

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 09.07.2023 20:53:25

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)

Наноэлектроника полупроводниковых приборов и устройств

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144

в том числе:

аудиторные занятия 51

самостоятельная работа 93

Формы контроля в семестрах:
зачет с оценкой 7

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	7 (4.1)		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	93	93	93	93
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

ктн, доцент, Орлова Марина Николаевна

Рабочая программа

Нанoeлектроника полупроводниковых приборов и устройств

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 02.04.2015 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра ШЭ и ФШ

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Диденко Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Целью освоения дисциплины является формирование у студентов компетенций в соответствии с учебным планом в области электроники и нанoeлектроники, применительно к изучению физических, экспериментальных и технологических основ нанoeлектроники, перспектив ее развития на основе фундаментальных физических закономерностей и явлений, а также фундаментальных квантовых ограничений, таких как интерференционные эффекты, процессы туннелирования
-----	---

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.06
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.2	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.3	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.4	Технология материалов электронной техники	
2.1.5	Физика диэлектриков	
2.1.6	Физика конденсированного состояния	
2.1.7	Безопасность жизнедеятельности	
2.1.8	Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике	
2.1.9	Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике	
2.1.10	Статистическая физика	
2.1.11	Физические свойства кристаллов	
2.1.12	Электроника	
2.1.13	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.14	Методы математической физики	
2.1.15	Практическая кристаллография	
2.1.16	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений	
2.1.17	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений	
2.1.18	Физика	
2.1.19	Физическая химия	
2.1.20	Электротехника	
2.1.21	Математика	
2.1.22	Органическая химия	
2.1.23	Информатика	
2.1.24	Химия	
2.1.25	Инженерная и компьютерная графика	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Вакуумная и плазменная электроника	
2.2.2	Квантоворазмерные структуры в нанoeлектронике	
2.2.3	Магнитные измерения	
2.2.4	Математические модели технологических процессов получения магнитоэлектроники и радиокерамики	
2.2.5	Моделирование технологических процессов получения материалов электронной техники	
2.2.6	Нормы и правила оформления ВКР	
2.2.7	Оборудование производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.2.8	Основы радиационной стойкости изделий электронной техники	
2.2.9	Основы технологии электронной компонентной базы	
2.2.10	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.11	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.12	Приборы квантовой и оптической электроники	
2.2.13	Процессы вакуумной и плазменной электроники	
2.2.14	Светоизлучающие полупроводниковые приборы	
2.2.15	Технология производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.2.16	Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом	
2.2.17	Элементы и устройства магнитоэлектроники	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-5: Способность разрабатывать технические описания на отдельные блоки изделий электронной техники
Знать:
ПК-5-31 принципы функционирования и характеристики наноэлектронных устройств на базе квантово-размерных структур
ПК-5-32 электронную компонентную базу производства изделий микро- и наноэлектроники
УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения
Знать:
УК-2-31 современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники
ПК-5: Способность разрабатывать технические описания на отдельные блоки изделий электронной техники
Уметь:
ПК-5-У1 разрабатывать технические описания на отдельные блоки изделий микро- и наноэлектроники
УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения
Уметь:
УК-2-У1 применять законы функционирования наноэлектронных устройств
ПК-5: Способность разрабатывать технические описания на отдельные блоки изделий электронной техники
Владеть:
ПК-5-В1 методами оценки ожидаемых результатов при внедрении конструктивных решений в наноэлектронные приборы и системы
ОПК-4: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности, проектировать и разрабатывать продукцию, процессы и системы, соответствующие профилю подготовки, разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения
Владеть:
ОПК-4-В1 навыками использования стандартных программных средств компьютерного моделирования

