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.
«22» _____02_____ 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Микроэлектроника и твердотельная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**
Кафедра: **Кафедра физической электроники (ФЭ)**
Курс: **3**
Семестр: **5**
Учебный план набора 2023 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	5 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	26	26	часов
Практические занятия	18	18	часов
Лабораторные занятия	16	16	часов
в т.ч. в форме практической подготовки	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 аттестация	Семестр
Экзамен	5

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сенченко П.В.
Должность: Проректор по УР
Дата подписания: 22.02.2023
Уникальный программный ключ:
a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Томск

Согласована на портале № 69371

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, изучение технологии изготовления полупроводниковых гетероструктур, изучение основных квантовых эффектов, лежащих в основе приборов и устройств наноэлектроники, изучение структуры и 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.03.07.
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-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 законы естественных наук, математику, квантовую и классическую физику
	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 проводить анализ проблемной области наноэлектроники, использовать на практике базовые знания в области квантовой и классической физики, а также применять методики решения задач в области наноэлектроники
	ОПК-1.3. Владеет практическими навыками решения инженерных задач	Владеет практическими навыками решения инженерных задач в области низкоразмерных структур и наноэлектроники
Профессиональные компетенции		

Согласована на портале № 69371

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 основные физические и математические модели электронных приборов и устройств различного функционального назначения	Знает основные методики расчета параметров приборов и устройств наноэлектроники различного функционального назначения.
	ПК-1.2. Знает основные программные средства для физического и математического моделирования электронных приборов и устройств различного функционального назначения	Знает базовые программные продукты для расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники различного функционального назначения
	ПК-1.3. Умеет представлять электронные приборы и устройства в виде физических и математических моделей	Умеет строить базовые физические и математические модели приборов и устройств наноэлектроники различного функционального назначения
	ПК-1.4. Владеет практическими навыками работы в прикладных программах компьютерного моделирования	Способен осуществлять аргументированный выбор программного обеспечения и использовать его для расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники различного функционального назначения
ПК-2. Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	ПК-2.1. Знает базовые методики исследования параметров и характеристик электронных приборов и устройств	Умеет осуществлять выбор измерительного оборудования и осуществлять исследования параметров приборов и устройств наноэлектроники различного функционального назначения
	ПК-2.2. Умеет определять основные параметры приборов и устройств электронной компонентной базы	Умеет проводить измерения базовых параметров приборов и устройств наноэлектроники различного функционального назначения
	ПК-2.3. Владеет методиками постановки и проведения экспериментальных исследований	Способен осуществлять на практике выбор эффективной методики измерения и проводить с помощью нее исследования параметров приборов и устройств наноэлектроники различного функционального назначения

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

Согласована на портале № 69371

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		5 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	14	14
Подготовка к контрольной работе	18	18
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
5 семестр						
1 Введение в наноэлектронику	2	-	-	3	5	ОПК-1
2 Физические основы наноэлектроники	6	6	-	9	21	ОПК-1, ПК-1
3 Способы формирования низкоразмерных структур	6	-	-	3	9	ОПК-1, ПК-1
4 Квантовые эффекты	4	6	4	16	30	ОПК-1, ПК-1, ПК-2
5 Элементы и приборы наноэлектроники	8	6	12	17	43	ОПК-1, ПК-1, ПК-2
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
5 семестр			
1 Введение в наноэлектронику	Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы исторического развития наноэлектроники и нанотехнологии. Связь с другими дисциплинами. Задачи курса.	2	ОПК-1
	Итого	2	

Согласована на портале № 69371

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-1, ПК-1
	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-1, ПК-1
	Итого	6	
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-1, ПК-1
	Итого	4	

Согласована на портале № 69371

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-1, ПК-1, ПК-2
	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
5 семестр			
2 Физические основы наноэлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение.	2	ОПК-1, ПК-1
	Полупроводниковые наногетеростуктуры. Полупроводниковые сверхрешетки.	2	ОПК-1, ПК-1
	Энергетические диаграммы наногетероструктур и сверхрешеток. Баллистический транспорт.	2	ОПК-1, ПК-1
	Итого	6	
4 Квантовые эффекты	2D-электронный газ в магнитном поле. Уровни Ландау.	2	ОПК-1, ПК-1
	Туннельный эффект. Резонансно-туннельный эффект.	2	ОПК-1, ПК-1, ПК-2
	Одноэлектронное туннелирование. Кулоновская блокада.	2	ОПК-1, ПК-1
	Итого	6	

