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 учебной работе
_____П.В. Сенченко
«18» _____12_____ 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**
Направление подготовки / специальность: **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Твердотельная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**
Кафедра: **Кафедра физической электроники (ФЭ)**
Курс: **1**
Семестр: **1**
Учебный план набора 2020 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	1 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	18	18	часов
Практические занятия	18	18	часов
Самостоятельная работа	72	72	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	108	108	часов
	3	3	з.е.

Формы промежуточной аттестация	Семестр
Зачет	1

Томск

Согласована на портале № 56320

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. формирование теоретических и практических основ, необходимых для расчета, разработки и создания современных геетроструктурных полупроводниковых приборов и устройств, а также проведения научных исследований в области низкоразмерных полупроводниковых структур.

1.2. Задачи дисциплины

1. изучить современное состояние, проблемы и тенденции развития гетероструктурной электроники. Изучить конструкцию, технологию изготовления и характеристики современных приборов гетероструктурной электроники.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).

Индекс дисциплины: Б1.В.01.

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		
-	-	-
Профессиональные компетенции		
ПКР-10. Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПКР-10.1. Знает современное состояние и перспективы развития электронной компонентной базы и рынка	Знает современное состояние и перспективы развития наногетероструктурной электроники и фотоники
	ПКР-10.2. Умеет формулировать цели и задачи научных исследований	Умеет формулировать цели и задачи научных исследований в области низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур
	ПКР-10.3. Владеет методиками теоретического и экспериментального анализа для решения сформулированных задач	Владеет методиками теоретического и экспериментального анализа для решения практических задач в области низкоразмерных гетероструткур

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

Согласована на портале № 56320

и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 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
		1 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	36	36
Лекционные занятия	18	18
Практические занятия	18	18
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	72	72
Подготовка к зачету	24	24
Подготовка к тестированию	36	36
Подготовка к контрольной работе	12	12
Общая трудоемкость (в часах)	108	108
Общая трудоемкость (в з.е.)	3	3

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	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
1 семестр					
1 Введение	2	-	10	12	ПКР-10
2 Элементы наногетероструктурных устройств электроники и фотоники	2	4	14	20	ПКР-10
3 Технология получения наногетероструктур методами эпитаксии	4	2	10	16	ПКР-10
4 Методы осаждения в производстве наногетероструктурных устройств электроники ифотоники	2	2	10	14	ПКР-10
5 Методы измерения и тестирования параметров наногетероструктур	4	2	14	20	ПКР-10
6 Электронные приборы устройства на основе гетероструктур и их применение	4	8	14	26	ПКР-10
Итого за семестр	18	18	72	108	
Итого	18	18	72	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
1 семестр			

Согласована на портале № 56320

1 Введение	Цели и задачи курса, связь с другими дисциплинами. Обзор современного состояния гетероструктурной электронной компонентной базы и перспективы ее развития.	2	ПКР-10
	Итого	2	
2 Элементы наногетероструктурных устройств электроники и фотоники	Полупроводниковые гетеростуктуры. Энергетические диаграммы полупроводниковых гетроструктур. Требования, предъявляемые к гетероструктурам. Двойные гетероструктуры. Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки. Виды сверхрешеток. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны. Энергетический спектр электронов в сверхрешетках. Свойства электронного газа в сверхрешетках.	2	ПКР-10
	Итого	2	
3 Технология получения наногетероструктур методами эпитаксии	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 точек. Механизм процесса самоорганизации при формировании квантовых точек. Размер и форма островков.	4	ПКР-10
	Итого	4	
4 Методы осаждения в производстве наногетероструктурных устройств электроники ифотоники	Осаждение металлов и диэлектриков. Способы осаждения. Ионно-плазменные методы осаждения пленок. Стимулированное плазмой осаждение тонких слоев диоксида кремния. Плазмохимическое осаждение нитрида кремния. Стимулированное плазмой осаждение металлов.	2	ПКР-10
	Итого	2	