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
	Раздел 1. Физические основы наноэлектроники							
1.1	Классификация низкоразмерных объектов. Квантово размерные эффекты /Лек/	7	2	УК-2-31 ПК-5-31	Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1Л2.2 Л2.3 Л2.7 Э1 Э2 Э4 Э10			
1.2	Зависимость свойств от размеров и размерности в наноразмерных структурах /Лек/	7	2	УК-2-У1 ПК-5-31 ПК-5-32	Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.3 Э1 Э4			
1.3	Физические свойства наноструктур и наноструктурированных материалов /Пр/	7	4	УК-2-У1 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1 Л1.1Л2.3	Решение типовых задач		
1.4	Элементы зонной теории и транспортные явления в наноразмерных структурах /Лек/	7	2	УК-2-У1 ПК-5-32	Л1.1 Л1.3 Л1.1 Л1.1 Л1.4Л2.7 Э6 Э7			

1.5	Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры. Нанодиоды и нанотранзисторы с резонансным туннелированием /Пр/	7	4	УК-2-31 ПК-5-31 ПК-5-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1 Л1.4Л2.3 Э1 Э10			
1.6	Принцип самоорганизации в технологии нанoeлектроники и его значение для формирования электронных устройств /Лек/	7	2	ПК-5-31 ПК-5-32 ПК-5-У1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1 Л1.1 Л1.4Л2.3			
1.7	Проработка учебно-методического материала для подготовки к практическим занятиям /Ср/	7	8	УК-2-31 ПК-5-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1 Л1.1 Л1.4Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э6 Э7 Э8 Э9			
1.8	Структуры с квантовым ограничением. Структуры металл/диэлектрик/полупроводник /Ср/	7	8	ПК-5-31 ПК-5-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1 Л1.4Л2.2 Л2.3 Э4			
1.9	Тест. Физические основы нанoeлектроники, основные понятия, термины и определения /Ср/	7	2	УК-2-31 ПК-5-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1Л2.3 Л2.7 Э1 Э2 Э3 Э4 Э6 Э7 Э8 Э9	Проводиться на базе платформы LMS Canvas Курс "Нанoeлектроника"		
	Раздел 2. Основные элементы приборов нанoeлектроники и технологические основы нанoeлектроники							
2.1	Выбор перспективных типов компонентов и технических решений для проектирования приборов нанoeлектроники /Лек/	7	2	УК-2-31 ПК-5-В1	Л1.3 Л1.1 Л1.4Л1.1 Л1.1			
2.2	Изготовление и свойства квантовых ям, нитей, точек /Лек/	7	2	УК-2-31 УК-2-У1 ПК-5-31 ПК-5-32 ПК-5-В1	Л1.3 Л1.1 Л1.4Л2.2 Э8 Э9 Э10			
2.3	Элементы и приборы нанoeлектроники /Лек/	7	2	УК-2-31 ПК-5-32 ПК-5-У1	Л1.3 Л1.1 Л1.4Л2.2 Э8 Э9 Э10			
2.4	Технологии создания твердотельных наноструктур /Лек/	7	2	УК-2-31 ПК-5-31 ПК-5-32 ПК-5-В1	Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1Л2.2 Э8 Э9 Э10			
2.5	Групповой метод изготовления электронных приборов /Лек/	7	2	УК-2-31 ПК-5-В1	Л1.1 Л1.3 Л1.1 Л1.1Л2.2 Э8 Э9 Э10			
2.6	Методы формирования нанoeлектронных структур. Нанолитография /Лек/	7	2	ПК-5-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.2 Л1.1 Э6 Э8			

