МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР
_____Сенченко П.В
«13» _____12_____ 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Промышленная электроника**
Форма обучения: **заочная (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий)**
Кафедра: **промышленной электроники (ПрЭ)**
Курс: **4**
Семестр: **8**
Учебный план набора 2024 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	8 семестр	Всего	Единицы
Лабораторные занятия	8	8	часов
Самостоятельная работа	115	115	часов
Самостоятельная работа под руководством преподавателя	10	10	часов
Контрольные работы	2	2	часов
Подготовка и сдача экзамена	9	9	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	144	144	часов
		4	з.е.

Формы промежуточной аттестации	Семестр	Количество
Экзамен	8	
Контрольные работы	8	1

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сенченко П.В
Должность: Проректор по УР
Дата подписания: 13.12.2023
Уникальный программный ключ:
a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Томск

Согласована на портале № 80836

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. формирование теоретических и практических основ, необходимых для расчета, разработки и создания элементов, приборов и устройств и наноэлектроники, а также дальнейшего совершенствования знаний путем изучения научно-техничкой литературы по данной или смежной тематикам.

1.2. Задачи дисциплины

1. изучение законов физики в низкоразмерных полупроводниковых структурах.
2. изучение базовых методик расчета параметров низкоразмерных структур.
3. изучение технологии изготовления полупроводниковых гетероструктур.
4. изучение основных квантовых эффектов, лежащих в основе приборов и устройств наноэлектроники.
5. изучение конструкции и физических принципов работы приборов и устройств наноэлектроники.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Обязательная часть.
Модуль дисциплин: Модуль направления подготовки (special hard skills – SHS).
Индекс дисциплины: Б1.О.03.08.
Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Универсальные компетенции		
-	-	-
Общепрофессиональные компетенции		
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1. Знает фундаментальные законы естественных наук и математики	Знает фундаментальные законы естественных наук и математики
	ОПК-1.2. Умеет анализировать проблемы, процессы и явления в области физики, использовать на практике базовые знания и методы физических исследований, а также умеет применять методы решения математических задач в профессиональной области	Умеет анализировать проблемы, процессы и явления в области физики, использовать на практике базовые знания и методы физических исследований, а также умеет применять методы решения математических задач в профессиональной области
	ОПК-1.3. Владеет практическими навыками решения инженерных задач	Владеет практическими навыками решения инженерных задач

Согласована на портале № 80836

Профессиональные компетенции		
ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.1. Знает простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Знает простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также стандартные программные средства их компьютерного моделирования
	ПК-1.2. Умеет строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Умеет строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования
	ПК-1.3. Владеет навыками построения простейших физических и математических моделей приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использования стандартных программных средств их компьютерного моделирования	Владеет навыками построения простейших физических и математических моделей приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использования стандартных программных средств их компьютерного моделирования

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		8 семестр
Контактная работа обучающихся с преподавателем, всего	20	20

Согласована на портале № 80836

Лабораторные занятия	8	8
Самостоятельная работа под руководством преподавателя	10	10
Контрольные работы	2	2
Самостоятельная работа обучающихся, всего	115	115
Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	50	50
Подготовка к контрольной работе	45	45
Подготовка к лабораторной работе	10	10
Написание отчета по лабораторной работе	10	10
Подготовка и сдача экзамена	9	9
Общая трудоемкость (в часах)	144	144
Общая трудоемкость (в з.е.)	4	4

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Названия разделов (тем) дисциплины	Лаб. раб.	Контр. раб.	СРП, ч.	Сам. раб., ч	Всего часов (без промежуточной аттестации)	Формируемые компетенции
8 семестр						
1 История наноэлектроники и нанотехнологий	-	2	1	10	13	ОПК-1, ПК-1
2 Необходимые сведения из квантовой физики	-		1	11	12	ОПК-1, ПК-1
3 Квантовое поведение электронов в кристалле	-		1	11	12	ОПК-1, ПК-1
4 Полупроводниковые гетеростуктуры и сверхрешетки	-		1	11	12	ОПК-1, ПК-1
5 Технологии формирования квантоворазмерных наноструктур	-		1	11	12	ОПК-1, ПК-1
6 Квантовые эффекты	-		1	11	12	ОПК-1, ПК-1
7 Устройства наноэлектроники	8		3	40	51	ОПК-1, ПК-1
8 Графеновая электроника	-		1	10	11	ОПК-1, ПК-1
Итого за семестр	8	2	10	115	135	
Итого	8	2	10	115	135	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины	СРП, ч	Формируемые компетенции
8 семестр			

