МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовые приборы и устройства

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Квантовая и оптическая электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ЭП, Кафедра электронных приборов**
Курс: **4**
Семестр: **8**
Учебный план набора 2016 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	8 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	26	26	часов
2	Практические занятия	18	18	часов
3	Лабораторные работы	16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	60	60	часов
5	Самостоятельная работа	48	48	часов
6	Всего (без экзамена)	108	108	часов
7	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
8	Общая трудоемкость	144	144	часов
		4.0	4.0	З.Е.

Экзамен: 8 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 41723

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 66 от «20» 4 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 12.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭП «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

профессор каф. ЭП	_____	В. Н. Давыдов
Заведующий обеспечивающей каф. ЭП	_____	С. М. Шандаров

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ	_____	А. И. Воронин
Заведующий выпускающей каф. ЭП	_____	С. М. Шандаров

Эксперты:

профессор тусур, кафедра ЭП	_____	Л. Н. Орликов
Доцент кафедры электронных приборов (ЭП)	_____	А. И. Аксенов

Согласована на портале № 41723

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

Целью изучения дисциплины является приобретение студентами знаний по физическим основам функционирования приборов квантовой электроники, оптической микро- и наноэлектроники, об их основных параметрах и характеристиках, условиях применения, а также приобретение навыков решения типовых задач по расчету параметров перечисленных приборов в приложении к научных и прикладным исследованиям и разработкам.

1.2. Задачи дисциплины

– изучение студентами знаний о физических процессах, происходящих в квантовых системах в условиях нарушения термодинамического равновесия, полупроводниковом материале и структурах на его основе, в том числе наноразмерных;

– изучение принципов работы современных приборов квантовой электроники, опто- и наноэлектроники по генерации, приему и преобразованию оптического излучения;

– изучение и освоение студентами современных методов описания и анализа электронных и оптических процессов в полупроводниковых гетероструктурах;

– освоение студентами подходов к решению типовых задач по расчету параметров приборов квантовой электроники и оптоэлектроники.

–

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Квантовые приборы и устройства» (Б1.В.ДВ.13.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Квантовая механика, Математика, Материалы электронной техники, Твердотельная электроника, Физика конденсированного состояния.

Последующими дисциплинами являются: Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты, Преддипломная практика.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-2 способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;

– ПК-5 готовностью выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** физическое содержание энергетического спектра квантовых систем и структур, основные параметры, описывающие состояние этих систем и структур, а также физические процессы, приводящие как к неравновесному их состоянию, так и процессы, направленные на достижением равновесного состояния; типы, архитектуру и физические принципы работы квантовых и оптоэлектронных полупроводниковых приборов для регистрации оптического излучения, его генерации и преобразования на основе кристалличнеских приборов и гетероструктур;

– **уметь** предвидеть возможности изменения электрических и оптических свойств квантовых и оптоэлектронных структур за счет введения в их архитектуру дополнительных микро-или наноэлементов, изменения топологии, геометрии или режимов работы; рассчитывать основные параметры и характеристики источников некогерентного и когерентного излучения, изготовленных из газообразных и твердотельных материалов, а также фотодекторов, и делать вывод о применимости их для решения инженерно-технической задачи; оценивать пригодность материала для изготовления эффективных светодиодов, лазеров и других приборов квантовой электроники и оптоэлектроники;

– **владеть** способностью к обобщению, анализу и восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения при решении задач создания приборов квантовой электроники

Согласована на портале № 41723

и оптоэлектроники; физическим и математическим аппаратом современной оптической наноэлектроники, ее основными технологическими методами изготовления приборов; навыками по организации и проведению экспериментальных исследований приборов квантовой оптики и оптоэлектроники; навыками и методами проектирования и компьютерного моделирования приборов квантовой электроники и оптоэлектроники в микро- или наноэлектронном исполнении.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		8 семестр
Аудиторные занятия (всего)	60	60
Лекции	26	26
Практические занятия	18	18
Лабораторные работы	16	16
Самостоятельная работа (всего)	48	48
Оформление отчетов по лабораторным работам	12	12
Проработка лекционного материала	4	4
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	32	32
Всего (без экзамена)	108	108
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость, ч	144	144
Зачетные Единицы	4.0	4.0

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	Лек., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
8 семестр						
1 Фундаментальные электрические и оптические свойства материалов квантовой электроники и оптоэлектроники.	7	2	0	9	18	ПК-2, ПК-5
2 Генераторы когерентного оптического излучения на основе неравновесных квантовых систем.	4	3	4	8	19	ПК-2, ПК-5
3 Источники некогерентного оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур.	5	5	4	9	23	ПК-2, ПК-5
4 Фотоприемники оптического излучения на основе полупроводниковых	4	6	4	12	26	ПК-2, ПК-5