2.7	Формирование и свойства наноструктурированных материалов /Пр/	7	2	УК-2-31 ПК-5-32 ПК-5-У1	Л1.1 Л1.3 Л1.1 Л1.4Л2.2 Э6 Э7 Э8 Э9 Э10	Решение типовых задач		
2.8	Домашняя работа. Построение зонной диаграммы гетероперехода для симметричной двухбарьерной структуры /Ср/	7	15	ОПК-4-В1 ПК-5-32 ПК-5-В1	Л1.3 Л1.1 Л1.1Л2.2 Э8 Э9 Э10	Методические указания по выполнению домашних работ, на кафедре, бумажный и электронный носитель.		
2.9	Проработка учебно-методического материала для подготовки к практическим занятиям /Ср/	7	8	ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1 Л1.3 Л1.1 Л1.4Л2.2 Э1 Э4 Э5 Э6 Э7 Э8 Э9 Э10		КМ7	
2.10	Перспективы разработок нанoeлектронных систем /Ср/	7	8	УК-2-31 ПК-5-32 ПК-5-У1	Л1.3 Л1.1 Л1.1 Э1			
2.11	Перспективы развития микропроцессорной техники на базе нанoeлектроники /Ср/	7	8	УК-2-31 УК-2-У1 ПК-5-В1	Л1.3 Л1.1 Л1.1 Э1			
	Раздел 3. Нанoeлектронные приборы на основе квантово-размерных структур							
3.1	Одноэлектронные приборы /Лек/	7	4	ПК-5-31 ПК-5-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.3 Э10			
3.2	Резонансно-туннельные приборы /Лек/	7	2	ПК-5-31 ПК-5-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1Л2.3			
3.3	Полупроводниковые фотоприборы /Лек/	7	2	ПК-5-31 ПК-5-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1Л2.3			
3.4	Работа инверторов на одноэлектронных транзисторах в логических интегральных схемах /Пр/	7	3	ПК-5-У1 ПК-5-В1	Л1.3 Л1.1 Л1.1	Решение типовых задач		
3.5	Контрольная работа №1 /Ср/	7	2	ПК-5-32	Л1.3 Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л1.1 Л2.7			
3.6	Проработка учебно-методического материала для подготовки к практическим занятиям. Подготовка к контрольной работе /Ср/	7	8	УК-2-31 ПК-5-32	Л1.3 Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.7		КМ6	Р1
3.7	Состояние и перспективы разработок МЭМС и НЭМС /Ср/	7	8	УК-2-31	Л1.3 Л1.1 Л1.1			

	Раздел 4. Полупроводниковые гомо- и гетероструктуры и приборы на их основе							
4.1	Нанoeлектронные приборы. Нанoeлектронные фотоприемники /Лек/	7	2	ПК-5-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1 Л1.4Л2.3			
4.2	Нанотранзисторные структуры на основе традиционных материалов /Лек/	7	2	УК-2-31 ПК-5- 32	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1 Л1.4Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4			
4.3	Физические явления в гетероструктурах и приборные применения гетероструктур нанoeлектронике /Лек/	7	2	УК-2-31 ПК-5- 31 ПК-5-32	Л1.3 Л1.1 Л1.1 Л1.4Л2.3 Э4			
4.4	Методика построения гетероструктур. Четыре гетероструктуры с квантовыми ямами применяемые в нанoeлектронике /Пр/	7	2	УК-2-У1 ОПК -4-В1 ПК-5-У1 ПК-5-В1	Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1 Э1 Э4	Решение типовых задач		
4.5	Методика построения вольтамперных характеристик низкоразмерных структур /Пр/	7	2	УК-2-У1 ОПК -4-В1 ПК-5-В1	Л1.3 Л1.1 Л1.1 Э4	Решение типовых задач		
4.6	Контрольная работа №2 /Ср/	7	2	ПК-5-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1Л2.3 Э4			
4.7	Проработка учебно- методического материала для подготовки к практическим занятиям. Подготовка к контрольной работе /Ср/	7	8	ПК-5-31 ПК-5- 32	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.1 Л1.1 Л1.4Л2.3 Э1 Э4 Э5 Э6 Э10		КМ5	Р2
4.8	Нанотранзисторные структуры на новых материалах /Ср/	7	8	УК-2-31 ПК-5- 31	Л1.2 Л1.3 Л1.4			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
-----------	----------------------------	--	------------------------