Согласована на портале № 80836

1 История наноэлектроники и нанотехнологий	Bell Telephone Company: от изобретения телефона до изобретения транзистора. Гордон Мур: от компании Шокли до компании Intel, закон Мура Наноразмерные объекты в традиционной полупроводниковой электронике. Внедрение в микроэлектронику новых эпитаксиальных и ионно-лучевых (плазменных) технологий. Технологические проблемы на пути перехода от микро к наноэлектронике. Физические проблемы и новые подходы к созданию электроники наноразмерных элементов и наноструктур.	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого	1	
2 Необходимые сведения из квантовой физики	Переход от классической физики к квантовой. Работы Эйнштейна. Работы Резерфорда и Бора. Волны де Бройля и квантово-волновой дуализм частиц вещества. Волновая механика и уравнение Шредингера. Принцип запрета Паули, вырождение состояний и снятие вырождения под внешним воздействием. Образование энергетических зон и их заполнение в кристаллах. Соотношение неточностей Гейзенберга.	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого	1	
3 Квантовое поведение электронов в кристалле	Уравнение Шредингера для кристалла. Модель Кронига – Пенни. Переход к нанофизике полупроводников. Поведение носителей заряда в прямоугольной потенциальной яме. Квантовое ограничение. Квантовые структуры с двумерным электронным газом. Квантовые структуры с одномерным электронным газом. Квантовые структуры с нульмерным электронным газом. Баллистический транспорт. Туннелирование.	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого	1	
4 Полупроводниковые гетеростуктуры и сверхрешетки	Гетеропереходы и гетероструктуры. Сверхрешетки.	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого	1	
5 Технологии формирования квантоворазмерных наноструктур	Формирование квантовых ям. Формирование квантовых точек. Формирование квантовых проволок (нитей).	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого	1	
6 Квантовые эффекты	Двумерный электронный газ в магнитном поле. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. Эффект Ааронова – Бома. Квантово-размерный эффект Штарка. Квантово-размерный туннельный эффект. Эффект Джозефсона. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с одним туннельным переходом. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами. Сотуннелирование. Квантовое магнетосопротивление. Спинтроника. Эффект Кондо.	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого	1	

Согласована на портале № 80836

7 Устройства наноэлектроники	Приборы на одноэлектронном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Одноэлектронный насос. Одноэлектронная память. Приборы на резонансном туннелировании. Диоды на резонансном туннелировании. Транзисторы на резонансном туннелировании. Логические элементы на резонансно-туннельных приборах. Приборы на основе сверхрешеток. Инфракрасные фотоприемники. Сверхрешетки в лазерных структурах. Лавинные фотодиоды. Оптические модуляторы. Транзисторы для СВЧ-электроники. Транзисторы с высокой подвижностью (HEMT). Транзисторы на основе SiGe-технологии. Транзисторы на основе технологии нитрида галлия (GaN) на подложке из карбида кремния (SiC). Перспективные материалы и приборы. Молибденит – перспективный материал наноэлектроники. Алмаз как материал для СВЧ-приборов. Транзисторы на антимонидах и арсенидах индия. Транзисторы на углеродных нанотрубках.	3	ОПК-1, ПК-1
	Итого	3	
8 Графеновая электроника	Получение и открытие свойств графена. В направлении к графеновой электронике. Первые транзисторы на графене. Создание графеновой транзисторной технологии GNRFETs. Высокоскоростные графеновые транзисторы.	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого	1	
Итого за семестр		10	
Итого		10	

5.3. Контрольные работы

Виды контрольных работ и часы на контрольные работы приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Контрольные работы

№ п.п.	Виды контрольных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
8 семестр			
1	Контрольная работа с автоматизированной проверкой	2	ОПК-1, ПК-1
Итого за семестр		2	
Итого		2	

