

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 21.09.2023 14:31:35

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, ХИМИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ НАНОСТРУКТУР И НАНОСТРУКТУРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ.

### Физика квантоворазмерных полупроводниковых композиций

Закреплена за подразделением

Кафедра технологии материалов электроники

Направление подготовки

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Материалы и технологии магнитоэлектроники

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**3 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 1

аудиторные занятия

34

курсовая работа 1

самостоятельная работа

74

#### 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	74	74	74	74
Итого	108	108	108	108

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 - 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-23-1.plx Материалы и технологии магнитоэлектроники, утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.04.04 Электроника и наноэлектроника, Материалы и технологии магнитоэлектроники, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

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 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.03
2.1	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.2	<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	Материалы и элементы спинтроники и спинволновой электроники	
2.2.3	Мессбаэровская спектроскопия материалов магнитоэлектроники и микросистемной техники	
2.2.4	Методы исследования материалов	
2.2.5	Метрология, стандартизация и сертификация наноструктур	
2.2.6	Научно-исследовательская практика	
2.2.7	Специальные вопросы физики магнитных явлений в конденсированных средах. Часть 2	
2.2.8	Физико-химия и технология наноструктур	
2.2.9	Высоковакуумное оборудование	
2.2.10	Магнитные наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии	
2.2.11	Наноструктурированные покрытия, порошки и технологии их получения	
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	Проектирование и технология электронной компонентной базы	
2.2.17	Радиационно-технологические процессы в электронике	
2.2.18	Технологии получения материалов	
2.2.19	Физика и техника магнитной записи	
2.2.20	Электретные и магнитоэлектрические материалы и технологии их получения	
2.2.21	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.22	Преддипломная практика	

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

<b>ПК-4: Способность формулировать цели и задачи научных исследований, реализовывать их проведение в области физики магнитных явлений, материаловедения и технологии магнитных материалов в соответствии с тенденциями и перспективами развития твердотельной электроники, микро-нанoeлектроники, применения энергосберегающих технологий и использования последних достижений науки и техники</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-4-32 квантовые физические явления, определяющие работу приборов магнитоэлектроники	
ПК-4-31 тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники в сфере разработки многокомпонентных гетероструктур с контролируемыми свойствами	
<b>Уметь:</b>	
ПК-4-У3 готовить методологическое обоснование научного исследования и технической разработки в области магнитоэлектроники	
ПК-4-У2 предлагать перспективные области научных исследований в области физики, химии и нанотехнологии гетерокомпозиций для устройств магнитоэлектроники	
ПК-4-У1 прогнозировать поведение 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/	1	4	ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			Р2
1.2	Свойства базовых соединений АПВV и структур на их основе. Простейшие гетероструктуры : получение и свойства. Расчет и оптимизация параметров гетероструктур. Формирование ОПЗ в гетеропереходе. /Пр/	1	4	ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
1.3	Гетеропереход /Ср/	1	16	ПК-4-31	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/	1	4	ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			Р2

2.2	<p>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), сверхрешетки (СР). Оптическое поглощение и спонтанное рекомбинационное излучение в системах различной размерности (3D, 2D, 1D, 0D). Излучательная и безизлучательная рекомбинация. /Пр/</p>	1	4	ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-У3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
2.3	Физические основы наноэлектроники /Ср/	1	16	ПК-4-31 ПК-4-32	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	<p>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/</p>	1	4	ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			P2
3.2	Расчет энергетической диаграммы легированной СР. /Пр/	1	4	ПК-4-31 ПК-4-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
3.3	Множественные квантовые ямы и сверхрешетки /Ср/	1	16	ПК-4-31	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>	1	4	ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			Р3

4.2	Молекулярно-лучевая эпитаксия и эпитаксия из металлоорганических соединений (МОСVD). полупроводников на основе соединений АЗВ5. Сравнение двух методик. /Пр/	1	2	ПК-4-31 ПК-4-У3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
4.3	Физика эпитаксиальных процессов. Реферат. /Ср/	1	16	ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
	<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	1	ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			Р3,Р1
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 АЗВ5: Полевые транзисторы с двумерным электронным газом: на основе гетероструктуры AlGaIn /GaN с высокой подвижностью электронов в канале(НЕМТ). Эффект поляризации. Частотные, мощностные характеристики, выбор оптимальной топологии. Контрольная работа. /Пр/	1	3	ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-У3	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/	1	10	ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1			
-----	--	---	----	-----------------	--	--	--	--