КМ1	Домашняя работа. Построение зонной диаграммы гетероперехода для симметричной двухбарьерной структуры	ПК-5-В1;ПК-5-32;УК-2-31;УК-2-У1;ОПК-4-В1	Вопросы для самостоятельной подготовки к выполнению домашней работы 1. Какие переменные входят в качестве аргументов в волновую функцию электрона, находящегося в потенциальной яме? 2. Перечислите квантовые числа, определяющие состояние электрона в атоме, и укажите их физический смысл. 3. Как математически определяется возможность одновременного измерения параметров квантового объекта с произвольной точностью? 4. Как образуются наноразмерные объекты с пониженной размерностью? 5. Поясните причину возникновения дискретных уровней энергии электрона в квантовой яме, исходя из представления о волновой природе электрона. 6. Качественно изобразите волновую функцию электрона при туннельном переходе через потенциальный барьер. 7. В чем состоит физическая причина образования энергетических в полупроводниках? 8. Опишите процесс кулоновской блокады. 9. В чем состоит эффект гигантского магнетосопротивления? 10. Какова возможная структура, в которой наблюдается эффект гигантского магнетосопротивления?
-----	---	--	---

КМ2	Тест. Физические основы нанoeлектроники, основные понятия, термины и определения	УК-2-31;УК-2-У1;ПК-5-31;ПК-5-32	<p>Примерный вариант задания на тестовую работу</p> <p>1. Квантово-размерная структура на поверхности интегральной микросхемы.</p> <p>а) слой металлизации гибридной микросхемы, выполненной по тонко-пленочной технологии.</p> <p>б) поверхность полупроводниковой структуры покрытая металлическим электродом, создающим с полупроводником контакт Шоттки и имеющим узкую щель.</p> <p>в) пленочная структура размер по одному из направления измерений равен или менее 100 мкм</p> <p>2. Диоды в планарно-эпитаксиальных интегральных схемах формируются на базе технологии создания:</p> <p>а) конденсаторов.</p> <p>б) резисторов.</p> <p>в) транзисторов.</p> <p>г) р-п структур.</p> <p>3. Для нанобъектов характерно то, что...</p> <p>а) гравитационное взаимодействие пренебрежимо мало по сравнению с электромагнитным.</p> <p>б) гравитационное взаимодействие преобладает по сравнению с электромагнитным.</p> <p>в) гравитационное взаимодействие пренебрежимо мало, а электромагнитное отсутствует.</p> <p>4. Какие структуры биполярных ИС используются в качестве конденсаторных?</p> <p>а) несмещенные р-п-переходы.</p> <p>б) прямо-смещенные р-п-переходы.</p> <p>в) обратно-смещенные р-п-переходы.</p> <p>5. Под нанoeлектроникой подразумеваются:</p> <p>а) продукт эволюционного развития микро-электронной транзисторной (главным образом, КМОП) технологии на основе кремния в сторону дальнейшей миниатюризации и увеличения степени интеграции.</p> <p>б) приборы, основанные на принципах, материалах и конфигурациях, отличных от стандартных КМОП технологий.</p> <p>в) транзисторы как элементы цифровых схем с размерами 45-90 нм относятся к разряду наноразмерных объектов.</p> <p>6. Квантовая яма - это...</p> <p>а) канавка травления в приповерхностном слое полупроводника после масочного плазмохимического травления, наблюдаемая только средствами сканирующего туннельного микроскопа.</p>
-----	--	---------------------------------	--

		<p>б) одномерная потенциальная яма для квантовой частицы, размеры которой соизмеримы с длиной волны де-Бройля квантовой частицы.</p> <p>в). одномерная потенциальная яма для квантовой частицы, размеры которой много меньше длины волны де-Бройля квантовой частицы.</p> <p>г) протяженный структурный дефект в объеме полупроводника, размеры которого кратны длине волны де-Бройля квантовой частицы.</p> <p>7. Для нанобъектов характерно то, что...</p> <p>а) гравитационное взаимодействие пренебрежимо мало по сравнению с электромагнитным.</p> <p>б) гравитационное взаимодействие преобладает по сравнению с электромагнитным.</p> <p>в) гравитационное взаимодействие пренебрежимо мало, а электромагнитное отсутствует.</p> <p>8. Какие из перечисленных объектов можно отнести к нанобъектам:</p> <p>а) квантовая точка на поверхности полупроводникового материала.</p> <p>б) слой металлизации микросхемы малой степени интеграции.</p> <p>в) канал МОП-структуры, выполненной по проектной норме 75 нм.</p> <p>г) последовательность периодически расположенным "карманов" для целей изоляции интегральных элементов микросхемы, выполненной по проектной норме 100 нм.</p> <p>9. Одна из особенностей элементов ИС по сравнению с дискретными приборами состоит в том, что они:</p> <p>а) имеют электрическую связь с общей подложкой.</p> <p>б) не имеют электрическую связь с общей подложкой.</p> <p>в) располагаются, изолировано друг от друга и от подложки</p> <p>10. Для нанобъектов характерно то, что...</p> <p>а. гравитационное взаимодействие пренебрежимо мало по сравнению с электро-магнитным.</p> <p>б. гравитационное взаимодействие преобладает по сравнению с электромагнитным.</p> <p>в. гравитационное взаимодействие пренебрежимо мало, а электромагнитное отсутствует.</p>
--	--	---