5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
8 семестр			
7 Устройства наноэлектроники	Изучение принципа работы HEMT-транзисторов	4	ОПК-1, ПК-1
	Светодиоды на основе ДГС	4	ОПК-1, ПК-1
	Итого	8	
Итого за семестр		8	
Итого		8	

Согласована на портале № 80836

5.5. Практические занятия (семинары)

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / курсовая работа)

Не предусмотрено учебным планом

5.7. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
8 семестр				
1 История наноэлектроники и нанотехнологий	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	5	ОПК-1, ПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	5	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	10		
2 Необходимые сведения из квантовой физики	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	6	ОПК-1, ПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	5	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	11		
3 Квантовое поведение электронов в кристалле	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	6	ОПК-1, ПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	5	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	11		
4 Полупроводниковые гетеростуктуры и сверхрешетки	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	6	ОПК-1, ПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	5	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	11		

Согласована на портале № 80836

5 Технологии формирования квантоворазмерных наноструктур	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	6	ОПК-1, ПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	5	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	11		
6 Квантовые эффекты	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	6	ОПК-1, ПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	5	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	11		
7 Устройства наноэлектроники	Подготовка к лабораторной работе	10	ОПК-1, ПК-1	Лабораторная работа
	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	10	ОПК-1, ПК-1	Тестирование, Экзамен
	Написание отчета по лабораторной работе	10	ОПК-1, ПК-1	Отчет по лабораторной работе
	Подготовка к контрольной работе	10	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	40		
8 Графеновая электроника	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	5	ОПК-1, ПК-1	Тестирование, Экзамен
	Подготовка к контрольной работе	5	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	10		
Итого за семестр		115		
	Подготовка и сдача экзамена	9		Экзамен
Итого		124		

5.8. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности представлено в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Согласована на портале № 80836

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности				Формы контроля
	Лаб. раб.	Конт.Раб.	СРП	Сам. раб.	
ОПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Отчет по лабораторной работе, Тестирование, Экзамен
ПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Отчет по лабораторной работе, Тестирование, Экзамен

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

Рейтинговая система не используется

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература

1. Дробот П. Н. Наноэлектроника: Учебное пособие / Дробот П. Н. - Томск : ФДО, ТУСУР, 2016. – 286 с. Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library.

7.2. Дополнительная литература

1. Филиппов В. В. Физические основы наноэлектроники : учебное пособие / В. В. Филиппов. - Липецк : Липецкий ГПУ, 2018.-160 с Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/115011.

2. Сергеев, В. А. Элементы и устройства наноэлектроники : учебное пособие / В. А. Сергеев. - Ульяновск : УлГТУ, 2016.- 137 с Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.Lanbook.com/book/165019.

3. Электроника и наноэлектроника: введение в направление 11.03.04 : хрестоматия / составители Е. Я. Букина [и др.]. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 200 с Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.Lanbook.com/book/152138.

4. Дробот П. Н. Наноэлектроника : учебное пособие / П. Н. Дробот. - Москва : ТУСУР, 2016. - 286 с Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/110241.

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Саврук Е. В. Наноэлектроника. Методические указания по организации самостоятельной работы: Методические указания / Саврук Е. В., Троян П. Е. - Томск : ФДО, ТУСУР, 2018. – 22 с. Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library.

2. Ширяев Б. В. Наноэлектроника. Методические указания по выполнению лабораторных работ: Методические указания / Ширяев Б. В. - Томск : ФДО ТУСУР, 2016. – 36 с. Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library.

7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;

Согласована на портале № 80836

– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

7.4. Иное учебно-методическое обеспечение

1. Дробот П.Н. Наноэлектроника [Электронный ресурс]: электронный курс / П.Н. Дробот. - Томск: ФДО, ТУСУР, 2016. (доступ из личного кабинета студента) .

