) и наиболее распространенные системы полупроводниковых материалов на основе Ge/Si и твердых растворов АЗВ5, их применение. Краткий обзор физических свойств объёмных трёхмерных (3D) полупроводников – зонные энергетические диаграммы электронов, плотности состояний, легирование, статистика носителей заряда, эффективные массы, подвижности и транспорт носителей заряда. /Лек/	1	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2 Э1 Э2			Р1,Р2
1.2	Работа с конспектом лекций, учебным материалом. /Ср/	1	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
1.3	Свойства базовых соединений АПВV и структур на их основе. /Пр/	1	1	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
1.4	Расчет характеристик базовых соединений АЗВ5. /Ср/	1	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2			
1.5	Простейшие гетероструктуры : получение и свойства. Расчет и оптимизация параметров гетероструктур. Формирование ОПЗ в гетеропереходе. /Пр/	1	1	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
1.6	Построение энергетических диаграмм типичных полупроводниковых гетероструктур. /Ср/	1	8	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
<b>Раздел 2. Физические основы наноэлектроники</b>								

2.1	<p>Физические основы наноэлектроники.</p> <p>Квантовые ограничения, структуры малой размерности: двумерные (квантовые ямы), одномерные (квантовые нити), нульмерные (квантовые точки).</p> <p>Поведение электронов в структурах с квантовыми ямами (КЯ).</p> <p>Энергетический спектр носителей в КЯ, плотность состояний, концентрация и подвижность электронов в двумерных системах.</p> <p>Эффекты размерного квантования в тонких пленках.</p> <p>Влияние механических напряжений на энергетический спектр КЯ.</p> <p>Транспорт носителей в низкоразмерных системах.</p> <p>Термоэлектронная эмиссия носителей из КЯ.</p> <p>Туннельные эффекты..</p> <p>Баллистическая проводимость.</p> <p>Двухбарьерные структуры.</p> <p>Коэффициент прохождения, отражения носителей.</p> <p>Транспорт носителей заряда в 3D полупроводниковой среде с набором квантовых точек (КТ)</p> <p>/Лек/</p>	1	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			P1,P2
2.2	Работа с конспектом лекций, учебным материалом. /Ср/	1	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
2.3	<p>Размерное квантование.</p> <p>Барьерные задачи в квантовой механике</p> <p>Двумерные (2D) системы - квантовые ямы (КЯ) в гетероструктурах, волновые функции и спектр электрона в прямоугольной, треугольной и параболической КЯ. /Пр/</p>	1	1	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
2.4	Решение задач по определению характеристик структур с квантовыми ямами. /Ср/	1	6	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.2			

2.5	Транспорт носителей в низкоразмерных системах. 2D системы – одиночные КЯ, множественные квантовые ямы (МКЯ), сверхрешетки (СР). Оптическое поглощение и спонтанное рекомбинационное излучение в системах различной размерности (3D, 2D, 1D, 0D). Излучательная и безизлучательная рекомбинация. /Пр/	1	1	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
2.6	Определение влияния используемых материалов на оптические свойства полупроводниковых структур с квантовыми ямами. Построение энергетической диаграммы структуры с квантовой ямой. /Ср/	1	8	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.2			
	<b>Раздел 3. Множественные квантовые ямы и сверхрешетки</b>							
3.1	Множественные квантовые ямы. Модель Кронига-Пенни. Взаимодействие двух КЯ с тонким барьером. Возникновение мини-зон, резонансное туннелирование в сверхрешетках (СР). Классификация СР,. Композиционные СР, легированные СР. Электронные и оптические свойства СР. Оптическое поглощение и спонтанное рекомбинационное излучение в системах различной размерности (3D, 2D, 1D, 0D). Каналы излучательной и безизлучательной рекомбинации. Электрооптические эффекты, квантово-размерный эффект Штарка. /Лек/	1	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			P1,P2
3.2	Работа с конспектом лекций, учебным материалом. /Ср/	1	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
3.3	Расчет энергетической диаграммы легированной СР /Пр/	1	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
3.4	Расчет характеристик полупроводниковых структур на основе сверхрешеток. /Ср/	1	8	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			

	<b>Раздел 4. Физика эпитаксиальных процессов</b>							
--	--	--	--	--	--	--	--	--