КМЗ	Контрольная работа 1	УК-2-У1;ПК-5-31;ПК-5-В1	<ol style="list-style-type: none">1. Что такое резонансное туннелирование и как оно реализуется в РТД?2. Какова структура и каковы особенности физических процессов в РТТ?3. Что такое баллистический транзистор и каковы его особенности?4. Каков принцип действия ТГЭ РТ?5. Каковы особенности ПТ с резонансным туннелированием?6. Что такое вертикальный резонансотуннельный полевой транзистор и как объясняется его ВАХ?7. Каков механизм одноэлектронного туннелирования?8. Что такое кулоновская блокада и каков ее механизм?9. Каковы свойства двухбарьерных одноэлектронных структур?10. Какова структура и каков принцип функционирования одноэлектронного транзистора?11. Объяснить эквивалентные схемы истоковой и стоковой областей.12. Какие физические явления объясняют ВАХ одноэлектронного транзистора?13. Каковы устройство и принцип работы кремниевого одноэлектронного транзистора с двумя затворами на одиночной КТ?14. Объяснить ВАХ кремниевого одноэлектронного транзистора с двумя затворами.15. Объяснить работу инверторов на одноэлектронных транзисторах в логических интегральных схемах.16. Каковы физические принципы спинтроники?17. Каковы достоинства спинтронных приборов?18. Объясните принципы функционирования спинового транзистора.19. Объясните устройство и принципы работы спинвентильных транзисторов.20. Объяснить ВАХ РТТ.
-----	----------------------	-------------------------	--

КМ4	Контрольная работа 2	УК-2-31;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-В1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Каковы особенности магнитного туннельного транзистора? 2. Рассказать об особенностях и функционировании спиновых полевых транзисторов. 3. Дать классификацию оптоэлектронных приборов и их краткую характеристику. 4. Каковы преимущества использования световых волн по сравнению с радиоволнами? 5. Охарактеризовать основные типы поглощения света полупроводниками. 6. Дать общую характеристику фотоприемников. 7. Рассмотреть фотовольтаический эффект и р—п фотодиоды: ВАХ, параметры. 8. Лавинные р—і—п фотодиоды: устройство, параметры, характеристики. 9. Каковы фотоэлектрические свойства структур с квантовыми ямами? 10. Каковы условия получения минимальных значений $R_{пор}$? 11. Объяснить физические свойства и характеристики многослойных структур с квантовыми точками. 12. Каковы свойства наноприемников на основе структур германия с кремнием? 13. Каковы параметры и характеристики нанопоттранзисторов и на нопотдиодов? 14. Параметрами определяется электрическая проводимость нанонитей при баллистическом движении электронов. 15. Какие физические явления объясняют ВАХ одноэлектронного транзистора? 16. Каковы устройство и принцип работы кремниевого одноэлектронного транзистора с двумя затворами на одиночной КТ? 17. Физические свойства и характеристики многослойных структур с квантовыми точками. 18. Особенности ВАХ и ВФХ изотипных и анизотипных гетеропереходов? 19. Физические процессы в БТ, коэффициенты передачи тока в различных схемах включения. 20. Почему необходимо учитывать при анализе работы туннельных диодов квантоворазмерные эффекты?
-----	----------------------	---------------------------------	--