7.5. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

Учебные аудитории для проведения занятий лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, для самостоятельной работы студентов

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Веб-камера - 6 шт.;
- Наушники с микрофоном - 6 шт.;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- 7-Zip;
- Google Chrome;
- Kaspersky Endpoint Security для Windows;
- LibreOffice;
- Microsoft Windows;

8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 209 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

8.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Согласована на портале № 80836

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 История наноэлектроники и нанотехнологий	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
2 Необходимые сведения из квантовой физики	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
3 Квантовое поведение электронов в кристалле	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Согласована на портале № 80836

4 Полупроводниковые гетеростуктуры и сверхрешетки	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
5 Технологии формирования квантоворазмерных наноструктур	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
6 Квантовые эффекты	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
7 Устройства наноэлектроники	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по лабораторной работе	Темы лабораторных работ
8 Графеновая электроника	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть

Согласована на портале № 80836

2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков
4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции
2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.
5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. По каким направлениям ограничено движение заряженных частиц в квантовых точках:
   а) только по направлению X
   б) только по направлению Y

Согласована на портале № 80836

в) только по направлению Z
г) по направлениям XYZ

2. По каким направлениям ограничено движение заряженных частиц в квантовых пленках:
а) по направлениям X и Y
б) только по направлению Y
в) только по направлению Z
г) по направлениям X и Z
3. По каким направлениям ограничено движение заряженных частиц в квантовых нитях (шнурах):
а) по направлениям X и Y
б) по направлению Y и Z
в) только по направлению Z
г) по направлениям X и Z
4. Какое минимальное количество энергетических уровней должно быть в квантовой яме двойной гетероструктуры:
а) 0
б) 1
в) 4
г) 9
5. В какую из сверхрешеток входят полупроводники с одинаковым химическим составом, но с разным типом проводимости:
а) композиционную
б) легированную
в) модулировано–легированную
г) во все перечисленные
6. Максимальная толщина квантовой ямы двойной гетероструктуры не должна превышать:
а) 100 нм
б) длину волны Де Бройля
в) длину когерентности
г) 10 нм
7. Максимальное различие постоянных решеток для материалов входящих в идеальную гетероструктуру не должно превышать:
а) 1%
б) 5 %
в) 0,1 %
г) 3 %
8. При каком из типов начальной стадии роста, возникающих при осаждении атомов на подложку из газовой фазы, происходит формирование квантовых точек:
а) Франка- Ван дер Мерве (слоевой рост)
б) Странского – Крастанова (промежуточный тип)
в) Фольмера – Вебера (островковый рост)
г) во всех перечисленных
9. Как будет изменяться коэффициент прозрачности барьера D, при увеличении массы частицы, если ее энергия остается при этом постоянной:
а) уменьшится
б) увеличится
в) останется постоянным
г) может уменьшиться или увеличиться, в зависимости от заряда частицы
10. Какой квантовый эффект лежит в основе работы сверхпроводящего квантового интерференционного датчика (СКВИД):
а) эффект Штарка
б) эффект Джозефсона
в) целочисленный эффект Холла
г) эффект Ааронова-Бома
11. В каких квантоворазмерных структурах электроны называют двумерным электронным газом
а) квантовая пленка