Согласована на портале № 41723

приборов и гетероструктур.						
5 Модуляторы и дефлекторы оптического излучения на основе твердых и жидких кристаллов.	6	2	4	10	22	ПК-2, ПК-5
Итого за семестр	26	18	16	48	108	
Итого	26	18	16	48	108	

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины (по лекциям)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
8 семестр			
1 Фундаментальные электрические и оптические свойства материалов квантовой электроники и оптоэлектроники.	Энергетический и долинный спектр твердого тела. Механизмы электропроводности в кристаллах и способы управления ею. Тензорный и скалярный способы описания. Падение света на границу раздела: коэффициент отражения, коэффициент поляризации, полное внутреннее отражение. Эффект двулучепреломления в анизотрпоных средах и его следствия. Дифракция Вульфа – Брэгга. Рассеяние света по Комптону, по Раману, стоксовское и антистоксовское рассеяние. Отражение, преломление и рефракция света. Управление оптическими свойствами среды.	7	ПК-2, ПК-5
	Итого	7	
2 Генераторы когерентного оптического излучения на основе неравновесных квантовых систем.	Параметры излучающих сред. Управление временем излучательной рекомбинации в проводя-щих средах. Принцип построения оптиченского генератора. Спонтанное и вынужденное излучение атома, коэффициенты Эйнштейна. Дипольная модель излучения атома. Механизмы уширения спектра излучения. Возбуждение квантовой системы накачкой, схемы накачки. Оптические резонаторы: принцип работы, параметры, спектр частот и его уширение. Свойства плоского резонатора. Моды резонатора Фабри – Перо и их свойства. Планарный диэлектрический волновод. Лазеры на квантовых ямах и квантовых точках. Обзор квантовых приборов оптического диапазона	4	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	
3 Источники некогерентного оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и	Конструкция и параметры полупроводникового светодиода. Принципы повышения параметров светодиодов за счет квантовых ям и сверхрешеток. Спектр излучения и диаграмма направленности светодиода на гетероструктурах. Брэгговские отражатели, слои растекания, ограничивающие слои.	5	ПК-2, ПК-5

Согласована на портале № 41723

гетероструктур.	Микрорезонатор в светодиодах. Типы, параметры и конструкции светодиодов с квантовыми ямами и сверхрешетками.		
	Итого	5	
4 Фотоприемники оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур.	Фоторезистивный и фотовольтаический принципы регистрации оптического излучения. Понятие фотопроводимости, ее механизмы и параметры. Фотовольтаические эффекты в полупроводниках. Типы фотоэдс, механизмы их формирования и основные параметры. Барьерная фотоэдс. Фотодетекторы на квантовых ямах и сверхрешетках. Лавинные фотодетекторы на сверхрешетках. Параметры и конструкции фотодетекторов различных типов и назначений. Шумовые свойства полупроводниковых фотодетекторов.	4	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	
5 Модуляторы и дефлекторы оптического излучения на основе твердых и жидких кристаллов.	Оптическая активность кристаллов и управление ею с помощью электрического поля. Электрооптический эффект и фотоупругость в кристаллах. Оптические эффекты в квантовых точках. Квантово-размерный эффект Штарка. Модуляторы на основе электрооптических эффектов. Модуля-торы на квантовых ямах. Жидкие кристаллы, их свойства. Применение жидких кристаллов для модуляции света и его отклонения.	6	ПК-2, ПК-5
	Итого	6	
Итого за семестр		26	

5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин				
	1	2	3	4	5
Предшествующие дисциплины					
1 Квантовая механика		+		+	
2 Математика	+	+	+	+	+
3 Материалы электронной техники	+				+
4 Твердотельная электроника	+	+	+	+	+
5 Физика конденсированного состояния			+	+	
Последующие дисциплины					
1 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты	+	+	+	+	+
2 Преддипломная практика	+	+	+	+	+

Согласована на портале № 41723

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

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Виды занятий				Формы контроля
	Лек.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ПК-2	+	+	+	+	Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Реферат
ПК-5	+	+	+	+	Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Реферат

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
8 семестр			
2 Генераторы когерентного оптического излучения на основе неравновесных квантовых систем.	Определение ширины запрещенной зоны полупроводника методом температурного сканирования (лабораторная установка).	4	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	
3 Источники некогерентного оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур.	Исследование свойств p-n перехода в приборах оптоэлектроники (компьютерное моделирование)	4	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	
4 Фотоприемники оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур.	Свойства и параметры фотопроводимости полупроводниковых фоторезисторов (лабораторная установка).	4	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	
5 Модуляторы и дефлекторы оптического излучения	Исследование анизотропии оптических свойств кристаллов ниобата лития (компьютерное моделирование).	4	ПК-2, ПК-5