Согласована на портале № 56320

5 Методы измерения и тестирования параметров наногетероструктур	Контроль качества поверхности подложки и растущей эпитаксиальной пленки методом дифракция медленных электронов. Метод отражательной интерферометрии. Эллипсометрические методы. Рентгеновская рефлектометрия. Методы измерения толщины по размеру эпитаксиального дефекта упаковки. Измерение удельного сопротивления эпитаксиальных слоев методом сопротивления растекания точечного контакта. Измерение профиля распределения примеси в слоях методом масс-спектрометрии вторичных ионов. Измерение концентрации примеси методом вольт-фарадных характеристик	4	ПКР-10
	Итого	4	
6 Электронные приборы устройства на основе гетероструктур и их применение	Светодиоды и лазеры на основе гетероструктур и квантовых точках. Технологии увеличения эффективности светодиодов. Влияние температуры на характеристики светодиодов. Методы измерения температуры кристаллов светодиодов на основе гетерострутктур. Основные виды отказов светодиодов на основе гетероструктур. Ускоренные испытания на надежность светодиодов на основе гетероструктур. Оптические модуляторы на основе эффекта Штарка. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT, pHEMT, mHEMT. Силовые HEMT транзисторы на основе GaN.	4	ПКР-10
	Итого	4	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

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
1 семестр			

Согласована на портале № 56320

2 Элементы наногетероструктурных устройств электроники и фотоники	Полупроводниковые гетероструктуры. Энергетические диаграммы полупроводниковых гетероструктур. Правило Андерсона. Правило Вегарда.	2	ПКР-10
	Энергетические диаграммы наногетероструктутр и сверхрешеток. Композиционные, легированные и селективно-легированные сверхрешетки. Баллистический транспорт.	2	ПКР-10
	Итого	4	
3 Технология получения наногетероструктур методами эпитаксии	Молекулярно-лучевая эпитаксия. Химическое осаждения из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD). Квантовые ямы и квантовые точки.	2	ПКР-10
	Итого	2	
4 Методы осаждения в производстве наногетероструктурных устройств электроники ифотоники	Осаждение металлических и диэлектрических слоев. Методы осаждения.	2	ПКР-10
	Итого	2	
5 Методы измерения и тестирования параметров наногетероструктур	Определение удельного сопротивления эпитаксиальных слоев. Определение концентрации примеси методом вольт-фарадных характеристик.	2	ПКР-10
	Итого	2	
6 Электронные приборы устройства на основе гетероструктур и их применение	Расчет светодиодов и лазеров на основе гетероструктур и квантовых точек.	2	ПКР-10
	Оптические модуляторы на основе эффекта Штарка.	2	ПКР-10
	Транзисторы с высокой подвижностью HEMT, pHEMT, mHEMT.	2	ПКР-10
	Силовые HEMT транзисторы на основе GaN	2	ПКР-10
	Итого	8	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.4. Лабораторные занятия

Не предусмотрено учебным планом

5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Самостоятельная работа

Согласована на портале № 56320

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
1 семестр				
1 Введение	Подготовка к зачету	4	ПКР-10	Зачёт
	Подготовка к тестированию	6	ПКР-10	Тестирование
	Итого	10		
2 Элементы наногетероструктурных устройств электроники и фотоники	Подготовка к зачету	4	ПКР-10	Зачёт
	Подготовка к тестированию	6	ПКР-10	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	4	ПКР-10	Контрольная работа
	Итого	14		
3 Технология получения наногетероструктур методами эпитаксии	Подготовка к зачету	4	ПКР-10	Зачёт
	Подготовка к тестированию	6	ПКР-10	Тестирование
	Итого	10		
4 Методы осаждения в производстве наногетероструктурных устройств электроники ифотоники	Подготовка к зачету	4	ПКР-10	Зачёт
	Подготовка к тестированию	6	ПКР-10	Тестирование
	Итого	10		
5 Методы измерения и тестирования параметров наногетероструктур	Подготовка к зачету	4	ПКР-10	Зачёт
	Подготовка к тестированию	6	ПКР-10	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	4	ПКР-10	Контрольная работа
	Итого	14		
6 Электронные приборы устройства на основе гетероструктур и их применение	Подготовка к зачету	4	ПКР-10	Зачёт
	Подготовка к тестированию	6	ПКР-10	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	4	ПКР-10	Контрольная работа
	Итого	14		
Итого за семестр		72		
Итого		72		

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.	Сам. раб.	