Согласована на портале № 80836

б) квантовый шнур
в) квантовая точка
г) во всех вышеперечисленных

12. Осаждение какого материала необходимо провести на кремниевую (Si) подложку, чтобы на его поверхности образовался массив из квантовых точек
    а) GaN
    б) Ge
    в) AlP
    г) GaP
13. При каком из типов начальной стадии роста, возникающих при осаждении атомов на подложку из газовой фазы, происходит формирование квантовых точек
    а) Франка – Ван дер Мерве (слоевой рост)
    б) Странского – Крастанова (промежуточный тип)
    в) Фольмера – Вебера (островковый рост)
    г) при любом из вышеперечисленных
14. Что является основным отличием сверхрешетки от многослойной гетероструктуры
    а) наличие туннельной связи между квантовыми ямами
    б) близкое значение постоянных решетки
    в) наличие полупроводников с разной шириной запрещенной зоны
    г) наличие полупроводников с разным типом электропроводности
15. В какую из сверхрешеток входят полупроводники с одинаковым химическим составом
    а) композиционную
    б) легированную
    в) селективно - легированную
    г) модулировано – легированную
16. Что происходит при уменьшении ширины барьера в композиционной сверхрешетке
    а) увеличивается ширина (энергетический зазор) минизоны
    б) уменьшается ширина (энергетический зазор) минизоны
    в) увеличивается количество подуровней в минизоне
    г) уменьшается количество энергетических уровней в квантовой яме
17. От чего зависит число подуровней в минизонах сверхрешетки
    а) от ширины барьеров
    б) от количества квантовых ям
    в) от количества размерных энергетических уровней
    г) от ширины квантовых ям
18. Какой из эффектов происходит в условиях сильного магнитного поля
    а) туннельный эффект
    б) эффект Штарка
    в) эффект Джозефсона
    г) целочисленный и дробный эффект Холла
19. Чем можно объяснить существование целочисленного квантового эффект Холла
    а) существованием уровней Ландау
    б) существованием уровней размерного квантования
    в) существованием туннельной связи между квантовыми ямами
    г) Существованием ненулевой минимальной энергии электрона в квантовой яме
20. Какой из квантовых эффектов применяется в качестве эталона сопротивления
    а) эффект Джозефсона
    б) целочисленный эффект Холла
    в) кулоновская блокада
    г) эффект Штарка

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

Приведены примеры типовых заданий из банка экзаменационных тестов, составленных по пройденным разделам дисциплины.

1. Чем определяется уровень развития и достижения в исследовании квантово-размерных структур?
    1. общемировыми тенденциями и трендами;

Согласована на портале № 80836

2. стремлением разработки искусственного интеллекта;
3. совершенством и развитием технологий их получения
4. потребностями развития технологий двойного назначения

2. В гетероструктуре высокого качества в кристаллах полупроводников, образующих гетеропереходы, межатомное расстояние должно быть:
    1. неравным;
    2. равным;
    3. отличаться в два раза.
3. Существенное различие параметра кристаллической решетки полупроводников, образующих гетеропереход
    1. делают невозможным проявление квантово-размерных эффектов
    2. не оказывает влияния на действие гетероперехода
    3. не снижает качества гетероструктуры
4. Важно, чтобы технология изготовления гетероструктур обеспечивала
    1. очень резкую границу гетероперехода
    2. высокую скорость выращивания гетероструктур
    3. выращивание гетероструктур при высоких температурах
5. Какая из эпитаксиальных технологий хорошо подходит для выращивания гетероструктур с резким границами и сложным профилем?
    1. молекулярно-пучковая;
    2. газовая из металлоорганических соединений;
    3. жидкостная
6. При эпитаксиальном наращивании полупроводниковых слоев процессы самоупорядочения и самоорганизации возникают из-за
    1. стремления выращиваемой структуры сложного состава, как физической системы, к минимуму энергии
    2. стремления выращиваемой структуры сложного состава, как физической системы, к установлению равновесного состояния возникающих ростовых структурных дефектов
    3. стремления выращиваемой структуры к компенсации возникающих при росте механических напряжений
7. Можно наращивать слои островков, образующих квантовые точки, по механизму Странского – Крастанова, разделяя их слоями подложки, при этом
    1. островки вырастают строго друг над другом
    2. нечетные слои островков сдвинуты в плоскости относительно четных
    3. нечетные слои островков повернуты в плоскости относительно четных на определенный угол
8. Пирамидальные островки, образующие квантовые точки и сформированные по механизму Странского – Крастанова, выращиваются строго друг над другом, так как
    1. в матрице-подложке в расположении островка возникают механические напряжения, притягивающие атомы следующего осаждаемого слоя
    2. этому способствует соответствующая кристаллографическая ориентация подложки
    3. это обусловлено соотношением диаметров атома подложки и осаждаемого слоя
9. Существует технология формирования квантовых проволок, когда
    1. в бороздку на подложке полупроводника осаждают полупроводник с другой шириной запрещенной зоны
    2. гетероструктурная мишень облучается ускоренными тяжелыми ионами в режиме упругого торможения ионов
    3. имеет место вырезание рентгеновским лучом
10. Квантовый одноэлектронный транзистор работает на квантовом эффекте:
    1. Штарка
    2. Джозефсона
    3. Кондо
    4. кулоновской блокады