Согласована на портале № 41723

на основе твердых и жидких кристаллов.	Итого	4	
Итого за семестр		16	

8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
8 семестр			
1 Фундаментальные электрические и оптические свойства материалов квантовой электроники и оптоэлектроники.	Обсуждение природы взаимодействия света и твердого тела: падение света на границу раздела (коэффициент отражения, коэффициент поляризации, полное внутреннее отражение). Эффект двулучепреломления в анизотропных средах и его следствия. Дифракция Вульфа – Брэгга. Решение задач на полное внутреннее отражение и дифракцию Вульфа – Брэгга. Механизмы рассеяния света (по Комптону, по Раману, стоксовское и антистоксовское рассеяние). Решение задач на двучепреломление в одноосных кристаллах.	2	ПК-2, ПК-5
	Итого	2	
2 Генераторы когерентного оптического излучения на основе неравновесных квантовых систем.	Обсуждение механизмов излучения света твердыми телами. Принципы управления излучательной рекомбинацией в проводящих средах. Решение задач на вычисление пара-метров квантовой эффективности эмиссии излучения, коэффициентов Эйнштейна. Обсуждение свойств оптических резонаторов: принцип работы, параметры, спектр час-тот и его уширение. Моды резонатора Фабри – Перо и их свойства. Решение задач на вычисление собственных частот и ширины линии излучения открытых резонаторов. Просмотр рисунков, диаграмм, таблиц по параметрам лазеров.	3	ПК-2, ПК-5
	Итого	3	
3 Источники некогерентного оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур.	Обсуждение принципов улучшения параметров светодиодов за счет введения квантовых ям и сверхрешеток. Спектр излучения и диаграмма направленности светодиода на гетероструктурах. Решение задач на вычисление параметров светодиодов с квантовыми ямами. ограничивающие слои. Преимущества от применения в конструкции светодиодов оптического микрорезонатора. Просмотр рисунков, диаграмм, таблиц по параметрам светодиодов различного типа.	5	ПК-2, ПК-5
	Итого	5	
4 Фотоприемники	Обсуждение параметров фотодетекторов на основе	3	ПК-2, ПК-

Согласована на портале № 41723

оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур.	фотопроводимости и барьерной фотоэдс. Решение задач на вычисление фоточувствительности детекторов на основе фотопроводимости и барьерной фотоэдс.Обсуждение природы шумов различных типов. Решение задач на вычисление уровня шумового напряжения при действии напряжения.		5
	Обсуждение параметров фотодетекторов на основе фотопроводимости и барьерной фотоэдс. Решение задач на вычисление фоточувствительности детекторов на основе фотопроводимости и барьерной фотоэдс.Обсуждение природы шумов различных типов. Решение задач на вычисление уровня шумового напряжения при действии напряжения.	3	
	Итого	6	
5 Модуляторы и дефлекторы оптического излучения на основе твердых и жидких кристаллов.	Обсуждение механизмов изменения оптических свойств кристаллов под напряжением, а также механизмов электроотражения и электропоглощения в квантовывх ямах, перехода Фредериска в жидких кристаллах.Решение задач на вычисление действующих напряжений в твердых телах и жидких кристаллах.	2	ПК-2, ПК-5
	Итого	2	
Итого за семестр		18	

9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
8 семестр				
1 Фундаментальные электрические и оптические свойства материалов квантовой электроники и оптоэлектроники.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	5	ПК-2, ПК-5	Опрос на занятиях, Реферат, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	4		
	Итого	9		
2 Генераторы когерентного оптического излучения на основе неравновесных квантовых систем.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	8	ПК-2, ПК-5	Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Реферат, Тест, Экзамен
	Итого	8		
3 Источники некогерентного оптического излучения	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	5	ПК-2, ПК-5	Отчет по лабораторной работе, Реферат, Тест, Экзамен

Согласована на портале № 41723

на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур.	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Итого	9		
4 Фотоприемники оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	8	ПК-2, ПК-5	Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Реферат, Тест, Экзамен
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Итого	12		
5 Модуляторы и дефлекторы оптического излучения на основе твердых и жидких кристаллов.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-2, ПК-5	Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Итого	10		
Итого за семестр		48		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		84		

10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	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
8 семестр				
Опрос на занятиях	6	6	6	18
Отчет по лабораторной работе	7	7	7	21
Реферат	6	6	6	18
Тест	4	4	5	13
Итого максимум за период	23	23	24	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	23	46	70	100

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ	5

Согласована на портале № 41723

От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка (ГОС)	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)

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Пихтин, Александр Николаевич. Квантовая и оптическая электроника [Текст] : учебник для вузов / А. Н. Пихтин. - М. : Абрис, 2012. - 656 с : ил. - Библиогр.: - ISBN 978-5-4372-0004-9 : УДК 621.373.8(075.8) 621.383(075.8) РУБ 621.373 (наличие в библиотеке ТУСУР - 42 экз.)