4.1	<p>Физика эпитаксиальных процессов. Современные технологии получения полупроводниковых тонких пленок и наногетероструктур элементарных полупроводников и полупроводников на основе соединений АЗВ5. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Эпитаксия из металлоорганических соединений и летучих неорганических гидридов (MOCVD). Рассогласованные гетероэпитаксиальные системы. Получение псевдоморфных гетероструктур. Особенности выращивания эпитаксиальных пленок нитридов бинарных соединений АЗВ5. Основные ростовые процессы на поверхности твердых тел: Адсорбция, поверхностная диффузия и десорбция атомов в тонких пленках. Зародышеобразование при выращивании эпитаксиальных пленок бинарных соединений АЗВ5. Понятие критического зародыша. Слияние островков и образование сплошной двумерной (2D) пленки. Элементы самоорганизации при гетероэпитаксии. Самоорганизованный рост полупроводниковых материалов для выращивания структур с квантовыми точками (КТ). Пример полупроводниковых систем InAs/GaAs(100) и Ge/Si(100). Средний размер и поверхностная плотность КТ. Трехмерные массивы когерентно-напряженных островков. Формирование полупроводниковых квантово-размерных структур /Лек/</p>	1	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			Р3,Р1
-----	---	---	---	---------------------------------	------------------------------	--	--	-------



4.2	Работа с конспектом лекций, учебным материалом. /Ср/	1	8	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
4.3	Молекулярно-лучевая эпитаксия и эпитаксия из металлоорганических соединений (МОСVD). полупроводников на основе соединений АЗВ5 Сравнение двух методик. /Пр/	1	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
4.4	Расчет режимов получения эпитаксиальных плёнок полупроводниковых гетерокомпозиций и структур. /Ср/	1	10	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
	<b>Раздел 5. Приборы микро- и нанoeлектроники на основе низкоразмерных структур полупроводников</b>							
5.1	Приборы микро- и нанoeлектроники на основе низкоразмерных структур полупроводников. Реализация приборов с КЯ. Резонансный туннельный диод: Светодиоды с гетеропереходами и активной областью в виде 3D – слоя, одиночной КЯ, множественных КЯ на основе соединений и твёрдых растворов в системах AlGaInP и AlGaInN. Излучающие диоды для ультрафиолетовой области спектра на основе системы AlGaInN. Инжекционные гетеролазеры с КЯ на основе соединений и твёрдых растворов АЗВ5: геометрия, зонная диаграмма, пороговый ток. Лазеры с боковым и вертикальным выводом излучения /Лек/	1	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			P1,P3
5.2	Работа с конспектом лекций, учебным материалом. /Ср/	1	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
5.3	Моделирование структуры и свойств полупроводниковой структуры на основе соединения AlGaInN. /Ср/	1	6	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.2			

5.4	Фотоприёмники. Фотодиоды и фототранзисторы для оптоволоконных линий связи на основе гетероструктур Ge/Si с квантовыми точками Ge, встроенными в базовую область. Фотодетекторы и солнечные элементы на основе соединений и твёрдых растворов АЗВ5. /Лек/	1	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
5.5	Работа с конспектом лекций, учебным материалом. /Ср/	1	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
5.6	Расчёт параметров гетероструктурных полупроводниковых материалов с внешнем и внутренним фотоэффектом. /Ср/	1	6	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.2			
5.7	Транзисторы на основе полупроводниковых наногетероструктур. Современные полевые гетеротранзисторы на основе соединений АШВVс двумерным электронным газом с высокой подвижностью электронов в канале (HEMT); их сравнительные характеристики. Свойства AlGaAs/InGaAs/AlGaAs гетероструктур Гетеросистемы с высоким содержанием InAs. HEMT на основе AlGaN/GaN гетероструктур для мощных СВЧ устройств. формирование, частотные, мощностные характеристики. Роль структуры КЯ в конструировании гетеротранзисторов. Влияние размеров и легирования КЯ. Биполярные гетеротранзисторы на основе арсенидов, фосфидов и нитридов элементов III группы, их. сравнительные характеристики. Перспективы создания новых типов приборов. /Лек/	1	3	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
5.8	Работа с конспектом лекций, учебным материалом. /Ср/	1	6	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			