**5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

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

УК-3-31 физические свойства электронных систем различной размерности, влияние понижения размерности на физические явления:  
 Критерий отличия гетероперехода от варизонного полупроводника. Примеры применения варизонной структуры.  
 Критерий отличия гомоперехода от неоднородного полупроводника.  
 Критерий отличия гомоперехода от неоднородного полупроводника.  
 Условия реализации размерного квантового эффекта в тонкой пленке.  
 Кремниевый планарный диод изготовлен методом диффузии фосфора в исходную пластину марки КДБ – 12/0,3 так, что диффузия идет по закону  $ND = ND_0 \exp(-x/l)$  и глубина залегания перехода составляет 10 мкм при концентрации фосфора в поверхностном слое  $ND_0 = 2 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ . Определить напряжение пробоя в данном p-n переходе.  
 Будет ли иметь место квантование уровней энергии в GaAs прямоугольной яме ( $m^*/m = 0,067$ ) при комнатной температуре, если ширина ямы 20 нм ?  
 Определить глубину залегания Si p-n перехода от поверхности при диффузии в полупроводниковую пластину с концентрацией доноров  $ND = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  акцепторной примеси с концентрацией на поверхности  $NA_0 = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ; характеристическая диффузионная длина примеси  $\lambda = 10\text{-}4 \text{ см}$ .  
 Сравните потенциальные барьеры в Si n-p+ гомоструктуре ( $N_1 = 5 \cdot 10^{14}$  и  $N_2 = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ) и в Si p-n переходе ( $ND = 5 \cdot 10^{14}$  и  $NA = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ )  
 Построить зонную диаграмму гетероперехода германий – арсенид галлия (pGe/nGaAs). Значения параметров полупроводниковых материалов приведены в таблице.  
 Понятие мини-зоны в сверхрешетке. Условия её возникновения. Чем регулируется её ширина и расстояние между мини-зонами?  
 Постройте энергетическую диаграмму идеального гетероперехода n Si p Ge. Определите разрывы зон  $\Delta E_c$  и  $\Delta E_v$  и контактную разность потенциалов  $\phi_0$  при концентрации доноров в Si ,равной  $ND = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , и при концентрации  $NA = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  в Ge.

ПК-1-31 технический английский язык:  
 Различия методов получения эпитаксиальных слоев MOCVD и МЛЭ?  
 Особенности модифицированных методов МЛЭ.(плазма МЛЭ и аммиак МЛЭ). Их отличие от «классической» МЛЭ.  
 Условия реализации размерного квантового эффекта в тонкой пленке.

ПК-1-32 основы физики наноразмерных пленок:  
 Условия реализации размерного квантового эффекта в тонкой пленке.  
 Различия методов получения эпитаксиальных слоев MOCVD и МЛЭ?

ПК-4-31 тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники в сфере разработки многокомпонентных гетероструктур с контролируемыми свойствами:  
 Различия методов получения эпитаксиальных слоев MOCVD и МЛЭ?  
 Что такое резонансное туннелирование в СР? Приведите примеры приборов на этом эффекте?  
 Особенности модифицированных методов МЛЭ.(плазма МЛЭ и аммиак МЛЭ). Их отличие от «классической» МЛЭ.  
 Преимущества биполярного гетеротранзистора.  
 Условия реализации размерного квантового эффекта в тонкой пленке.

