МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
И.о. проректора по УРиМД
_____Нариманова Г.Н.
«05» _____03_____ 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**
Направленность (профиль) / специализация: **Микросенсорика интеллектуальных систем**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**
Кафедра: **физической электроники (ФЭ)**
Курс: **3**
Семестр: **6**
Учебный план набора 2025 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	6 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	26	26	часов
Практические занятия	18	18	часов
Лабораторные занятия	16	16	часов
Самостоятельная работа	48	48	часов
Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	144	144	часов
	4	4	з.е.

Формы промежуточной аттестации	Семестр
Экзамен	6

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Нариманова Г.Н.
Должность: И.о. проректора по УРиМД
Дата подписания: 05.03.2025
Уникальный программный ключ:
eb4e14e0-de8d-48f7-bf05-ceacb167edfe

Томск

Согласована на портале № 83535

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 технологии изготовления низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур.
3. изучение основных квантовых эффектов, лежащих в основе приборов и устройств наноэлектроники.
4. изучение структуры и физических принципов работы приборов и устройств наноэлектроники.
5. формирование теоретической основы для решения практических задач по наноэлектронике.
6. формирование практических навыков для самостоятельного проведения исследования 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.03.07.
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-3. Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные	ОПК-3.1. Знает методы и средства измерения	Знает базовые методики измерения приборов и устройств наноэлектроники
	ОПК-3.2. Умеет выбирать эффективную методику измерения	Умеет применять на практике методики измерения параметров приборов и устройств наноэлектроники
	ОПК-3.3. Владеет практическими навыкам проведения экспериментальных исследований, обработки представления полученных результатов измерений	Владеет практическими навыками проведения экспериментальных исследований приборов и устройств наноэлектроники

Согласована на портале № 83535

ОПК-5. Способен принимать обоснованные технические решения в профессиональной деятельности, выбирать эффективные и безопасные технические средства и технологии	ОПК-5.1. Знает современные технические средства и технологии	Знает современное состояние наноэлектроники и перспективы ее развития
	ОПК-5.2. Умеет выбирать безопасные технические средства и технологии в профессиональной деятельности	Умеет принимать обоснованные технические решения и выбирать оптимальные технологии изготовления приборов и устройств наноэлектроники
	ОПК-5.3. Владеет практическими навыками принятия технических решений в профессиональной деятельности	Способен принимать обоснованные технические решения при проектировании приборов и устройств наноэлектроники
ОПК-7. Способен проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов в области нанотехнологий и микросистемной техники	ОПК-7.1. Знает программы и средства автоматизированного проектирования в области нанотехнологий и микросистемной техники	Знает перечень программного обеспечения используемого при проектировании приборов и устройств наноэлектроники
	ОПК-7.2. Умеет выбирать средства автоматизированного проектирования при решении профессиональных задач	Умеет выбирать программное обеспечение для расчета и проектирования приборов и устройств наноэлектроники
	ОПК-7.3. Владеет навыками проектирования объектов, систем и процессов в области нанотехнологий и микросистемной техники	Владеет базовыми принципами проектирования приборов и устройств наноэлектроники
Профессиональные компетенции		
ПК-4. Готов к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства изделий микро- и наноэлектроники, твердотельной электроники и микросистемной техники	ПК-4.1. Знает основное технологическое оборудование для производства изделий микро-, нано- и твердотельной электроники	Знает физические принципы работы технологического оборудования для производства приборов и устройств наноэлектроники
	ПК-4.2. Умеет обосновывать выбор технологического процесса и оборудования для его реализации	Умеет проводить обоснованный выбор технологического оборудования для производства приборов и устройств наноэлектроники
	ПК-4.3. Владеет навыками практической работы на технологическом оборудовании	Владеет основными навыками работы на технологическом оборудовании, используемом при производстве приборов и устройств наноэлектроники