Согласована на портале № 56320

ПКР-10	+	+	+	Зачёт, Контрольная работа, Тестирование

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
1 семестр				
Зачёт	10	10	20	40
Контрольная работа	10	10	20	40
Тестирование	5	5	10	20
Итого максимум за период	25	25	50	100
Нарастающим итогом	25	50	100	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.).

Согласована на портале № 56320

2. 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.

3. Литвинов, В. Г. Электрические методы исследования разрывов энергетических зон в полупроводниковых микро- и нано- гетероструктурах : учебное пособие / В. Г. Литвинов, О. А. Милованова, Н. Б. Рыбин. — Рязань : РГРТУ, 2009. — 52 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/168145.

7.2. Дополнительная литература

1. Гадиев, Р. М. Электронные свойства интефейсных и квантоворазмерных полимерных гетероструктур : монография / Р. М. Гадиев, А. Р. Юсупов, А. Н. Лачинов. — Уфа : БГПУ имени М. Акмуллы, 2014. — 174 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/72514.

2. Рыбина, Н. В. Физические основы оптоэлектроники. Светодиоды : учебное пособие / Н. В. Рыбина, Н. Б. Рыбин. — Рязань : РГРТУ, 2017. — 48 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/168083.

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.).

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Тонкопленочные гетерокомпозиции на основе карбида кремния. Раздел: Физико-технологические основы получения гетероструктур : учебно-методическое пособие / Г. Д. Кузнецов, Г. К. Сафаралиев, М. Н. Стриханов [и др.]. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2018. — 148 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/126681.

2. Драгунов, В. П. Микро- и наноэлектроника: Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак. — Новосибирск : НГТУ, 2015. — 50 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/118132.

3. Байнева, И. И. Расчет и конструирование световых приборов со светодиодами : учебное пособие / И. И. Байнева. — Саранск : МГУ им. Н.П. Огарева, 2019. — 156 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/154332.

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

Согласована на портале № 56320

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 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, 201 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.

8.4. 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.

Согласована на портале № 56320

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	ПКР-10	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
2 Элементы наногетероструктурных устройств электроники и фотоники	ПКР-10	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
3 Технология получения наногетероструктур методами эпитаксии	ПКР-10	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
4 Методы осаждения в производстве наногетероструктурных устройств электроники ифотоники	ПКР-10	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
5 Методы измерения и тестирования параметров наногетероструктур	ПКР-10	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
6 Электронные приборы устройства на основе гетероструктур и их применение	ПКР-10	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий

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

Согласована на портале № 56320

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
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

Согласована на портале № 56320

1. Максимальная толщина квантовой ямы не должна превышать:
   а) 100 нм
   б) 10 нм
   в) длину волны Де Бройля
   г) длину волны когерентности
2. Подберите гетероструктуры для создания светодиода инфракрасного спектра излучения (длина волны более 750 нм):
   а) AlGaAs / GaAs
   б) AlN / AlGaN
   в) GaN / InGaN
3. Подберите гетероструктуру для создания светодиода синего спектра свечения (длина волны от 450 до 500 нм):
   а) AlGaAs / GaAs
   б) AlN / AlGaN
   в) GaN / InGaN
4. На световой поток какого из светодиодов температура будет оказывать наибольшее воздействие:
   а) оранжевый
   б) синий
   в) белый
5. В каких транзисторах с высокой подвижностью электронов (HEMT) наблюдается коллапс тока:
   а) в транзисторах на основе GaN/AlGaN
   б) в транзисторах на основе AlGaAs/InGaAs
   в) в транзисторах на основе InGaP/InGaAs
6. В каком из транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT) используется сложный многослойный буферный слой
   а) pHEMT
   б) mHEMT
   в) HEMT
7. Как измениться падение напряжения на светодиоде при его нагреве:
   а) увеличится
   б) уменьшится
   в) останется постоянным
   г) может увеличится или уменьшится в зависимости от материалов из которых изготовлен светодиод
8. Как изменится сквозной ток протекающий через светодиод на основе гетероструктуры при его нагреве:
   а) увеличится
   б) уменьшится
   в) останется постоянным
   г) может увеличится или уменьшится в зависимости от материалов из которых изготовлен светодиод
9. Как изменится длина волны светодиода на основе гетероструктуры при нагреве кристалла:
   а) увеличится
   б) уменьшится
   в) останется постоянной
   г) может увеличится или уменьшится в зависимости от материалов из которых изготовлен светодиод
10. Какие из гетроструткур используются для создания pHEMT транзисторов:
    а) AlGaAs / InGaAs
    б) InGaAs/InAlAs
    в) AlGaAs/GaAs