ПК-4-32 квантовые физические явления, определяющие работу приборов магнитоэлектроники:  
 Условия реализации размерного квантового эффекта в тонкой пленке.  
 Определить глубину залегания Si p-n перехода от поверхности при диффузии в полупроводниковую пластину с концентрацией доноров  $ND = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  акцепторной примеси с концентрацией на поверхности  $NA_0 = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ; характеристическая диффузионная длина примеси  $\lambda = 10\text{-}4 \text{ см}$  .  
 Сравните условия и особенности размерного квантования в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, с вертикальными стенками определенной высоты, в треугольной и параболической яме.  
 Сравните неоднородный и варизонный полупроводник.  
 Рассчитать величину встроенного электрического поля в квазинейтральной области с экспоненциальным распределением примеси  $N = N_0 \exp(-x/l)$ ,  $l = 0,4 \text{ мкм}$ . Сравнить это поле с максимальным полем в обедненной области резкого p-n перехода с концентрациями примесей с разных сторон перехода  $NA = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ,  $ND = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ .  
 Сравните и покажите на рисунке три типа легированных сверхрешеток GaAs с различными параметрами структур :  
 а) компенсированный собственный тип  $2V_0 < E_g$ ,  $ND_{dn} = NA_{dp}$   
 б) n-тип  $2V_0 < E_g$ ,  $ND_{dn} > NA_{dp}$   
 в) полуметалл n-типа  $2V_0 > E_g$   
 Сравните условия и особенности размерного квантования в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками , с вертикальными стенками определенной высоты , в треугольной и параболической яме.  
 Сравните и изобразите легированную без собственных ( i ) СР и n-i-p-i СР с достаточно толстыми собственными слоями с одинаковым периодом  $d = dp + di + dn + di$ .  
 а)  $dp = dn = 40 \text{ нм}$ ,  $ND = NA = 10^{18} \text{ см}^{-3}$   
 $dp = dn = 25 \text{ нм}$ ,  $ND = NA = 10^{18} \text{ см}^{-3}$   
 б)  $dp = dn = 4 \text{ нм}$ ,  $di = 36 \text{ нм}$ ,  $ND = NA = 5,25 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$   
 Будет ли различаться  $E_g^*$  эфф. для этих двух случаев? Примеры использования сверхрешеток в приборных структурах.

Контрольные вопросы для защиты Практической работы №1 (УК-3-31; УК-3-У1; УК-3-У2; УК-3-В1; ПК-1-32; ПК-1-У1; ПК-1-У2; ПК-4-31):

Условия реализации размерного квантового эффекта в тонкой пленке.

Различия методов получения эпитаксиальных слоев МOCVD и МЛЭ?

Рассчитать толщину ОПЗ и максимального электрического поля в предположении, что падение напряжения на тонком поверхностном слое пренебрежимо мало.

Чему равна концентрация легирующей примеси Nd1 во внутренней части кристалла кремния?

Контрольные вопросы для защиты Практической работы №2 (ПК-4-У3; УК-3-31; УК-3-У1; УК-3-У2; УК-3-В1; ПК-1-32; ПК-1-У1; ПК-1-У2; ПК-4-32; ПК-4-У2; ПК-4-У1):

Определить изгиб энергетических зон, если к полупроводнику с собственной проводимостью нормально к его поверхности приложено постоянное электрическое поле  $E = 160$  В/см, настолько слабое, что  $qj < kT$ . Найти потенциал на поверхности  $j_s$  при  $n_i = 2,5 \cdot 10^{13}$  см<sup>-3</sup>,  $\epsilon = 16$ ,  $T = 300$  К.

Вычислить изгиб зон на поверхности собственного германия при комнатной температуре, если на его поверхности адсорбирована донорная примесь с плотностью  $N_s = 10^9$  см<sup>-2</sup>. Доноры полностью ионизованы,  $qj < kT$ .

Определить величину изгиба зон на поверхности кремния p-типа, если на поверхность адсорбированы доноры с плотностью  $N_s = 10^{11}$  см<sup>-2</sup>. Доноры полностью ионизованы,  $p = 10^{14}$  см<sup>-3</sup>,  $T = 300$  К,  $qj > kT$ .

Контрольные вопросы для защиты Практической работы №3 (ПК-4-У1; УК-3-У1; УК-3-31; УК-3-У2; ПК-1-32; ПК-1-У1; ПК-1-У2; ПК-4-31):

Резкий кремниевый p-n переход имеет примесные концентрации  $N_A = 1 \times 10^{15}$  см<sup>-3</sup>,  $N_D = 2 \times 10^{17}$  см<sup>-3</sup>. Определить контактную разность потенциалов, ширину слоя объемного заряда и максимальное электрическое поле для напряжений на переходе  $U=0$  и  $U=-10$  В.