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

Согласована на портале № 83535

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
		6 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	60	60
Лекционные занятия	26	26
Практические занятия	18	18
Лабораторные занятия	16	16
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	48	48
Подготовка к тестированию	20	20
Подготовка к контрольной работе	12	12
Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	16	16
Подготовка и сдача экзамена	36	36
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	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб.	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
6 семестр						
1 Введение в наноэлектронику	2	-	-	2	4	ОПК-3
2 Физические основы наноэлектроники	6	6	-	8	20	ОПК-5
3 Способы формирования низкоразмерных структур	6	-	-	6	12	ОПК-7, ПК-4
4 Квантовые эффекты	4	6	4	16	30	ОПК-3, ОПК-5, ОПК-7
5 Элементы и приборы наноэлектроники	8	6	12	16	42	ОПК-3, ОПК-5, ОПК-7, ПК-4
Итого за семестр	26	18	16	48	108	
Итого	26	18	16	48	108	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)	Трудоемкость (лекционные занятия), ч	Формируемые компетенции
6 семестр			

Согласована на портале № 83535

1 Введение в наноэлектронику	Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы исторического развития наноэлектроники и нанотехнологии. Связь с другими дисциплинами. Основные понятия и определения в наноэлектронике. Основные приборы и устройства наноэлектроники. Современное состояние. Перспективы развития.	2	ОПК-3
	Итого	2	
2 Физические основы наноэлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантово-размерные объекты и их классификация. Полупроводниковые наногетеростуктуры. Энергетические диаграммы наногетроструктур. Требования, предъявляемые к наногетероструктурам. Двойные гетероструктуры (ДГС). Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки. Виды сверхрешеток. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны. Энергетический спектр электронов в сверхрешетках. Свойства электронного газа в сверхрешетках. Влияние квантоворазмерных эффектов на свойства вещества. Баллистический транспорт.	6	ОПК-5
	Итого	6	
3 Способы формирования низкоразмерных структур	Общие принципы формирования квантово-размерных структур. Эпитаксия. Формирование квантово-размерных структур методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Формирование квантово-размерных структур методом химического осаждения из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD). Формирование квантовых ям. Формирование квантовых проволок (нитей) геометрическим и электронным способом. Формирование квантовых точек. Механизм процесса самоорганизации при формировании квантовых точек. Размер и форма островков. Вертикальные массивы квантовых точек.	6	ОПК-7, ПК-4
	Итого	6	

Согласована на портале № 83535

4 Квантовые эффекты	2D-электронный газ в магнитном поле. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. Эффект Ааронова-Бома. Эффект Штарка. Квантово-размерный эффект Штарка в гетеронаноструктурах с квантовыми ямами. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с одним туннельным переходом. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами. Сотуннелирование.	4	ОПК-5
	Итого	4	
5 Элементы и приборы наноэлектроники	Приборы на резонансном туннелировании. Диоды на резонансном туннелировании. Транзисторы на резонансном туннелировании. Приборы на одноэлектронном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Одноэлектронный насос. Одноэлектронная память. Устройства на основе сверхрешеток. Светодиоды на основе гетероструктур. Инфракрасные фотоприемники на основе гетероструктур. Сверхрешетки в лазерных структурах. Квантовые каскадные лазеры. Лавинные фотодиоды. Оптические модуляторы на основе эффекта Штарка. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT, pHEMT, mHEMT. Силовые HEMT транзисторы на основе GaN. Обзор программных средств для расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники.	8	ОПК-3, ОПК-5
	Итого	8	
Итого за семестр		26	
Итого		26	

5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
6 семестр			
2 Физические основы наноэлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение.	2	ОПК-5
	Полупроводниковые наногетеростуктуры. Полупроводниковые сверхрешетки.	2	ОПК-5
	Энергетические диаграммы наногетероструктур и сверхрешеток. Баллистический транспорт.	2	ОПК-5
	Итого	6	

Согласована на портале № 83535

4 Квантовые эффекты	2D-электронный газ в магнитном поле. Уровни Ландау.	2	ОПК-7
	Туннельный эффект. Резонансно-туннельный эффект.	2	ОПК-7
	Одноэлектронное туннелирование. Кулоновская блокада.	2	ОПК-7
	Итого	6	
5 Элементы и приборы наноэлектроники	Диоды на резонансном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Инфракрасные фотоприемники.	2	ОПК-3, ОПК-7, ПК-4
	Квантовые каскадные лазеры. Оптические модуляторы на основе эффекта Штарка.	2	ОПК-3, ОПК-7, ПК-4
	Светодиоды и лазеры на гетероструктурах. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT, pHEMT, mHEMT.	2	ОПК-3, ОПК-7, ПК-4
	Итого	6	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