КМ5	Вопросы для самостоятельной подготовки к практическим занятиям. Полупроводниковые гомо- и гетероструктуры и приборы на их основе	УК-2-31;УК-2-У1;ПК-5-У1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Принцип самоорганизации в технологии нанoeлектроники и его значение для формирования электронных устройств. 2. Физические явления в гетероструктурах и приборные применения гетероструктур нанoeлектронике 3. Специфические свойства наночастиц, определяющие их использование в нанoeлектронике. 4. Нанотранзисторные структуры на основе традиционных материалов. 5. Модель мелкой квантовой ямы. 6. Модель глубокой (широкой) квантовой ямы. 7. Особенности модификации электронной (зонной) структуры упруго растянутой полупроводниковой гетероструктуры. 8. Особенности модификации электронной (зонной) структуры упруго сжатой полупроводниковой гетероструктуры. 9. Влияние химического состава полупроводниковой гетероструктуры на ширину запрещенной зоны. 10. Особенности полупроводниковых гетероструктур и их применение в нанoeлектронике.
КМ6	Вопросы для самостоятельной подготовки к практическим занятиям. Нанoeлектронные приборы на основе квантово-размерных структур	УК-2-31;ПК-5-31;ПК-5-32	<ol style="list-style-type: none"> 1. Приборы на одноэлектронном туннелировании. 2. Приборы на резонансном туннелировании. 3. Нанотранзисторные структуры на основе традиционных материалов. 4. Основные характеристики двумерных полупроводниковых наноструктур. 5. Одноэлектронные транзисторы. 6. Принцип действия нанодиода с резонансным туннелированием. 7. Нанотрубки как квантово-размерные структуры. Области их применения в нанoeлектронике. 8. Нанодиоды и нанотранзисторы с резонансным туннелированием. 9. Свойства двухбарьерных одноэлектронных структур. 10. Кулоновская блокада и каков ее механизм в квантово-размерных структурах.