2. Физические основы оптоэлектроники [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Давыдов В. Н. - 2016. 139 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5963 (дата обращения: 01.08.2018).

12.2. Дополнительная литература

1. Малышев, Владимир Александрович. Основы квантовой электроники и лазерной техники : Учебное пособие для вузов / В. А. Малышев. - М. : Высшая школа, 2005. - 542[2] с. : ил., табл. - Библиогр.: с. 536-539. - ISBN 5-06-004853-5 : 295.24 р. УДК 621.373.8(075.8) (наличие в библиотеке ТУСУР - 38 экз.)

2. Борисенко, Виктор Евгеньевич. Наноэлектроника [Текст] : учебное пособие для вузов / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 224 с. : ил. - (Нанотехнологии). - Библиогр. в конце частей. - ISBN 978-5-94774-914-4 : УДК 621.382-022.532(075.8) (наличие в библиотеке ТУСУР - 81 экз.)

3. Игнатов, Александр Николаевич. Оптоэлектроника и нанофотоника [Текст] : учебное пособие для вузов / А. Н. Игнатов. - СПб. : Лань, 2011. - 539, [5] с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 526-530. - ISBN 978-5-8114-1136-8 : УДК 621.383(075.8) 621.383-022.532(075.8) (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 экз.)

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Давыдов В.Н. Физические основы оптоэлектроники [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов направлений подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и «Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства» / Давыдов В. Н. - 2016. 92 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5964 (дата обращения: 01.08.2018).

2. Давыдов В.Н. Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника методом темпе-

Согласована на портале № 41723

ратурного сканирования. Учебно-методическое пособие к лабораторной работе. Томск [Электронный ресурс]: ТУСУР, 2013. – 10 с. [Электронный ресурс] Руководство к лабораторной работе. – Томск Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), Кафедра электронных приборов. – Электрон. текстовые дан. – Томск ТУСУР, 2013. – 10 с - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/3559 (дата обращения: 01.08.2018).

3. Исследование анизотропии оптических свойств кристаллов ниобата лития [Электронный ресурс]: Методическое пособие к лабораторной работе для студентов бакалавриата по направлению 11.03.04 – «Электроника и наноэлектроника» Профиль «Квантовая и оптическая электроника» / Давыдов В. Н. - 2016. 13 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5970 (дата обращения: 01.08.2018).

4. Свойства и параметры фотопроводимости полупроводниковых фоторезисторов [Электронный ресурс]: Методическое пособие к лабораторной работе для студентов бакалавриата по направлению 11.03.04210100.62 – Электроника и наноэлектроника. Профиль «Квантовая и оптическая электроника» / Давыдов В. Н. - 2016. 16 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5967 (дата обращения: 01.08.2018).

5. Исследование свойств p-n переходов в приборах оптоэлектроники [Электронный ресурс]: Методическое пособие к лабораторной работе для студентов бакалавриата по направлению 11.03.04 – «Электроника и наноэлектроника» профиль «Квантовая и оптическая электроника» / Давыдов В. Н. - 2016. 17 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5969 (дата обращения: 01.08.2018).

6. Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства [Электронный ресурс]: Методические указания к практическим занятиям / Мягков А. С. - 2012. 53 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/2495 (дата обращения: 01.08.2018).

7. Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства [Электронный ресурс]: Методические указания по самостоятельной работе / Мягков А. С. - 2012. 15 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/2496 (дата обращения: 01.08.2018).

12.3.2. 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.

12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

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

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

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

13.1.1. 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 количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются

Согласована на портале № 41723

демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная лаборатория

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 110 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторные стенды (6 шт.);
- Измерительные приборы;
- Доска магнитно-маркерная;
- Оптическая скамья ОСК-4;
- Помещение для хранения учебного оборудования;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Преподавательская

помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 215 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер (2 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

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

13.1.4. 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, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

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

Согласована на портале № 41723

- Google Chrome.

13.2. 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 зрениями** 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.