Рассчитать величину встроенного электрического поля в квазинейтральной области с экспоненциальным распределением примеси  $N=N_0 \cdot \exp(-x/l)$ ,  $l=0,4$  мкм. Сравнить это поле с максимальным полем в обедненной области резкого p - n перехода с концентрациями примесей с разных сторон перехода  $N_A = 10^{18}$  см<sup>-3</sup>,  $N_D = 10^{15}$  см<sup>-3</sup>.

К образцу кремния n-типа с концентрацией  $N_d = 1,5 \times 10^{14}$  см<sup>-3</sup> сделан металлический контакт. Известно, что работа выхода для Me Фм = 4,2 эВ, электронное сродство кремния XSi = 4,05 эВ. Определить тип контакта. Изобразить энергетическую диаграмму контакта. Рассчитать глубину проникновения поля в полупроводник.

Контрольные вопросы для защиты Практической работы №4 (УК-3-У2; УК-3-В1; ПК-4-У3; ПК-1-У2; УК-3-31; УК-3-У1; ПК-1-32; ПК-1-У1; ПК-4-31):

Физика эпитаксиальных процессов.

Легирование гетероструктур.

Дефекты эпитаксиальных слоев.

Контрольные вопросы для защиты Практической работы №5 (УК-3-У1; УК-3-У2; ПК-4-У1; ПК-4-У2; ПК\_4-У3; УК-3-В1; УК-3-31; ПК-1-32; ПК-1-У1; ПК-1-У2; ПК-4-31; ПК-4-32):

Изобразить распределение плотности заряда и электрического поля в диоде Шоттки при отсутствии внешнего смещения. Чему равна концентрация легирующей примеси Nd1 во внутренней части кристалла кремния?

Темы рефератов (УК-3-31; ПК-1-32; ПК-4-31; ПК-4-32):

1. Механизмы проводимости твердых тел.
2. Типы квантовых ям. Зонная структура в квантовой яме.
3. Полупроводниковые сверхрешеточные структуры.
4. Легируемые сверхрешетки.
5. Легирование гетероструктур. Дефекты эпитаксиальных слоев.
6. Физика эпитаксиальных процессов.
7. Псевдоморфные гетероструктуры на GaAs.
8. Метаморфные гетероструктуры на GaAs, InP НЕМТ.
9. Гетероструктуры в солнечной энергетике.
10. Гетероструктурные светоизлучающие приборы.
11. Полевые гетеротранзисторы на материалах АЗН.
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.

Задачи и вопросы для контрольной работы (УК-3-31; ПК-1-32; ПК-4-31; ПК-4-32):

1. Определить изгиб энергетических зон, если к полупроводнику с собственной проводимостью нормально к его поверхности приложено постоянное электрическое поле  $E = 160$  В/см, настолько слабое, что  $qj < kT$ . Найти потенциал на поверхности  $j_s$  при  $n_i = 2,5 \cdot 10^{13}$  см<sup>-3</sup>,  $\epsilon = 16$ ,  $T = 300$  К.

2. Вычислить изгиб зон на поверхности собственного германия при комнатной температуре, если на его поверхности