9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

Согласована на портале № 80836

Наноэлектроника

1. Преобладающая часть приборов одноэлектроники относится к классу:
    1. цепочки туннельных переходов
    2. однотуннельных приборов
    3. матрицы туннельных переходов
2. Перекачка электрона в одноэлектронном насосе возможна вследствие
    1. приложенного к затворам противофазного переменного напряжения
    2. приложенного к истоку и стоку переменного напряжения
    3. приложенного к истоку и стоку обратного напряжения
3. В резонансно-туннельном диоде электрон проходит структуру из потенциальных барьеров и ям за время
    1. туннелирования через потенциальный барьер
    2. туннелирования через потенциальный барьер и пребывания в потенциальной яме
    3. которое в основном определяется временем пребывания в потенциальной яме
4. В резонансно-туннельном диоде достигаются рабочие частоты порядка
    1. Терагерц
    2. Гигагерц
    3. Мегагерц
5. В резонансно-туннельном диоде высота энергетического барьера и ширина потенциальной ямы подбираются так, чтобы в потенциальной яме число квантово-размерных энергетических уровней не превышало
    1. двух уровней
    2. одного уровня
    3. трех уровней
6. Резонансно-туннельный транзистор имеет вольт- амперную характеристику
    1. V;
    2. N;
    3. Z -образного типа.
7. В наноэлектронике есть возможность разместить отдельно друг от друга в разных квантовых ямах сверхрешетки электроны и дырки, что ведет к значительному увеличению их:
    1. подвижностей
    2. времени жизни
    3. неравновесной концентрации
8. Технология изготовления квантовых инфракрасных фотоприемников на сверхрешетках подобрана так, что
    1. ширина потенциальных барьеров на порядок больше ширины потенциальных ям
    2. ширина потенциальных ям на порядок больше ширины потенциальных барьеров
    3. ширина потенциальных ям и ширина потенциальных барьеров приблизительно одинаковы
9. В лавинных фотодиодах на сверхрешетках для уменьшения шума возможно сделать коэффициент ударной ионизации для электронов значительно больше, чем для дырок за счет
    1. уменьшения пороговой энергии ударной ионизации при переходе электрона в узкозонный слой
    2. уменьшения коэффициента ударной ионизации для дырок
    3. разного действия ускоряющего электрического поля на электрон и на дырку
10. Чем объясняется высокое значение подвижности электронов в новейших транзисторах, обозначаемых аббревиатурой HEMT?
    1. отсутствием легирования в канальном слое
    2. особыми проводящими свойствами канального полупроводника
    3. наличием особых структурных центров, образующих уровни перескока электронов в канальном слое

9.1.4. Темы лабораторных работ

1. Изучение принципа работы HEMT-транзисторов

Согласована на портале № 80836

2. Светодиоды на основе ДГС

9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе по дисциплине.

Для допуска к экзамену должны быть выполнены и защищены все лабораторные работы, предусмотренные учебным планом, а также выполнены контрольные работы на положительную оценку

9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки

Согласована на портале № 80836

9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;

– в печатной форме с увеличенным шрифтом;

– в форме электронного документа;

– методом чтения ассистентом задания вслух;

– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;

– набор ответов на компьютере;

– набор ответов с использованием услуг ассистента;

– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 80836

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 149 от «17» 11 2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ПрЭ	С.Г. Михальченко	Согласовано, 706957f1-d2eb-4f94-b533-6139893cfd5a
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
Начальник учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972-a7c6-ab6ee1f21e73

ЭКСПЕРТЫ:

Старший преподаватель, каф. ТЭО	А.В. Гураков	Согласовано, 4bfa5749-993c-4879-adcf-c25c69321c91
Доцент, каф. ФЭ	В.В. Каранский	Согласовано, c2e55ae8-0332-4ed9-a65a-afbb92539ee8

РАЗРАБОТАНО:

Профессор, каф. ФЭ	Ю.В. Сахаров	Разработано, dd1f7cbe-1ce6-48e6-b40d-074633a5bd8a
Доцент, каф. ФЭ	В.В. Каранский	Разработано, c2e55ae8-0332-4ed9-a65a-afbb92539ee8

Согласована на портале № 80836