

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 12.10.2023 12:49:17

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

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 композиций

Закреплена за подразделением

Кафедра технологии материалов электроники

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

**Инженер-исследователь**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 9

аудиторные занятия

51

курсовая работа 9

самостоятельная работа

57

часов на контроль

36

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	9 (5.1)		Итого	
	Неделя 18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	34	34	34	34
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	57	57	57	57
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*ктн, Доцент, Сергиенко Андрей Алексеевич; ктн, Доцент, Курочка Александр Сергеевич*

Рабочая программа

**Физика квантоворазмерных полупроводниковых композиций**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-23\_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра технологии материалов электроники**

Протокол от 29.06.2023 г., №10

Руководитель подразделения Костишин В. Г.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цель – подготовить выпускников к научно-исследовательской деятельности, связанной с рассмотрением таких вопросов как основные полупроводниковые материалы, многокомпонентные наногетероструктуры и методы нанотехнологий применительно к созданию элементной базы нанoeлектроники, оптоэлектроники, квантовых приборов и устройств.
-----	---

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.14
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Вакуумная и плазменная электроника	
2.1.2	Квантоворазмерные структуры в нанoeлектронике	
2.1.3	Магнитные измерения	
2.1.4	Математические модели технологических процессов получения магнитоэлектроники и радиокерамики	
2.1.5	Моделирование технологических процессов получения материалов электронной техники	
2.1.6	Нанoeлектроника полупроводниковых приборов и устройств	
2.1.7	Оборудование производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.1.8	Основы радиационной стойкости изделий электронной техники	
2.1.9	Основы технологии электронной компонентной базы	
2.1.10	Приборы квантовой и оптической электроники	
2.1.11	Процессы вакуумной и плазменной электроники	
2.1.12	Технология производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.1.13	Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом	
2.1.14	Элементы и устройства магнитоэлектроники	
2.1.15	Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах	
2.1.16	Ионно-плазменная обработка материалов	
2.1.17	Компьютерные технологии проектирования процессов нанoeлектроники	
2.1.18	Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем	
2.1.19	Методы исследования материалов и структур электроники	
2.1.20	Основы проектирования электронной компонентной базы. Пакеты прикладных программ	
2.1.21	Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок	
2.1.22	Полевые полупроводниковые приборы	
2.1.23	Полупроводниковая нанoeлектроника	
2.1.24	Приемники оптического излучения	
2.1.25	Физика импульсного отжига	
2.1.26	Физико-математические модели процессов нанoeлектроники	
2.1.27	Физические основы электроники	
2.1.28	Функциональная нанoeлектроника	
2.1.29	Биполярные полупроводниковые приборы	
2.1.30	Инженерная математика	
2.1.31	Квантовая и оптическая электроника	
2.1.32	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.33	Технология материалов электронной техники	
2.1.34	Физика диэлектриков	
2.1.35	Физика конденсированного состояния	
2.1.36	Физика магнитных явлений	
2.1.37	Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	
2.1.38	Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике	
2.1.39	Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике	
2.1.40	Статистическая физика	
2.1.41	Физические свойства кристаллов	
2.1.42	Электроника	
2.1.43	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.44	Методы математической физики	

2.1.45	Практическая кристаллография
2.1.46	Физика
2.1.47	Физическая химия
2.1.48	Математика
2.1.49	Органическая химия
2.1.50	Химия
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Материалы и элементы спинтроники и спинволновой электроники
2.2.2	Мессбауэровская спектроскопия материалов магнитоэлектроники и микросистемной техники
2.2.3	Микросхемотехника
2.2.4	Молекулярно-пучковая и МОС-гидридная технологии
2.2.5	Неразрушающие методы контроля процессов формирования гетерокомпозиций
2.2.6	Планирование научной деятельности
2.2.7	Приборные структуры на некристаллических материалах
2.2.8	Приборные структуры на широкозонных полупроводниках
2.2.9	Приборы и устройства на основе наносистем
2.2.10	Специальные вопросы физики магнитных явлений в конденсированных средах Часть 1
2.2.11	Технология наногетероструктур
2.2.12	Основы надежности элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства
2.2.13	Проектирование и технология электронной компонентной базы
2.2.14	Радиационно-технологические процессы в электронике
2.2.15	Технологии материалов для радиопоглощения и электромагнитного экранирования
2.2.16	Физика и техника магнитной записи
2.2.17	Электроника органических полупроводников (материалы, технологии, приборы)
2.2.18	Электронные и оптические свойства широкозонных соединений A <sub>2</sub> B <sub>6</sub>
2.2.19	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.20	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.21	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.22	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы

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

**ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники**

**Знать:**

ПК-5-31 физические свойства электронных систем различной размерности, влияние понижения размерности на физические явления;  
квантовые физические явления, определяющие работу приборов магнитоэлектроники.

**ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области**

**Знать:**

ОПК-2-31 основы физики наноразмерных пленок;

**ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности**

**Знать:**

ОПК-1-31 тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники в сфере разработки многокомпонентных гетероструктур с контролируемыми свойствами;

**ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники**

**Уметь:**

ПК-5-У1 готовить методологическое обоснование научного исследования и технической разработки в области магнитоэлектроники.

<b>ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-2-У1 рассчитывать характеристики приборов с гетероструктурами, квантовыми ямами и барьерами;
<b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-1-У1 рассчитывать энергетические зависимости элементарных частиц и квантов исходя из их положение в объеме квантового объекта;
<b>ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-5-В1 Владеть навыками проведения анализа и сравнения технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники.
<b>ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-2-В1 владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области.
<b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-1-В1 владеть навыками прогнозирования поведения квантовых объектов в приборах твердотельной магнитоэлектроники

#### 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/	9	6	ОПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
1.2	Свойства базовых соединений АШВV и структур на их основе. Простейшие гетероструктуры : получение и свойства. Расчет и оптимизация параметров гетероструктур. Формирование ОПЗ в гетеропереходе. /Пр/	9	4	ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			

1.3	Гетеропереход /Ср/	9	11	ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
	<b>Раздел 2. Физические основы наноэлектроники</b>							
2.1	Физические основы наноэлектроники. Квантовое ограничение. Структуры малой размерности: двумерные (квантовые ямы),одномерные (квантовые нити), нульмерные (квантовые точки). Поведение электронов в структурах с квантовыми ямами (КЯ). Энергетический спектр носителей в КЯ, плотность состояний, концентрация и подвижность электронов в двумерных системах. Эффекты размерного квантования в тонких пленках. Влияние механических напряжений на энергетический спектр КЯ. /Лек/	9	7	ОПК-2-31 ПК-5-В1 ПК-5-У1 ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
2.2	Размерное квантование. Барьерные задачи в квантовой механике. Двумерные (2D) системы - квантовые ямы (КЯ) в гетероструктурах, волновые функции и спектр электрона в прямоугольной, треугольной и параболической КЯ. Транспорт носителей в низкоразмерных системах. 2D системы – одиночные КЯ, множественные квантовые ямы (МКЯ), сверхрешётки (СР). Оптическое поглощение и спонтанное рекомбинационное излучение в системах различной размерности (3D, 2D, 1D, 0D). Излучательная и безизлучательная рекомбинация. /Пр/	9	4	ОПК-2-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
2.3	Физические основы наноэлектроники /Ср/	9	14	ОПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
	<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/	9	7	ОПК-2-31 ПК-5-31 ПК-5-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
3.2	Расчет энергетической диаграммы легированной СР. /Пр/	9	4	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-5-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
3.3	Множественные квантовые ямы и сверхрешетки /Ср/	9	12	ОПК-2-31 ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
	<b>Раздел 4. Физика эпитаксиальных процессов</b>							

4.1	<p>Физика эпитаксиальных процессов. Современные технологии получения полупроводниковых тонких пленок и наногетероструктур. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ) элементарных полупроводников и полупроводников на основе соединений АЗВ5. Эпитаксия из металлоорганических соединений и летучих неорганических гидридов (МОСVD). 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 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>	9	7	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
4.2	<p>Молекулярно-лучевая эпитаксия и эпитаксия из металлоорганических соединений (МОСVD). полупроводников на основе соединений АЗВ5. Сравнение двух методик. /Пр/</p>	9	2	ОПК-2-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			