- адсорбирована донорная примесь с плотностью  $N_s = 109 \text{ см}^{-2}$ . Доноры полностью ионизованы,  $q_j < kT$ .
3. Определить величину изгиба зон на поверхности кремния р-типа, если на поверхность адсорбированы доноры с плотностью  $N_s = 1011 \text{ см}^{-2}$ . Доноры полностью ионизованы,  $p = 1014 \text{ см}^{-3}$ ,  $T = 300 \text{ К}$ ,  $q_j > kT$ .
  4. Вычислить плотность заряда  $Q_s$  на поверхности германия р-типа, если  $p = 1014 \text{ см}^{-3}$ ,  $j_s = 0,25 \text{ В}$ ,  $T = 300 \text{ К}$ . Акцепторы в объеме полностью ионизованы.
  5. К образцу кремния n-типа с концентрацией  $N_d = 1,5 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$  сделан металлический контакт. Известно, что работа выхода для  $\text{Me}$   $\Phi_m = 4,2 \text{ эВ}$ , электронное сродство кремния  $X_{\text{Si}} = 4,05 \text{ эВ}$ . Определить тип контакта. Изобразить энергетическую диаграмму контакта. Рассчитать глубину проникновения поля в полупроводник.
  6. К образцу кремния р-типа сделан М-контакт, образующий барьер Шоттки, т.е. выпрямляющий контакт. Контактная разность потенциалов в нем равна  $j_k = 0,6 \text{ В}$ . Работа выхода для  $\text{M}$  равна  $\Phi_m = 4,2 \text{ эВ}$ . Рассчитать глубину проникновения электрического поля в полупроводник.
  7. Рассчитать емкость при нулевом смещении и при  $300 \text{ К}$  для барьера Шоттки между платиной с работой выхода  $\Phi_m = 5,3 \text{ эВ}$  и кремнием с концентрацией  $N_d = 1016 \text{ см}^{-3}$ . Площадь диода равна  $10^{-5} \text{ см}^2$ .
  8. К образцу кремния n-типа сделан золотой контакт, образующий барьер Шоттки. В кремнии под золотым контактом имеется поверхностный слой толщиной  $20 \text{ нм}$ , легированный до концентрации  $N_{d0} = 5 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$ . Под этим слоем кремний имеет концентрацию  $N_{d1} > N_{d0}$ . Контактная разность потенциалов  $j_k = 0,5 \text{ В}$ . Работа выхода для золота  $\Phi_m = 4,75 \text{ эВ}$ .  
Чему равна концентрация легирующей примеси  $N_{d1}$  во внутренней части кристалла кремния?  
Изобразить распределение плотности заряда и электрического поля в диоде Шоттки при отсутствии внешнего смещения. Рассчитать толщину ОПЗ и максимального электрического поля в предположении, что падение напряжения на тонком поверхностном слое пренебрежимо мало.  
При какой концентрации  $N_{d1}$  в отсутствии слаболегированного приповерхностного n-слоя барьер шоттки превращается в невыпрямляющий контакт? Считать толщину барьера в  $10 \text{ нм}$  критической для начала эффективного туннельного просачивания. Нарисовать энергетическую диаграмму барьера, соответствующую началу туннельного пробоя.
  9. Рассмотреть барьер Шоттки на кремнии, имеющем постоянную концентрацию доноров  $N_d$ . Работа выхода из металла  $\Phi_m = 4,7 \text{ эВ}$ . Такой барьер будет пропускать большие токи при обратном смещении вследствие туннелирования из металла, если барьер для электронов имеет малую толщину. Предполагается, что эффект туннелирования становится достаточно большим при длине туннелирования  $10 \text{ нм}$ . Чему равно значение  $N_d$ , если это условие достигается при полном обратном смещении на переходе  $5 \text{ В}$ ? Нарисовать энергетическую диаграмму контакта при  $U = 0$  в условиях, когда происходит заметное туннелирование.
  10. Рассмотреть зонную диаграмму МДП-структуры  $\text{Al}$ , работа выхода  $\Phi_m = 4,1 \text{ эВ}$  – двуокись кремния (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_l = 3,8$ , сродство к электрону  $X_l = 0,95 \text{ эВ}$ , ширина запрещенной зоны  $E_g = 8 \text{ эВ}$ ) – кремний р-типа с концентрацией  $p = N_A = 1,1 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$  ( $X_{\text{Si}} = 4,05 \text{ эВ}$ ). Границы раздела между материалами и диэлектрик не содержат зарядов. Падение напряжения на окисле составляет  $0,4 \text{ В}$ . Построить распределение поля, потенциала, зонную диаграмму, определить толщину слоя двуокиси кремния в МДП-структуре.