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
6 семестр			
4 Квантовые эффекты	Туннельный эффект	4	ОПК-3, ОПК-5
	Итого	4	
5 Элементы и приборы наноэлектроники	Исследование электрических и оптических характеристик светодиодов на основе гетероструктуры с квантовыми ямами	4	ОПК-3, ОПК-5
	Исследование характеристик транзистора с высокой подвижностью электронов (HEMT)	4	ОПК-3, ОПК-5
	Исследование температурной зависимости электрических и оптических характеристик светодиодов на основе гетероструктур с квантовыми ямами	4	ОПК-3, ОПК-5
	Итого	12	
Итого за семестр		16	
Итого		16	

5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Самостоятельная работа

Согласована на портале № 83535

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
6 семестр				
1 Введение в наноэлектронику	Подготовка к тестированию	2	ОПК-3	Тестирование
	Итого	2		
2 Физические основы наноэлектроники	Подготовка к контрольной работе	4	ОПК-5	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	4	ОПК-5	Тестирование
	Итого	8		
3 Способы формирования низкоразмерных структур	Подготовка к тестированию	6	ОПК-7, ПК-4	Тестирование
	Итого	6		
4 Квантовые эффекты	Подготовка к контрольной работе	4	ОПК-7	Контрольная работа
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	8	ОПК-3, ОПК-5	Лабораторная работа
	Подготовка к тестированию	4	ОПК-3, ОПК-5	Тестирование
	Итого	16		
5 Элементы и приборы наноэлектроники	Подготовка к контрольной работе	4	ОПК-3, ОПК-7, ПК-4	Контрольная работа
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	8	ОПК-3, ОПК-5	Лабораторная работа
	Подготовка к тестированию	4	ОПК-3, ОПК-5	Тестирование
	Итого	16		
Итого за семестр		48		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		84		

5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности				Формы контроля
	Лек. зан.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ОПК-3	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен

Согласована на портале № 83535

ОПК-5	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен
ОПК-7	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен
ПК-4	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Формы контроля	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
6 семестр				
Контрольная работа	10	10	10	30
Лабораторная работа	0	5	15	20
Тестирование	5	5	10	20
Экзамен				30
Итого максимум за период	15	20	35	100
Нарастающим итогом	15	35	70	100

6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Баллы на дату текущего контроля	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК	2

6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 – 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 – 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 – 69	
	60 – 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Согласована на портале № 83535

7.1. Основная литература

1. Борисенко, Виктор Евгеньевич. Наноэлектроника : учебное пособие для вузов. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний , 2012. - 224 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 81 экз.).

7.2. Дополнительная литература

1. Наноэлектроника: Учебное пособие / Ю. В. Сахаров, П. Е. Троян - 2010. 88 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/537.

2. Филиппов, В. В. Физические основы наноэлектроники : учебное пособие / В. В. Филиппов. — Липецк : Липецкий ГПУ, 2018. — 160 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/115011.

3. Чаплыгин Ю.А. Нанотехнологии в электронике: Монография / Н. И. Боргардт [и др.] ; ред. Ю. А. Чаплыгин ; Московский государственный институт электронной техники. - М. : Техносфера, 2005. - 446 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 20 экз.).

4. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учебное пособие для вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М. : Физматкнига ; М. : Логос ; М. : Университетская книга, 2006. - 494 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 32 экз.).

5. Дробот, П. Н. Наноэлектроника : учебное пособие / П. Н. Дробот. — Москва : ТУСУР, 2016. — 286 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/110241.

6. Сергеев, В. А. Элементы и устройства наноэлектроники : учебное пособие / В. А. Сергеев. — Ульяновск : УлГТУ, 2016. — 137 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/165019.

7. Электроника и наноэлектроника: введение в направление 11.03.04 : хрестоматия / составители Е. Я. Букина [и др.]. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 200 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/152138.

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. НАНОЭЛЕКТРОНИКА: Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направлений подготовки 11.03.04 "Электроника и наноэлектроника" и 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника" / Ю. В. Сахаров - 2016. 40 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/10974.