5.9	Излучающие диоды с гетеропереходами и активной областью в виде 3D – слоя, одиночной КЯ, множественных КЯ, массива КТ на основе соединений и твёрдых растворов АЗВ5: /Пр/	1	3	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
5.10	Полевые транзисторы с двумерным электронным газом: на основе гетероструктуры AlGaN /GaN с высокой подвижностью электронов в канале(HEMT). Эффект поляризации. Частотные, мощностные характеристики, выбор оптимальной топологии. /Пр/	1	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2			
5.11	Предложить метод модификации существующих устройств на основе квантоворазмерных полупроводниковых гетерокомпозиций. Спроектировать транзистор на основе наногетероструктуры, рассчитать его свойства. Рассчитать эксплуатационные параметры разработанного транзистора. /Ср/	1	5	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.2			
5.12	Курсовая работа по дисциплине /Ср/	1	15	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2	Перечень тем курсовых работ в п.5.2.		

**5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**5.1. Вопросы для самостоятельной подготовки к экзамену (зачёту с оценкой)**

УК-3-31 Понимать принципы работы транзисторов, светоизлучающих диодов, квантового лазера:

На чем основан принцип работы транзистора?

На каком эффекте основана работа светоизлучающих диодов?

В чем заключается принцип работы квантового лазера?

ПК-3-31 Классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории; основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока:

С точки зрения зонной теории в чем заключается отличие между металлом, полупроводником и диэлектриком?

В чем отличие электрических, магнитных и оптических свойств в металлах, полупроводниках и диэлектриках?

Какие существуют механизмы протекания тока в твердых телах?

ПК-4-31 Физические свойства систем с пониженной размерностью, методы их создания, особенности проявления квантовых эффектов в базовых элементах нанoeлектроники:

В чем заключается отличие свойств объемных полупроводниковых материалов от наноразмерных?

Какие существуют квантовые эффекты в наноразмерных полупроводниковых материалах?

Контрольные вопросы для защит практических работ:

Опишите гетероструктуры наиболее распространенные системы полупроводниковых материалов и их свойства.

В чем заключаются квантовые ограничения структур малой размерности: двумерные (квантовые ямы), одномерные (квантовые нити), нульмерные (квантовые точки)?

Опишите особенности транспорт носителей заряда в низкоразмерных системах.

Изобразите зонную диаграмму структур с множественными квантовыми ямами. Опишите модель Кронига–Пенни.

Как происходит взаимодействие двух квантовых ям с тонким барьером?

Какие существуют современные технологии получения полупроводниковых тонких пленок и наногетероструктур?

Работа каких приборов основана на квантовых ямах?

В чем заключается принцип работы резонансного туннельного диода?

В чем заключается принцип работы инжекционного гетеролазера с квантовыми ямами?

Какие существуют транзисторы на основе наногетероструктур, в чем их особенность?

**5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)**

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Курсовая работа.	ПК-4-31;ПК-4-В1;ПК-4-У1;ПК-4-В2	1) Механизмы проводимости твердых тел. 2) Типы квантовых ям. Зонная структура в квантовой яме. 3) Полупроводниковые сверхрешеточные структуры. 4) Легированные сверхрешетки. 5) Легированные гетероструктуры. Дефекты эпитаксиальных слоев. 6) Физика эпитаксиальных процессов. 7) Псевдоаморфные гетероструктуры на GaAs. 8) Метаморфные гетероструктуры на GaAs, InP НЕМТ. 9) Гетероструктуры в солнечной энергетике. 10) Гетероструктурные светоизлучающие приборы. 11) Полевые гетеротранзисторы на материалах AlN. 12) Механизмы формирования гетероэпитаксиальных структур с квантовыми точками. 13) Самоорганизация при эпитаксии. 14) Процессы переноса в наноструктурах в электрических полях. 15) Приборы на основе использования массивов квантовых точек. 16) Формирование гетеробиполярных транзисторных структур. 17) Оптимизация гетероструктуры с квантовой ямой. 18) Получение и использование варизонных гетероструктур. 19) Влияние поляризационных эффектов и поверхностных состояний на характеристики полевых GaN гетеротранзисторов. 20) Приборные применения сверхрешеточных структур.
P2	Контрольная работа 1.	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-В1;ПК-4-В2	Гетероструктуры. Структуры малой размерности. Поведение электронов в структурах с квантовыми ямами. Модель Кронига- Пенни. Сверхрешетки.
P3	Контрольная работа 2.	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-В1;ПК-4-В2	Физика эпитаксиальных процессов. Современные технологии получения полупроводниковых тонких пленок и наногетероструктур. Приборы микро- и нанoeлектроники на основе низкоразмерных структур полупроводников.