  11. Определить Емакс в резком кремниевом р - n переходе с  $N_A = N_D = 10^{15} \text{ см}^{-3}$  в отсутствие внешнего смещения.
  12. Найти Емакс в резком германиевом р - n переходе, если  $N_A = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_D = 10^{17} \text{ см}^{-3}$  при  $U = 0$  и  $U = -10 \text{ В}$ .
  13. Найти величину напряжения смыкания базы кремниевого диода из материала  $N_A = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_D = 10^{18} \text{ см}^{-3}$  если толщина базовой области  $10 \text{ мкм}$  и р - n переход резкий. Найти пробивное напряжение такого диода, если  $E_{\text{крит}} = 5 \times 10^5 \text{ В/см}$ .
  14. Найти значение зарядной емкости, приходящейся на  $10^{-2} \text{ см}^2$  резкого симметричного кремниевого р - n перехода с  $N_A = N_D = 10^{15} \text{ см}^{-3}$  при  $U = 0,3 \text{ В}$ ,  $U = -50 \text{ В}$ .
  15. Найти барьерную емкость сплавного германиевого диода площадью  $1 \text{ мм}^2$ , на который подано обратное смещение  $5 \text{ В}$ , если удельное сопротивление базовой области n - типа  $r_n = 3,5 \text{ Ом} \times \text{см}$ , а контактная разность потенциалов имеет значение  $j_k = 0,35 \text{ В}$ .
  16. Германиевый диод с резким несимметричным р - n переходом площадью  $S = 10^{-2} \text{ см}^2$  имеет величину зарядной емкости в отсутствие смещения  $C_0 = 1000 \text{ пФ}$ ,  $j_k = 0,25 \text{ В}$  при  $300 \text{ К}$ . Определить концентрацию носителей заряда в слаболегированной области.
  17. Рассчитать соотношение диффузионных дырочного и электронного токов в кремниевом р - n переходе при  $300 \text{ К}$ , если  $N_A = 2 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_D = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ,  $\tau_p = 10^{-5} \text{ с}$ ,  $\tau_n = 10^{-6} \text{ с}$ .
  18. Определить значение диффузионной емкости при  $I = 50 \text{ мкА}$ ,  $I_s = 5 \text{ мкА}$ , если  $L = 3,15 \times 10^{-2} \text{ см}$ ,  $D = 20 \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$ .
  19. Диод соединен последовательно с резистором и источником постоянного смещения  $E = 0,2 \text{ В}$  так, что на диод падает прямое смещение. Определить сопротивление резистора, если падение напряжения на нем  $0,1 \text{ В}$ , ток насыщения диода  $I_s = 2 \text{ мкА}$ ,  $T = 300 \text{ К}$ .
  20. Определить дифференциальное сопротивление диода, включенного последовательно с источником питания  $E = 10 \text{ В}$  и сопротивлением  $R_H = 1 \text{ кОм}$  так, что подано прямое смещение. Значением обратного тока диода пренебречь.  $T = 300 \text{ К}$ .
  21. Резкий кремниевый р-n переход имеет примесные концентрации  $N_A = 1 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_D = 2 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Определить контактную разность потенциалов, ширину слоя объемного заряда и максимальное электрическое поле для напряжений на переходе  $U = 0$  и  $U = -10 \text{ В}$ .
  22. Рассчитать величину встроенного электрического поля в квазинейтральной области с экспоненциальным распределением примеси  $N = N_0 \times \exp(-x/l)$ ,  $l = 0,4 \text{ мкм}$ . Сравнить это поле с максимальным полем в обедненной области резкого р - n перехода с концентрациями примесей с разных сторон перехода  $N_A = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_D = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ .
  23. Распределения примесей в образце кремния имеют вид  $N_A = N_{A0} \times \exp(-x/l_a)$ ,  $N_D = N_{D0} \times \exp(-x/l_d)$ . Какой должна быть поверхностная концентрация  $N_{D0}$ , если требуемая глубина залегания перехода равна  $x_0 = 1 \text{ мкм}$ ? Каков градиент концентрации  $a$  (в приближении линейного распределения примеси)? Принять  $N_{A0} = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ,  $l_a = 10^{-4} \text{ см}$ ,  $l_d = 2 \times 10^{-4} \text{ см}$ ,