14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

14.1.1. Тестовые задания

1. Для каких целей при рассмотрении оптических свойств твердых тел используют энергетический и долинный спектр твердого тела?

а) Энергетический спектр и долинный спектр показывают способы вывода квантовой системы твердого тела в возбужденное состояние и пути релаксации возбужденного состояния в основное;

б) Энергетический спектр показывает все энергетические состояния твердого тела в зависимости от импульса частицы, а долинный спектр показывает диапазон изменения энергии частицы при изменении де бройлевской длины волны частицы;

в) Энергетический спектр показывает все разрешенные энергетические состояния твердого тела в зависимости от координаты, отсчитываемой внутри тела, а долинный спектр показывает допустимые значения энергии квантовой системы в зависимости от импульса частицы;

г) Энергетический спектр твердого тела показывает энергетические возможности создаваемых на основе этого тела квантовых генераторов, а долинный спектр определяет диапазон изменения оптических свойств этого тела в зависимости от закладываемых параметров генераторов.

2. Для каких целей при описании взаимодействия оптического излучения и твердого тела используют параметр внутренней квантовой эффективности эмиссии излучения и параметр внешней квантовой эффективности эмиссии излучения?

а) Параметр внутренней квантовой эффективности описывает долю энергии внешней накачки, которая переводится во внутреннюю энергию возбужденного состояния квантовой системы, а параметр внешней квантовой эффективности определяет долю оптической энергии, поглощенной твердых телом, которая излучается им в виде когерентного излучения;

б) Параметр внутренней квантовой эффективности описывает отношение энергии когерентного оптического излучения, генерируемого твердым телом, к полной энергии излучения возбужденной квантовой системой, а параметр внешней квантовой эффективности определяет долю оптической энергии, поглощенной твердых телом, которая излучается им в виде когерентного и некогерентного излучения;

в) Параметр внутренней квантовой эффективности описывает отношение энергии когерент-

Согласована на портале № 41723

ного оптического излучения, генерируемого твердым телом, к полной энергии излучения возбужденной квантовой системой, а параметр внешней квантовой эффективности определяет долю оптической энергии, поглощенной твердых телом, которая излучается им в виде когерентного и некогерентного излучения;

г) Параметр внутренней квантовой эффективности описывает отношение энергии испускаемого твердым телом оптического излучения внутри этого тела к полной энергии, испускаемой твердым телом: оптической (в виде фотонов) и тепловой в виде фононов, а параметр внешней квантовой эффективности определяет долю оптической энергии, выходящей с поверхности твердого тела во внешнее пространство, к энергии оптического излучения, генерируемого внутри твердого тела.

3.Какие энергетические переходы квантовой системы существуют при ее освещении излучением с энергией квантов, равной энергии перехода, какими параметрами описываются эти переходы и на что указывает взаимная зависимость этих параметров?

а) При падении на квантовую. систему квантов света с энергией, равной энергетическому зазору между уровнями энергии возможны следующие три процесса: вынужденное поглощение фотона, вынужденное излучение фотона и спонтанное излучение, которые описываются своими вероятностями переходов - коэффициентами Эйнштейна. Их детерминированная зависимость указывает на единый механизм взаимодействия света квантовой системой;

б) При падении на квантовую. систему квантов света с энергией, равной энергетическому зазору между уровнями энергии возможны следующие два процессы: вынужденное излучение фотона и спонтанное излучение, которые описываются коэффициентами Эйнштейна. Если вынужденное излучение фотона является детерминированным процессом, то спонтанное излучение - процесс случайный. Это указывает на двойственный механизм взаимодействия света и квантовой системы;

в) При падении на квантовую. систему фотонов с энергией, кратной энергии зазора между уровнями энергии возможны следующие три процессы: вынужденное излучение фотона, вынужденное поглощение фотона и спонтанное излучение, которые описываются коэффициентами Эйнштейна. Если вынужденное излучение фотона и его излучение являются детерминированными процессами, то спонтанное излучение - процесс случайный. Это указывает на двойственный механизм взаимодействия света и квантовой системы;

г) При падении на квантовую. систему фотонов с энергией, кратной энергии зазора между уровнями энергии возможны следующие два процессы: вынужденное поглощение фотона и спонтанное излучение, которые описываются коэффициентами Эйнштейна. Вынужденное излучение фотона и его спонтанное излучение являются детерминированными процессами. Это указывает на единый механизм поглощения излучения света атомами.

4. В чем сущность дипольной модели атома и как она объясняет механизм взаимодействия света и атомной системы?