2. НАНОЭЛЕКТРОНИКА: Учебно-методическое пособие по практикам и самостоятельной работе / Ю. В. Сахаров - 2019. 36 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/10975.

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

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной 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;

– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

7.4. 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.

Согласована на портале № 83535

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 222 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU;
- Проектор Benq;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Лаборатория наноэлектроники и микросистемной техники: учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 115а ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Осциллограф АСК 1021;
- Генератор 3-34;
- Вольтметр В7-21;
- Вольтметр В7-26;
- Блок питания Б5-47 (2 шт.);
- Блок питания Б5-10;
- Микроскоп МБС – 9 (2 шт.);
- Источник питания HY 3003 (2 шт.);
- Источник питания UT5003ED (2 шт.);
- Измеритель мощности светового потока TES-133;
- Лабораторные стенды: «Элементы наноэлектроники: оптоэлектронные приборы и устройства», «Элементы наноэлектроники: диоды», «Элементы наноэлектроники: полевые транзисторы»;
- Источник питания GPS 3030 DD;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

8.4. 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, 101 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 107 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 130 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную

Согласована на портале № 83535

информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

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

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

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 Введение в наноэлектронику	ОПК-3	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
2 Физические основы наноэлектроники	ОПК-5	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
3 Способы формирования низкоразмерных структур	ОПК-7, ПК-4	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Согласована на портале № 83535

4 Квантовые эффекты	ОПК-3, ОПК-5, ОПК-7	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
5 Элементы и приборы наноэлектроники	ОПК-3, ОПК-5, ОПК-7, ПК-4	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных 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
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

Согласована на портале № 83535

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
   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

Согласована на портале № 83535

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

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Волна Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантовые пленки.
2. Волна Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантовые точки.
3. Волна Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантовые шнуры.
4. Гетероструктуры. Энергетическая диаграмма ДГС. Основные требования, предъявляемые к гетероструктурам. Методы изготовления гетероструктур.
5. Сверхрешетки. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны.
6. Сверхрешетки. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Свойство электронов в сверхрешетках.
7. Баллистический транспорт. Квант сопротивления. Квант проводимости.
8. Способы формирования квантоворазмерных структур. Формирование квантовых точек.
9. Способы формирования квантоворазмерных структур. Формирование квантовых проволок.
10. Способы формирования квантоворазмерных структур. Формирование квантовых пленок.

9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

1. **Вариант №1**
   1. Определить длину волны Де Бройля для электрона с энергией 2 эВ.
   2. Протон обладает кинетической энергией T = 1 кэВ. Определить дополнительную энергию δT, которую необходимо ему сообщить для того, чтобы длина волн λ де Бройля уменьшилась в три раза.
   3. Имеется ДГС на основе AlAs/$Al_xGa_{1-x}As$/AlAs. Толщина квантовой ямы составляет 4,5 нм. Определить максимальный *x* при котором в квантовой яме будет один энергетический уровень. Справочные данные для материалов взять из справочника. *Эффективную массу тройного соединения (зависящую от x) считать постоянной и приравнять к среднему арифметическому значению.*
   4. Имеется ДГС на основе AlAs/InAs/AlAs. Определить минимальную и максимальную толщину квантовой ямы. Справочные данные для материалов взять из справочника.

Согласована на портале № 83535

Вариант 4

2.

1. На пути электрона с дебройлевской длиной волны λ = 1,2 Å находится потенциальный барьер высотой U = 45 эВ. Определить длину волны де Бройля после прохождения барьера.
2. Имеется ДГС на основе AlAs/GaAs/AlAs. Определить минимальную и максимальную толщину квантовой ямы. Справочные данные для материалов взять из справочника.
3. Имеется ДГС на основе AlAs/$Al_xGa_{1-x}As$/AlAs. Толщина квантовой ямы составляет 5 нм. Определить максимальный *x* при котором в квантовой яме будет один энергетический уровень. Справочные данные для материалов взять из справочника. *Эффективную массу тройного соединения (зависящую от x) считать постоянной и приравнять к среднему арифметическому значению.*
4. Имеется гетероструктура на основе GaN/$In_xGa_{1-x}N$. Определить интервал ***x*** при котором структура будет удовлетворять требованиям, предъявляемым к гетероструктурам. Справочные данные для материалов взять из справочника.