$j_k = 0,7$  В. Определить максимальное поле в равновесии.

24. Кремниевый p - n переход образован диффузией акцепторной примеси в полупроводник n - типа. Концентрацию диффундирующей примеси можно приближенно считать уменьшающейся в глубину по закону  $N_A = N_{A0} \exp(-x/l)$ , где  $N_{A0}$  - концентрация примеси на поверхности кристалла.

а) Какой должна быть концентрация примеси  $N_D$  в исходном образце до диффузионного внедрения акцепторной примеси, если требуемая глубина залегания p - n перехода равна  $x_0 = 1$  мкм? Принять  $N_{A0} = 10^{18}$  см<sup>-3</sup>,  $l = 10^{-4}$  см,  $j_k = 0,7$  В.

б) В рамках приближения полного обеднения изобразить

область пространственного заряда в таком переходе. Аппроксимировать этот заряд выражением для перехода с линейным распределением примеси, взяв соответствующее значение градиента примесной концентрации  $a$ . Определить толщину ОПЗ и построить распределение встроенного поля и потенциала в таком переходе.

в) Оценить, во сколько раз удельная барьерная емкость такого линейного перехода отличается от удельной барьерной емкости резкого p - n перехода с концентрациями  $N_A$  и  $N_D$  совпадающими с таковыми в линейном p - n переходе.

Объяснить причину такого различия.

г) У какого из сравниваемых p - n переходов будет меньше время восстановления обратного сопротивления и почему?

25. Кремниевый планарный диод изготовлен методом диффузии фосфора в исходную пластину марки КДБ - 12/0,3 так, что диффузия пошла по закону  $N_D = N_{D0} \exp(-x/l)$  и глубина залегания перехода составляет 10 мкм при концентрации фосфора в поверхностном слое  $N_{D0} = 2 \times 10^{19}$  см<sup>-3</sup>. Определить напряжение пробоя в данном p - n переходе.

26. В планарном переходе, изготовленном из кремния с удельным сопротивлением n - области 4 Ом×см, временем жизни дырок 2 мкс, удельным сопротивлением p - области 0,2 Ом×см и временем жизни электронов 10 мкс, найти отношение дырочного тока к электронному и плотность тока через переход при прямом смещении 0,3 В.

27. Имеется германиевая p-i-n структура: концентрация примеси в p - области  $N_A = 10^{16}$  см<sup>-3</sup>, в n-области  $N_D = 10^{17}$  см<sup>-3</sup>, i - область собственной концентрации имеет толщину 5 мкм.

а) В рамках приближения полного обеднения построить распределение пространственного заряда, поля, потенциала и энергетическую диаграмму для p-i-n перехода. Определить толщины обедненных областей  $d_p$  и  $d_n$ .

б) Сравнить максимальные поля  $E_{\max}$  в p-i-n и p-n переходах, имеющих одни и те же примесные концентрации в p- и n-областях.

в) Сравнить ВАХ двух упомянутых переходов.

г) Рассмотреть зависимость барьерной емкости от напряжения C-2 (U) для данной p-i-n структуры и сравнить ее (графически) с зависимостью емкости от напряжения для p-n перехода с теми же p- и n- областями.

д) Определить величину  $U_{\text{проб}}$  p-i-n структуры, если максимальное поле, соответствующее  $U_{\text{проб}}$ ,  $E_{\text{кр}} = 4 \times 10^5$  В/см.

28. Изобразить распределение примесей, плотности заряда в резкой кремниевой структуре Рида  $p^+ - n - n^+ - p^+$  со следующими параметрами  $p^+ = n^+ = 10^{20}$  см<sup>-3</sup>,  $n = 5 \times 10^{16}$  см<sup>-3</sup>,  $n = 10^{13}$  см<sup>-3</sup>,  $x_p = 0,5$  мкм,  $x_n = 2,5$  мкм. Рассчитать и построить распределение поля при  $U = 0$  и  $U = -20$  В.

Проанализировать ВАХ и зависимость емкости от напряжения. Указать возможные применения данной структуры.

29. Сравнить между собой токи двух p-n переходов с одинаковыми параметрами n областей, но изготовленных из материалов с разной шириной запрещенной зоны:  $eg_1 = 0,4$  эВ и  $eg_2 = 0,6$  эВ.

Найти значение прямого тока второго p-n перехода  $J_2$ , если при том же смещении ток первого p-n перехода равен 10 мА.