а) Дипольная модель атома рассматривает взаимодействие кванта света и атома как поглощение кванта света электронным облаком атома, описываемым как заряженный диполь с определенным моментом;

б) Дипольная модель атома рассматривает взаимодействие кванта света и атома как кулоновское взаимодействие электрического поля кванта с дипольным моментом атома. Диполь атома образовывается положительно заряженным ядром атома и отрицательным зарядом электронного облака атома;

в) Дипольная модель атома рассматривает взаимодействие кванта света и атома как неупругое соударение кванта с атомом, описываемым дипольным моментом определенного порядка.атома. В результате поглощения энергии кванта он исчезает, а порядок диполя повышается, что отражается в изменении конфигурации электронного облака. Диполь атома образовывается положительно заряженным ядром атома и отрицательным зарядом электронного облака атома;

г) Дипольная модель атома рассматривает взаимодействие кванта света и атома как упругое соударение кванта с атомом, описываемым атомным дипольным моментом определенного порядка. В результате столкновения квант или исчезает, или меняет свои параметры. Порядок диполя также изменяется, что отражается в изменении конфигурации электронного облака.

5. Что такое спектральная линия излучения и каковы механизмы изменения ее параметров:

Согласована на портале № 41723

высоты, ширины?

а) Спектральная линия излучения есть зависимость интенсивности испускаемого квантовой системой света от длины волны излучения, используемого в качестве оптической накачки данной системы. Спектральная линия характеризуется двумя параметрами: высотой и шириной.Оба параметра зависят от мощности оптической накачки и коэффициента отражения света от поверхности твердого тела, выступающего в качестве источника света ;

б) Спектральная линия излучения есть зависимость интенсивности испускаемого квантовой системой света от длины волны этого излучения. Спектральная линия характеризуется двумя параметрами: высотой и шириной.Оба параметра зависят от мощности накачки и коэффициента отражения испускаемого света от поверхности твердого тела;

в) Спектральная линия излучения есть зависимость интенсивности испускаемого квантовой системой света от длины волны испускаемого излучения. Спектральная линия характеризуется двумя параметрами: ее крутизной и шириной. Оба параметра зависят только от механизма потерь оптического излучения в твердом теле и и величины потерь;

г) Спектральная линия излучения есть зависимость интенсивности испускаемого квантовой системой света от длины волны испускаемого излучения. Спектральная линия характеризуется двумя параметрами: ее крутизной и шириной. Ширина линии излучения, измеренная по половине ее высоты, зависит только от механизма потерь оптического излучения в твердом теле и величины потерь.

6. Какие механизмы уширения спектральных линий излучающих квантовых систем существуют и к какой форме спектральной линии каждый из механизмов приводит?

а) Всего насчитается три механизма уширения спектральной линии излучения: естественное уширение, уширение за счет эффекта Доплера и уширение за счет внешних полей. Первый и второй механизмы дают однородное уширение и приводит к лоренцевой форме линии излучения, а третий механизм дает неоднородное уширение и приводит к гауссовой форме линии;

б) Всего насчитается четыре механизма уширения спектральной линии излучения: естественное уширение, уширение за счет эффекта Доплера, уширение ха счет столкновения частиц и уширение за счет внешних полей. Первый, третий и четвертый механизмы дают однородное уширение и приводят к лоренцевой форме линии излучения, а второй механизм дает неоднородное уширение и приводит к гауссовой форме линии;

в) Всего насчитается четыре механизма уширения спектральной линии излучения: естественное уширение, уширение за счет эффекта Доплера, уширение ха счет столкновения частиц и уширение за счет внешних полей. Первый, второй и четвертый механизмы дают однородное уширение и приводят к лоренцевой форме линии излучения, а третий механизм дает неоднородное уширение и приводит к гауссовой форме линии;

г) Всего насчитается три механизма уширения спектральной линии излучения: естественное уширение, уширение за счет эффекта Доплера, уширение ха счет столкновения частиц и уширение за счет внешних полей. Первый и второй дают однородное уширение и приводят к лоренцевой форме линии излучения, а третий механизм дает неоднородное уширение и приводит к гауссовой форме линии.

7. Какие способы возбуждения квантовой системы существуют, какие схемы применения этих способов и за счет чего они приводят к лучшим параметрам оптических усилителей и генераторов?