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

Экзаменационный билет состоит из 3-х теоретических вопросов и одной задачи. Задачи в билетах являются типовыми и подобные задачи обучающийся решает по ходу выполнения текущих работ дисциплины. Билеты хранятся на кафедре.

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

Оценки за экзамен выставляются по следующим критериям:

- а) «отлично» – студент правильно решил задачу и полно ответил на все теоретические вопросы;
- б) «хорошо» – студент решил задачу и недостаточно полно ответил на все теоретические вопросы;
- в) «удовлетворительно» – студент неправильно решил задачу, неполно ответил на теоретические вопросы;
- г) «неудовлетворительно» – студент не решил задачу, не ответил на теоретические вопросы.

По курсовой работе предполагается следующая шкала оценок:

- 1) «отлично» – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;
- 2) «хорошо» – студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;
- 3) «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;
- 4) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы;
- 5) «не явка» – обучающийся на экзамен не явился.

**6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ****6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Драгунов В. П., Остертак Д. И.	Микро- и нанoeлектроника: учебное пособие	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2012
Л1.2	Клюшников С. В., Аванесов В. М., Пантелеева Н. С.	Светодиоды и их применение: монография	Электронная библиотека	Москва: Московский институт энергобезопасности и энергосбережения (МИЭЭ), 2012
Л1.3	Шишкин Г. Г., Агеев И. М.	Нанoeлектроника: элементы, приборы, устройства: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л1.4	Ковалев А. Н.	Транзисторы на основе полупроводниковых гетероструктур: монография	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011

**6.1.2. Дополнительная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Неволин В. К.	Квантовая физика и нанотехнологии	Электронная библиотека	Москва: РИЦ Техносфера, 2013
Л2.2	Ковалев А. Н.	Гетероструктурная нанoeлектроника: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2009

**6.1.3. Методические разработки**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Ковалев А. Н., Фоломин П. И.	Твердотельная электроника: Разд.: Контактные явления: Учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1997
Л3.2	Ковалев А. Н.	Твердотельная электроника: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2010

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

Э1	Российская национальная нанотехнологическая сеть	<a href="http://www.rusnanonet.ru/video/nanotech_nanoelectronics/">http://www.rusnanonet.ru/video/nanotech_nanoelectronics/</a>
----	--	---

Э2	Lessons From Nanoelectronics	<a href="https://books.google.ru/">https://books.google.ru/</a>
<b>6.3 Перечень программного обеспечения</b>		
П.1	Microsoft Office	
П.2	LMS Canvas	
П.3	MS Teams	
П.4	MATCAD	
<b>6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных</b>		
И.1	Электронная библиотека МИСиС	
И.2	<a href="http://elibrary.misis.ru/">http://elibrary.misis.ru/</a>	
И.3	Электронная библиотека издательство "Лань"	
И.4	<a href="https://e.lanbook.co">https://e.lanbook.co</a>	
И.5		
И.6	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	
И.7	<a href="https://window.edu.ru">https://window.edu.ru</a>	

<b>7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ</b>		
Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

<b>8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ</b>
<p>Дисциплина относится к точным наукам и требует значительного объема самостоятельной работы. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации.</p> <p>Лекционные занятия нацелены на изучение студентами физики квантоворазмерных полупроводниковых гетерокомпозиций. Практические занятия нацелены на изучение характеристик приборов на основе квантоворазмерных полупроводниковых гетерокомпозиций, особенностей их производства и применения.</p> <p>Проведение аудиторных занятий предусматривает использование в учебном курсе активных и интерактивных технологий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проведение лекций с использованием интерактивных и мультимедийных технологий (презентация в формате MS PowerPoint);</li> <li>- при проведении практических занятий допускается использование проприетарного ПО, входящего в состав технологического и исследовательского оборудования.</li> </ul> <p>Образовательная деятельность по дисциплине реализуется с помощью электронной информационно-образовательной среды НИТУ «МИСиС» Canvas.</p> <p>В учебном процессе используются программные базы вуза и автоматизированные средства взаимодействия преподавателя и обучающегося. Электронный контент в Canvas содержит все календарные события курса, навигационные ссылки, тесты, задания, методические рекомендации и электронные материалы.</p> <p>По курсу предусмотрено выполнение расчётного домашнего задания и курсовой работы и экзамена.</p>