Вариант 12

3.

1. Определить длину волны Де Бройля для электрона с энергией 1,5 эВ.
2. Имеется ДГС на основе AlAs/GaAs/AlAs. Определить минимальную и максимальную толщину квантовой ямы. Справочные данные для материалов взять из справочника.
3. Имеется ДГС на основе $In_xGa_{1-x}N$ / $In_yGa_{1-y}N$ / $In_xGa_{1-x}N$. Толщина квантовой ямы составляет 6 нм. Определить ***x*** и ***y*** при котором в квантовой яме будет один энергетический уровень, если ***x*** + ***y*** **=1**. Справочные данные для материалов взять из справочника. *Эффективную массу тройного соединения (зависящую от x) считать постоянной и приравнять к среднему арифметическому значению.*
4. Имеется гетероструктура на основе AlAs/$Al_xGa_{1-x}As$. Определить интервал ***x*** при котором структура будет удовлетворять требованиям, предъявляемым к гетероструктурам. Справочные данные для материалов взять из справочника.

Вариант 14

4.

1. Определить длину волны, при которой будет максимум оптического поглощения для сверхрешетки на основе AlAs/GaAs/AlAs. Если толщина квантовых ям составляет 8 нм, барьеров 15 нм.
2. Найти вероятность прохождения ***D*** и отражения ***R*** для электрона с энергией 3,0 эВ, пролетающего над потенциальным барьером высотой 2,4 эВ и протяженностью 5 нм. Эффективную массу принять равной массе электрона в состоянии покоя.
3. Определить максимальную температуру, при которой возможна работа одноэлектронного транзистора с топологическими размерами 150 нм, выполненного по технологии изоляции имплантированным кислородом (SIMOX) и имеющего ширину зазора 30 нм.
4. Определить длину волны излучения для светодиода на основе ДГС GaN/$In_xGa_{1-x}N$/GaN (x=0.25). Толщина барьеров составляет 10 нм, толщина квантовой ямы составляет 3 нм. .

Вариант 22

5.

1. Определить ширину барьера ***d***, при которой вероятность прохождения электрона с энергией 3 эВ через барьер высотой 3,3 эВ окажется равной ***D***=0,01. Эффективную массу принять равной массе электрона в состоянии покоя.
2. Найти вероятность прохождения ***D*** и отражения ***R*** для электрона с энергией 3,0 эВ, пролетающего над потенциальным барьером высотой 2,5 эВ и протяженностью 4 нм. Эффективную массу принять равной массе электрона в состоянии покоя.
3. Определить максимальную и минимальную длину волны излучения для ККЛ на основе сверхрешетки AlInAs/InGaAs/AlInAs.
4. Определить максимальную температуру, при которой возможна работа одноэлектронного транзистора с топологическими размерами 90 нм, выполненного по технологии изоляции имплантированным кислородом (SIMOX) и имеющего ширину зазора 50 нм.

9.1.4. Темы лабораторных работ

1. Туннельный эффект
2. Исследование электрических и оптических характеристик светодиодов на основе гетероструктуры с квантовыми ямами
3. Исследование характеристик транзистора с высокой подвижностью электронов (HEMT)
4. Исследование температурной зависимости электрических и оптических характеристик светодиодов на основе гетероструктур с квантовыми ямами

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

Согласована на портале № 83535

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 / электронном журнале по дисциплине.

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

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

Согласована на портале № 83535

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 № 83535

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 163 от «26» 11 2024 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	И.В. Кулинич	Согласовано, d2a0f42b-ed8d-43b9-8776-2e1f79c72b0a
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	И.В. Кулинич	Согласовано, d2a0f42b-ed8d-43b9-8776-2e1f79c72b0a
Начальник учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972-a7c6-ab6ee1f21e73

ЭКСПЕРТЫ:

Доцент, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева	И.В. Кулинич	Согласовано, d2a0f42b-ed8d-43b9-8776-2e1f79c72b0a
Профессор, каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

РАЗРАБОТАНО:

Профессор, каф. ФЭ	Ю.В. Сахаров	Разработано, dd1f7cbe-1ce6-48e6-b40d-074633a5bd8a

Согласована на портале № 83535