а) Существует пять способов накачки: оптический, накачка газовым разрядом, метод сортировки частиц, химическая накачка, газодинамическая накачка. В зависимости от числа уровней энергии, задействованных в создании инверсии населенности, различают двух-, трех- и четырехуровневые схемы накачки. Наилучшие результаты дает двухуровневая схема из-за минимального числа уровней, повергающихся созданию инверсии населенности;

б) Существует семь способов накачки: оптический, накачка газовым разрядом, метод инжекции неосновных носителей заряда, метод сортировки частиц, возбуждение частицами высоких энергий, химическая накачка, газодинамическая накачка. В зависимости от числа уровней энергии, задействованных в создании инверсии населенности, различают двух-, трех- и четырехуровневые схемы накачки. Наилучшие результаты дает двухуровневая схема из-за минимального числа уровней, повергающихся созданию инверсии населенности;

Согласована на портале № 41723

в) Существует семь способов накачки: оптический, накачка газовым разрядом, метод инжекции неосновных носителей заряда, метод сортировки частиц, возбуждение частицами высоких энергий, химическая накачка, газодинамическая накачка. В зависимости от числа уровней энергии, задействованных в создании инверсии населенности, различают двух-, трех- и четырехуровневые схемы накачки. Наилучшие результаты дает четырехуровневая схема из-за разделения каналов накачки и генерации излучения;

г) Существует шесть способов накачки: накачка газовым разрядом, метод инжекции неосновных носителей заряда, метод сортировки частиц, возбуждение частицами высоких энергий, химическая накачка, газодинамическая накачка. В зависимости от числа уровней энергии, задействованных в создании инверсии населенности, различают двух-, трех- и четырехуровневые схемы накачки. Наилучшие результаты дает трехуровневая схема из-за частичного разделения каналов накачки и генерации излучения.

8. Каков принцип создания квантового оптического генератора и как в оптическом диапазоне создается необходимая для генерации излучения положительная обратная связь?

а) Создание оптического генератора основано на радиотехническом принципе превращения усилителя в генератор за счет включения в его обратную связь частотно-селективной цепи с положительной обратной связью. Положительно обратная связь создается установкой рабочего элемента лазера в резонатор Фабри - Перо, образованного расположенных перпендикулярно друг другу зеркал;

б) Создание оптического генератора основано на принципе превращения усилителя в генератор за счет включения в его обратную связь частотно-независимой цепи с отрицательной обратной связью. Положительно обратная связь создается установкой рабочего элемента лазера в резонатор Фабри - Перо, образованного расположенных перпендикулярно друг другу зеркал;

в) Создание оптического генератора основано на радиотехническом принципе превращения усилителя в генератор за счет включения в его обратную связь частотно-селективной цепи с положительной обратной связью. Положительно обратная связь создается установкой рабочего элемента лазера в резонатор Фабри - Перо, образованного расположенных параллельно друг другу зеркал;

г) Создание оптического генератора основано на радиотехническом принципе превращения усилителя в генератор за счет включения в его обратную связь частотно-селективной цепи с отрицательной связью. Положительно обратная связь создается установкой рабочего элемента лазера в резонатор Фабри - Перо, образованного расположенных перпендикулярно друг другу зеркал.

9. Почему в оптическом диапазоне длин волн для создания источников когерентного излучения используют открытые резонаторы?

а) На высоких частотах колебательные контуры обладают низкой добротностью, а закрытые резонаторы слишком дороги и сложны в управлении их частотными свойствами из-за их многочастотности;

б) На оптических частотах колебательные контуры имеют параметры, определяемые размерами контура, качеством используемого материала и быть ничтожно малыми, а закрытые резонаторы теряют свои селективные свойства из-за большого числа собственных колебаний. Их число уменьшается при устранении боковых стенок закрытых резонаторов;

в) На высоких частотах колебательные контуры имеют параметры, определяемые размерами контура, качеством используемого материала, закрытые резонаторы имеют несколько собственных частот, что затрудняет их использование по техническим причинам. Число увеличивают устранением боковых стенок закрытых резонаторов;

г) На оптических частотах колебательные контуры имеют параметры, определяемые только качеством используемого материала, закрытые резонаторы громоздкие и сложные в настройке. Устранением боковых стенок закрытого резонатора достигается его техническая простота изготовления, удобство размещения рабочего вещества лазера, его настройка.

10. Каковы недостатки источников некогерентного излучения на основе диффузионный p-n переходов и как их устраняют использованием квантовых ям?