КМ7	Вопросы для самостоятельной подготовки к практическим занятиям. Основные элементы приборов нанoeлектроники и технологические основы нанoeлектроники	УК-2-31;УК-2-У1;ПК-5-32	<ol style="list-style-type: none"> 1. Конструкции и принцип действия транзисторов на основе традиционных материалах. 2. Нанoeлектронные конденсаторы, принцип работы и применение в электронике. 3. Системы на кристалле, особенности реализации и перспективы применения. 4. Выбор перспективных типов компонентов и технических решений с помощью ЭВМ. 5. Элементы низкоразмерных структур. 6. Интегральные биполярные транзисторы на гетеропереходах. 7. Электронные приборы на наноструктурах. 8. Технология производства приборов микро- и нанoeлектронки. 9. Молекулярно-лучевая эпитаксия, нанолитография в технологии изготовления элементов нанoeлектроники. 10. Процесс создания полупроводниковых слоев с заданным типом проводимости.
КМ8	Вопросы для самостоятельной подготовки к практическим занятиям. Физические основы нанoeлектроники	УК-2-31;УК-2-У1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Тенденция перехода от микроэлектроники к нанoeлектронике. 2. Уменьшение топологического размера элементов. Нанoeлектроника. 3. Области применения нанoeлектроники и нанотехнологий. Взаимосвязь с другими науками. 4. Свойства частиц малых размеров. 0-D, 1-D, 2-D, 3-D системы. 5. Зависимость свойств от размеров и размерности. 6. Изменение ширины запрещенной зоны в полупроводниках; зависимость от размерности. 7. Изменение зонной структуры полупроводника; размерно-индуцированный переход «металл-диэлектрик-полупроводник». 8. Понятие квантовой ямы, как классической квантово-размерной структуры нанoeлектроники. 9. Понятие квантовой ямы, как классической квантово-размерной структуры нанoeлектроники. 10. Понятие квантовых точек и проволок и их использование в нанoeлектронике.
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	Контрольная работа 1	УК-2-У1;ПК-5-31;ПК-5-В1	<p>Примерный вариант задания на контрольную работу</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Рассчитать границы области пространственного заряда со стороны n и p областей и построить зонную диаграмму «после контакта» для гетероструктуры со следующими параметрами: n-область (Ge): $N_D=5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $N_C=1,04 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $N_V=6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $m_i=2,4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $\epsilon_P=16$, $c=4$; p-область (Si): $N_A=5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $N_C=2,8 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $N_V=1,04 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $m_i=1,45 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, $\epsilon_P=11,9$, $c=4,05$; $U_{вн} = -2,5 \text{ В}$. Показать область квантовой ямы и направление движения носителей заряда. 2. Какова электрическая емкость квантовой точки, имеющего сферическую форму с радиусом $R = 10 \text{ нм}$. Считайте, что квантовая точка находится в вакууме. Какую энергию нужно затратить, чтобы зарядить квантовую яму? 3. Одноэлектронный транзистор, включающий в себя в качестве основного элемента конденсатор со структурой металл-диэлектрик-металл (МДМ), способен реагировать на туннелирование одного электрона. Какова площадь обкладок конденсатора с диоксидом кремния SiO_2 в качестве диэлектрика, если емкость составляет 10^{-16} Ф при толщине диэлектрика, равной 100 нм. 4. Рассчитать высоту потенциального барьера ϕ_k в p-n-переходе n-Ge – p-Ge с объемным сопротивлением $\rho = 2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Как изменится высота потенциального барьера на границе при изменении напряжения от $V = +0,15 \text{ В}$ до $V = -5 \text{ В}$? Нарисовать зонные диаграммы. 5. Рассчитайте размер сферических квантовых точек, изготовленных из GaAs, обес-печивающий их люминесценцию на длинах волн $440, 480, 520$ и 560 нм. Оцените относительный вклад кулоновского взаимодействия электронов с дырками.
P2	Контрольная работа 2	УК-2-31;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-В1	<p>Примерный вариант задания на контрольную работу</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Имеется резкий кремниевый p-n-переход при комнатной температуре $T = 300 \text{ К}$ с площадью $S = 10^{-3} \text{ см}^2$ и концентрацией легирующей примеси $N_D = N_A = 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Вычислить накопленный заряд и время, за которое обратное смещение возрастает от 0 до -10 В, если ток через этот диод равен 1 мА. 2. Рассчитать энергию дна первых трех квантовых подзон в n-Si при значении $\psi_s = 2\phi_0$ и при $N_A = 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Найти среднюю область локализации l_c электрона от поверхности на каждом из этих уровней и полное число электронов N_i в подзонах $T = 77 \text{ К}$. 3. Имеется кремниевый транзистор типа p^+n-p с параметрами: $N_{Aэ} = 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $N_{Dб} = 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $N_{Ак} = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, ширина области базы $W = 1 \text{ мкм}$, площадь $S = 3 \text{ мм}^2$, $U_{эк} = +0,5 \text{ В}$, $U_{бк} = -5 \text{ В}$. Вычислить: а) толщину нейтральной области $W_б$ в базе; б) концентрацию неосновных носителей около перехода эмиттер – база $p_n(0)$; в) заряд неосновных носителей в области базы $Q_б$. 4. Модель квантовой ямы в системе AlGaAs/GaAs/AlGaAs. Определить энергию основного состояния для квантовой ямы с шириной $a = 10 \text{ нм}$, высотой $U = 0,4 \text{ эВ}$ и эффективными массами $0,067m_0$ и $0,095m_0$. 5. Постройте энергетическую диаграмму гетеропереходов Si/Ge, GaAs/InAs, AlN/GaN, CaF2/Si, сконструируйте из них периодические квантовые колодцы и определите их тип.
5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)			
Экзамен по дисциплине не предусмотрен.			

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

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

- а) «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;
- б) «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;
- в) «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;
- г) «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.