30. Определить величину электрического поля, при котором происходит пробой кремниевого несимметричного  $p^+ - n$  перехода, с концентрацией доноров в базовой области равной  $3 \times 10^{16}$  см<sup>-3</sup>.

31. Определить и сравнить между собой диффузионную и генерационную составляющие обратных токов для кремниевого несимметричного  $p^+ - n$  перехода. Удельное сопротивление n-области 5 Ом×см, диффузионная длина дырок 150 мкм, площадь перехода 0,001 см<sup>2</sup>, ширина области пространственного заряда 0,5 мкм.

32. Сравнить плотности токов двух диодов с резкими p-n переходами из германия и кремния с одинаковыми концентрациями p- и n- областей  $N_A = 10^{17}$  см<sup>-3</sup>,  $N_D = 10^{15}$  см<sup>-3</sup> при  $U = -10$  В и  $U = 0,2$  В. Эффективное время жизни везде  $\tau_{\text{эф}} = 10^{-6}$  с.

33. В кремниевом p-n-p транзисторе толщина менее легированной базы в отсутствие смещений на Э- и К- переходах равна 20 мкм, удельное сопротивление базы  $\rho_b = 2$  Ом×см. Рассчитать эмиттерный ток при условии, что площадь Э-перехода равна  $2 \times 10^{-3}$  см<sup>2</sup>, напряжения, приложенные к Э- и К- переходам, равны  $U_{\text{Э}} = 0,4$  В и  $U_{\text{К}} = -8$  В,  $j_k = 0,7$  В для обоих переходов. Подвижность электронов принять  $m_n = 1300$  см<sup>2</sup>×В<sup>-1</sup>×с<sup>-1</sup>, дырок  $m_p = 450$  см<sup>2</sup>×В<sup>-1</sup>×с<sup>-1</sup>.

34. В германиевом сплавленном p-n-p транзисторе удельное сопротивление базовой области 1,8 Ом×см, толщина базы 5 мкм, удельное сопротивление эмиттерной области  $5 \times 10^{-3}$  Ом×см и толщина эмиттера  $5 \times 10^{-4}$  см, время жизни дырок в базе 2 мкс. Определить коэффициент передачи по току указанного транзистора, включенного по схеме с ОЭ. Определить предельные частоты транзистора для схем с ОБ и ОЭ.

35. Определить проводимость инверсионного p - канала в МДП -транзисторе, изготовленном из кремния с концентрацией  $n = 10^{16}$  см<sup>-3</sup>,  $T = 300$  К. Подвижность носителей заряда в канале  $m_p = 470$  см<sup>2</sup>×В<sup>-1</sup>×с<sup>-1</sup>. Отношение ширины к длине канала  $Z/L = 5$ . Определить критическую частоту МДП - транзистора, если известно, что в данном МДП - транзисторе площадь подзатворного диэлектрика  $10^{-4}$  см<sup>2</sup>, толщина диэлектрика  $\text{SiO}_2$   $d = 500$  А,  $\epsilon_i = 4$ , емкости  $C_{\text{зи}} = C_{\text{си}} = C_{\text{зс}} = 1/3 C_i$ , сопротивление канала  $r_k$  является результатом параллельного соединения сопротивлений  $r_{\text{зс}}$ ,  $r_{\text{си}}$ ,  $r_{\text{зи}}$ ,  $r_{\text{зс}} = 200$  кОм,  $r_{\text{си}} = 125$  кОм

<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.	ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-У3	<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 сверхрешёточные 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 АЗН.</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.	ПК-4-31;ПК-4-32	Гетероструктуры. Структуры малой размерности. Поведение электронов в структурах с квантовыми ямами. Модель Кронига-Пенни. Сверхрешетки.
P3	Контрольная работа 2.	ПК-4-У3;ПК-4-У2;ПК-4-У1;ПК-4-32;ПК-4-31	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

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
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: ТУСУП, 2016
Л2.2	Ковалев А. Н.	Гетероструктурная нанoeлектроника: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2009
Л2.3	Ковалев А. Н.	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 Г. Д., Курочка С. П., Кушхов А. Р., 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