9.1.2. Перечень вопросов для зачета

1. Полупроводниковые гетероструктуры. Требования к гетероструктурам. Типы квантовых

Согласована на портале № 56320

ям. Правило Андерсона.
2. Светодиоды и лазеры на квантовых ямах. Основные параметры светодиодов. Способы повышения эффективности.
3. Светодиоды и лазеры на квантовых точках. Технологии получения КТ.
4. Температурные характеристики светодиодов. Влияние температуры на световой поток. Тепловое сопротивление. Тепловой импеданс.
5. СВЧ транзисторы на основе GaN. Коллапс тока. Короткоканальные эффекты.

9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

1. **Вариант №1**
   1. Имеется гетероструктура на основе GaN/$In_xGa_{1-x}N$. Определить интервал **x** при котором структура будет удовлетворять требованиям, предъявляемым к гетеростурутурам.
   2. 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.
   3. Имеется ДГС на основе AlGaAs/GaAs/AlGaAs. Определить минимальную и максимальную толщину квантовой ямы.
2. **Вариант №4**
   1. Имеется гетероструктура на основе InN/$In_xGa_{1-x}N$. Определить интервал **x** при котором структура будет удовлетворять требованиям, предъявляемым к гетеростурутурам.
   2. Имеется ДГС на основе AlAs/$Al_xGa_{1-x}As$/AlAs. Толщина квантовой ямы составляет 5 нм. Определить диапазон x при котором в квантовой яме будет один энергетический уровень. Справочные данные для материалов взять из справочника.
   3. Имеется ДГС на основе AlAs/AlGaAs/AlAs. Определить минимальную и максимальную толщину квантовой ямы.
3. **Вариант №5**
   1. Имеется гетероструктура на основе GaAs/$Ga_xIn_{1-x}As$. Определить интервал ***x*** при котором структура будет удовлетворять требованиям, предъявляемым к гетеростурутурам.
   2. Имеется ДГС на основе AlAs/$Al_xGa_{1-x}As$/AlAs. Толщина квантовой ямы составляет 8 нм. Определить диапазон x при котором в квантовой яме будет один энергетический уровень. Справочные данные для материалов взять из справочника.
   3. Имеется ДГС на основе AlAs/GaAs/AlAs. Определить минимальную и максимальную толщину квантовой ямы.
4. **Вариант №6**
   1. Определить максимальную температуру, при которой возможна работа одноэлектронного транзистора с топологическими размерами 110 нм, выполненного по технологии изоляции имплантированным кислородом (SIMOX) и имеющего ширину зазора 30 нм.
   2. Для сверхрешетки на основе GaAs/ $Ga_xIn_{1-x}As$ /GaAs определить ***x*** при котором длина волны, соответствующая максимуму оптического поглощения будет приходиться на инфракрасный свет с длиной волны 1,064 мкм. Если толщина квантовых ям составляет 6 нм, барьеров 15 нм.
   3. Имеется ДГС на основе AlAs/GaAs/AlAs. Определить минимальную и максимальную толщину квантовой ямы.
5. **Вариант №10**
   1. Определить длину волны излучения для светодиода на основе ДГС GaN/$In_xGa_{1-x}N$/GaN (x=0.35). Толщина барьеров составляет 10 нм, толщина квантовой ямы составляет 4 нм.
   2. Определить длину волны, при которой будет максимум оптического поглощения для сверхрешетки на основе AlAs/GaAs/AlAs. Если толщина квантовых ям составляет 5 нм, барьеров 15 нм.
   3. Определить максимальную и минимальную длину волны излучения для ККЛ на основе сверхрешетки AlInAs/InGaAs/AlInAs.

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

Согласована на портале № 56320

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 / 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 9.2.

Таблица 9.2 – 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.

Согласована на портале № 56320

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 № 56320

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 103 от «31» 10 2019 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
Начальник учебного управления	Е.В. Саврук	Согласовано, fa63922b-1fce-4a6a-845d-9ce7670b004c

ЭКСПЕРТЫ:

Старший преподаватель, 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 № 56320