Согласована на портале № 69371

5 Элементы и приборы наноэлектроники	Диоды на резонансном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Инфракрасные фотоприемники.	2	ОПК-1, ПК-1, ПК-2
	Квантовые каскадные лазеры. Оптические модуляторы на основе эффекта Штарка.	2	ОПК-1, ПК-1
	Светодиоды и лазеры на гетероструктурах. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT, pHEMT, mHEMT.	2	ОПК-1, ПК-1, ПК-2
	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
5 семестр			
4 Квантовые эффекты	Туннельный эффект	4	ОПК-1, ПК-1, ПК-2
	Итого	4	
5 Элементы и приборы наноэлектроники	Исследование электрических и оптических характеристик светодиодов на основе гетероструктуры с квантовыми ямами	4	ОПК-1, ПК-1, ПК-2
	Исследование характеристик транзистора с высокой подвижностью электронов (HEMT)	4	ОПК-1, ПК-1, ПК-2
	Исследование температурной зависимости электрических и оптических характеристик светодиодов на основе гетероструктур с квантовыми ямами	4	ОПК-1, ПК-1, ПК-2
	Итого	12	
Итого за семестр		16	
Итого		16	

5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Самостоятельная работа

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
5 семестр				

Согласована на портале № 69371

1 Введение в наноэлектронику	Подготовка к тестированию	3	ОПК-1	Тестирование
	Итого	3		
2 Физические основы наноэлектроники	Подготовка к тестированию	3	ОПК-1, ПК-1	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	6	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Итого	9		
3 Способы формирования низкоразмерных структур	Подготовка к тестированию	3	ОПК-1, ПК-1	Тестирование
	Итого	3		
4 Квантовые эффекты	Подготовка к тестированию	2	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	6	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	8	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Лабораторная работа
	Итого	16		
5 Элементы и приборы наноэлектроники	Подготовка к тестированию	3	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	6	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	8	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Лабораторная работа
	Итого	17		
Итого за семестр		48		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		84		

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

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности 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-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен
ПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен
ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

Согласована на портале № 69371

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
5 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

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.).

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

3. 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.

Согласована на портале № 69371

7.2. Дополнительная литература

1. 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.).
2. 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.).
3. Дробот, П. Н. Наноэлектроника : учебное пособие / П. Н. Дробот. — Москва : ТУСУР, 2016. — 286 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/110241.
4. 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.
5. 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. Сахаров Ю.В. Наноэлектроника. Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направлений подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» / Ю. В. Сахаров — Томск : ТУСУР, 2016. — 40 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://miel.tusur.ru/dwn/umo/id/20879d717729/f/NE_lab.pdf.
2. Сахаров Ю.В. Наноэлектроника. Наноэлектроника. Учебно-методическое пособие по практикам и самостоятельной работе студентов / Ю. В. Сахаров — Томск : ТУСУР, 2016. — 36 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://miel.tusur.ru/dwn/umo/id/204b8903e58/f/NE_prakt.pdf.

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

1. 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. 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

Согласована на портале № 69371

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, 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.

Согласована на портале № 69371

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-1	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
2 Физические основы наноэлектроники	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
3 Способы формирования низкоразмерных структур	ОПК-1, ПК-1	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Согласована на портале № 69371

4 Квантовые эффекты	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	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-1, ПК-1, ПК-2	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 № 69371

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 № 69371

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 № 69371

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 № 69371

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 № 69371

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 № 69371

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 140 от «31» 1 2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
И.О. начальника учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972-a7c6-ab6ee1f21e73

ЭКСПЕРТЫ:

Доцент, каф. ФЭ	В.В. Каранский	Согласовано, c2e55ae8-0332-4ed9-a65a-afbb92539ee8
Заведующий кафедрой, 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 № 69371