4.3	Физика эпитаксиальных процессов. Реферат. /Ср/	9	10	ОПК-2-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
	<b>Раздел 5. Приборы микро- и наноэлектроники на основе низкоразмерных структур полупроводников</b>							
5.1	Приборы микро- и наноэлектроники 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 A3B5: геометрия, зонная диаграмма, пороговый ток. Лазеры с боковым и вертикальным выводом излучения. /Лек/	9	7	ОПК-2-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
5.2	Излучающие диоды с гетеропереходами и активной областью в виде 3D – слоя, одиночной КЯ, множественных КЯ, массива КТ на основе соединений и твёрдых растворов A3B5: Полевые транзисторы с двумерным электронным газом: на основе гетероструктуры AlGaIn /GaN с высокой подвижностью электронов в канале(HEMT). Эффект поляризации. Частотные, мощностные характеристики, выбор оптимальной топологии. Контрольная работа. /Пр/	9	3	ОПК-2-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
5.3	Приборы микро- и наноэлектроники на основе низкоразмерных структур полупроводников. Реферат. /Ср/	9	10	ОПК-2-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			

<b>5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки</b>			
Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Контрольная работа 1. Физические основы нанoeлектроники, Гетеропереходы, Множественные квантовые ямы и сверхрешетки	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-5-31;ПК-5-У1;ПК-5-В1	<p>Физические основы нанoeлектроники.</p> <p>Квантовое ограничение. 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>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.</p> <p>Множественные квантовые ямы. Модель Кронига- Пенни.</p> <p>Взаимодействие двух КЯ с тонким барьером. Возникновение мини-зон, резонансное туннелирование в сверхрешетках (СР).</p> <p>Классификация СР. Композиционные СР, легированные СР.</p> <p>Электронные и оптические свойства СР.</p> <p>Оптическое поглощение и спонтанное рекомбинационное излучение в системах различной размерности (3D, 2D, 1D, 0D).</p> <p>Каналы излучательной и безизлучательной рекомбинации.</p> <p>Электрооптические эффекты, квантово- размерный эффект Штарка</p>
КМ2	Контрольная работа 2. Физика эпитаксиальных процессов, Приборы микро- и нанoeлектроники на основе низкоразмерных структур полупроводников	ОПК-2-31;ОПК-2-В1;ОПК-1-31;ОПК-2-У1;ПК-5-31;ОПК-1-В1;ОПК-1-У1;ПК-5-У1;ПК-5-В1	<p>Физика эпитаксиальных процессов. Современные технологии получения полупроводниковых тонких пленок и наногетероструктур. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ) элементарных полупроводников и полупроводников на основе соединений АЗВ5. Эпитаксия из металлоорганических соединений и летучих неорганических гидридов (МОСVD). 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.</p> <p>Зародышеобразование при выращивании эпитаксиальных пленок бинарных соединений АЗВ5. Понятие критического зародыша.</p> <p>Слияние островков и образование сплошной двумерной (2D) пленки.</p> <p>Элементы самоорганизации при гетероэпитаксии. Самоорганизованный рост. полупроводниковых материалов для выращивания структур с КТ. Пример полупроводниковых систем InAs/GaAs(100) и Ge/Si(100). Средний размер и поверхностная плотность КТ.</p> <p>Трёхмерные массивы когерентно-напряженных островков.</p> <p>Формирование полупроводниковых квантово-размерных структур</p> <p>Приборы микро- и нанoeлектроники на основе низкоразмерных структур полупроводников. Реализация приборов с КЯ.</p> <p>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.</p> <p>Инжекционные гетеролазеры с КЯ на основе соединений и твёрдых растворов АЗВ5: геометрия, зонная диаграмма, пороговый ток. Лазеры с боковым и вертикальным выводом излучения.</p>
<b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)</b>			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы

P1	Курсовая работа.	ОПК-2-31;ОПК-2-В1;ОПК-1-31	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Механизмы проводимости твердых тел.</li> <li>2) Типы квантовых ям. Зонная структура в квантовой яме.</li> <li>3) Полупроводниковые сверхрешеточные структуры.</li> <li>4) Легированные сверхрешетки.</li> <li>5) Легированные гетероструктуры. Дефекты эпитаксиальных слоев.</li> <li>6) Физика эпитаксиальных процессов.</li> <li>7) Псевдоаморфные гетероструктуры на GaAs.</li> <li>8) Метаморфные гетероструктуры на GaAs, InP НЕМТ.</li> <li>9) Гетероструктуры в солнечной энергетике.</li> <li>10) Гетероструктурные светоизлучающие приборы.</li> <li>11) Полевые гетеротранзисторы на материалах АЗN.</li> <li>12) Механизмы формирования гетероэпитаксиальных структур с квантовыми точками.</li> <li>13) Самоорганизация при эпитаксии.</li> <li>14) Процессы переноса в наноструктурах в электрических полях.</li> <li>15) Приборы на основе использования массивов квантовых точек.</li> <li>16) Формирование гетеробиполярных транзисторных структур.</li> <li>17) Оптимизация гетероструктуры с квантовой ямой.</li> <li>18) Получение и использование варизонных гетероструктур.</li> <li>19) Влияние поляризационных эффектов и поверхностных состояний на характеристики полевых GaN гетеротранзисторов.</li> <li>20) Приборные применения сверхрешеточных структур.</li> </ol>
P2	Контрольная работа 1.	ОПК-1-В1;ПК-5-31;ПК-5-У1	Гетероструктуры. Структуры малой размерности. Поведение электронов в структурах с квантовыми ямами. Модель Кронига- Пенни. Сверхрешетки.
P3	Контрольная работа 2.	ОПК-1-31;ОПК-2-В1;ОПК-2-У1;ОПК-2-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-5-31;ПК-5-У1;ПК-5-В1	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.)

Экзамен не предусмотрен.

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

По дисциплине проводится аттестация. Аттестация предусмотрена в форме зачета с оценкой. Обучающийся для получения зачета должен выполнить все работы, указанные в данном разделе. Оценка формируется как среднеарифметическая из оценок за текущие контрольные, практические и самостоятельные работы.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Борисенко В. Е.	Нанoeлектроника: теория и практика: учебник	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л1.2	Шишкин Г. Г., Агеев И. М.	Нанoeлектроника: элементы, приборы, устройства: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л1.3	Ковалев А. Н., Рабинович О. И., Тимошина М. И.	Физика и технология наноструктурных гетерокомпозиций: учебник	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2015

#### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Дробот П. Н.	Нанoeлектроника: учебное пособие	Электронная библиотека	Томск: ТУСУ, 2016

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.2	Ковалев Алексей Николаевич	Гетероструктурная наноэлектроника: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2009
Л2.3	Ковалев Алексей Николаевич	Твердотельная электроника: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2010
Л2.4	Ковалев А. Н.	Транзисторы на основе полупроводниковых гетероструктур: монография	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011

### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Кузнецов Геннадий Дмитриевич, Курочка Сергей Петрович, Кушхов Аскер Русланович, др.	Процессы микро- и нанотехнологии. Ионно-плазменные процессы: лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2007

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.2	Microsoft Office
П.3	WinRAR
П.4	LMS Canvas
П.5	MS Teams
П.6	ESET NOD32 Antivirus

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

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 электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

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.

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.

Проведение аудиторных занятий предусматривает использование в учебном курсе активных и интерактивных технологий:

- проведение лекций с использованием интерактивных и мультимедийных технологий (презентация в формате MS PowerPoint);

- при проведении практических занятий допускается использование проприетарного ПО, входящего в состав технологического и исследовательского оборудования.

Образовательная деятельность по дисциплине реализуется с помощью электронной информационно-образовательной среды НИТУ «МИСиС» Canvas.

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.  
По курсу предусмотрено