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

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Троян П. Е., Сахаров Ю. В.	Нанoeлектроника: учебное пособие	Электронная библиотека	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010
Л1.2	Драгунов В. П., Остертак Д. И.	Микро- и нанoeлектроника: учебное пособие	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2012
Л1.3	Борисенко В. Е.	Нанoeлектроника: теория и практика: учебник	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л1.4	Дзидзигури Э. Л., Сидорова Е. Н.	Процессы получения наночастиц и наноматериалов. Нанотехнологии (N 3511): учеб. пособие	Электронная библиотека	М.: [МИСиС], 2019

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Николаевский И. Ф.	Транзисторы и полупроводниковые диоды: монография	Электронная библиотека	Москва: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1963
Л2.2	Неволин В. К.	Зондовые нанотехнологии в электронике: монография	Электронная библиотека	Москва: Техносфера, 2014
Л2.3	Дробот П. Н.	Нанoeлектроника: учебное пособие	Электронная библиотека	Томск: ТУСУП, 2016
Л2.4	Шишкин Г. Г., Агеев И. М.	Нанoeлектроника: элементы, приборы, устройства: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л2.5	Щука А. А., Сигов А. А.	Нанoeлектроника: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л2.6	Рыжонков Д. И., Лёвина В. В., Дзидзигури Э. Л.	Наноматериалы: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Лаборатория знаний, 2017
Л2.7	Орлова М. Н., Борзых И. В.	Нанoeлектроника: курс лекций	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2013

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Российская национальная нанотехнологическая сеть	http://www.rusnanonet.ru/video/nanotech_nanoelectronics/
Э2	Курс Введение в нанотехнологии	https://vse-kursy.com/onlain/833-kurs-vvedenie-v-nanotehnologii.html

Э3	Lessons From Nanoelectronics	https://books.google.ru
Э4	Курс "Наноэлектроника" на платформе LMS Canvas	https://lms.misis.ru
Э5	ГОСТ 7.32-2017 Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления	http://docs.cntd.ru/document/1200157208
Э6	ГОСТ ISO/TS 80004-6-2016 Нанотехнологии. Часть 6. Характеристики нанообъектов и методы их определения. Термины и определения	http://docs.cntd.ru/document/1200141447/
Э7	ГОСТ Р 58038-2017/IEC/TS 80004-9:2017 Нанотехнологии. Часть 9. Нанотехнологические электротехнические изделия и системы. Термины и определения	http://docs.cntd.ru/document/556323310
Э8	ГОСТ ISO/TS 80004-8-2016 Нанотехнологии. Часть 8. Процессы нанотехнологического производства. Термины и определения	http://docs.cntd.ru/document/1200141448/
Э9	ГОСТ Р 58039-2017/ISO/TS 80004-11:2017 Нанотехнологии. Часть 11. Нанослой, нанопокрывтие, нанопленка. Термины и определения	http://docs.cntd.ru/document/556323251/
Э10	ГОСТ Р 57257-2016/ISO/TS 80004-12:2016 Нанотехнологии. Часть 12. Квантовые явления. Термины и определения	http://docs.cntd.ru/document/1200141432

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	LMS Canvas
П.2	MATCAD

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	Научные журналы и статьи
И.2	http://elibrary.ru/
И.3	https://link.springer.com/
И.4	Web of Science https://apps.webofknowledge.com
И.5	Scopus https://www.scopus.com/
И.6	Elsevier https://www.sciencedirect.com/
И.7	Курс "Наноэлектроника" на платформе LMS Canvas
И.8	https://lms.misis.ru
И.9	Электронная библиотека МИСиС
И.10	http://elibrary.misis.ru/
И.11	Электронная библиотека издательство "Лань"
И.12	https://e.lanbook.co
И.13	Единое окно доступа к образовательным ресурсам
И.14	https://window.edu.ru

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, ПК с 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.

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
--------------------------------	--	---

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. Расчетно-графические работы выполняются с помощью пакета прикладных программ.

Образовательная деятельность по дисциплине реализуется с помощью электронной информационно-образовательной среды НИТУ «МИСиС» Canvas, представленной на сайте <https://lms.misis.ru/>. 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.