а) У диффузионных источников света низкий коэффициент полезного действия и отсутствие возможности изменения длины волны генерируемого света. Размещение в области перехода квантовых ям увеличивает время взаимодействия неравновесных носителей заряда, появляется возможность спектральной перестройки излучения изменением ширины квантовой ямы;

Согласована на портале № 41723

б) У диффузионных источников света низкий коэффициент полезного действия и отсутствие возможности изменения длины волны генерируемого света. Размещение в области перехода квантовых ям уменьшает время взаимодействия неравновесных носителей заряда, появляется возможность спектральной перестройки излучения изменением глубины квантовой ямы;

в) У диффузионных источников света высокий коэффициент полезного действия, но отсутствует возможность изменения длины волны генерируемого света. Размещение за областью перехода квантовых ям увеличивает время взаимодействия неравновесных носителей заряда, появляется возможность спектральной перестройки излучения изменением напряжения смещения на p-n переходе;

г) У диффузионных источников света низкий коэффициент полезного действия и отсутствует возможность изменения длины волны генерируемого света. Размещение за областью перехода квантовых ям увеличивает время взаимодействия неравновесных носителей заряда, появляется возможность спектральной перестройки излучения изменением напряжения смещения на p-n переходе.

11. Что такое длина волны де Бройля и как ее величина влияет на энергетический спектр свободных носителей заряда?

а) Длина волны де Бройля - это параметр, имеющий размерность длины и показывающий шаре какого диаметра сосредоточена вся энергия свободного электрона и при котором электрон проявляет свои корпускулярные свойства. В пространстве размерами меньшими, чем длина де Бройля, электрон, потеряв возможность свободного перемещения, превращается в стоячую волну энергии и масс;

б) Длина волны де Бройля - это параметр, имеющий размерность длины и показывающий в шаре какого диаметра сосредоточена вся энергия свободного электрона и при котором электрон проявляет свои волновые свойства. В пространстве размерами меньшими, чем длина де Бройля, электрон, потеряв возможность свободного перемещения, превращается в энергетический шар с массой, определяемой величиной энергии этого шара;

в) Длина волны де Бройля - это параметр, имеющий размерность длины и показывающий в шаре какого радиуса сосредоточена половина энергии электрона и при котором электрон проявляет свои корпускулярные свойства. В пространстве размерами меньшими, чем длина де Бройля, электрон, потеряв возможность свободного перемещения, превращается в стоячую волну энергии и массы;

г) Длина волны де Бройля - это параметр, имеющий размерность длины и показывающий шаре какого диаметра сосредоточена вся энергия свободного электрона и при котором электрон проявляет свои корпускулярные свойства. В пространстве размерами меньшими, чем длина де Бройля, электрон, потеряв возможность свободного перемещения, превращается в стоячую волну энергии.

12. Каковы основные механизмы, уменьшающие выход оптического излучения из твердого тела в окружающее пространство?

а) Эти механизмы следующие: полное внутреннее отражение света от поверхности, через которую выходит наружу, перепоглощение фотонов атомами полупроводниковой матрицы на пути к излучающей поверхности, переотражение света от боковых поверхностей кристалла при падении света под углом к поверхности, поглощение света решеткой полупроводника и свободными носителями заряда в его объеме;

б) Эти механизмы следующие: рамановское отражение света от поверхности, через которую выходит наружу, перепоглощение фотонов атомами полупроводниковой матрицы на пути к излучающей поверхности, переотражение света от боковых поверхностей кристалла при падении света под углом к поверхности, поглощение света решеткой полупроводника и свободными носителями заряда в его объеме;

в) Эти механизмы следующие: полное внутреннее отражение света от поверхности, через которую выходит наружу, поглощение фотонов примесными атомами в полупроводнике на пути к излучающей поверхности, переотражение света от боковых поверхностей кристалла при падении света под углом к поверхности, поглощение света решеткой полупроводника и свободными носителями заряда в его объеме;

г) Эти механизмы следующие: комптоновское отражение света от поверхности, через кото-

Согласована на портале № 41723

рую выходит наружу, поглощение фотонов атомами полупроводниковой матрицы на пути к излучающей поверхности, переотражение света от боковых поверхностей кристалла при падении света под углом к поверхности.

13. Каким способом в светодиодах на основе гетероструктур с множественными квантовыми ямами устраняют отрицательное влияние эффекта полного внутреннего отражения на вывод излучения из объема в окружающее пространство?

а) Это достигается просветление кристалла нанесением на поверхность четвертьволнового слоя вещества с диэлектрической проницаемостью, равной средне-геометрическому значению диэлектрической проницаемости вещества кристалла;

б) Это достигается нанесение на излучающую поверхность кристалла электрического контакта из высоколегированного широкозонного полупроводника;

в) Это достигается нанесением на излучающую поверхностью кристалла линзы специальной формы (в виде полусферы или линзы Вейерштрасса), которая обеспечивает перпендикулярное падение на ее внутреннюю поверхность всех лучей, из объема полупроводника;

г) Это достигается использованием внутри кристалла двух многослойных брэгговских зеркал с обоих сторон p-n перехода.

14. Какие конструктивные решения в гетероструктурах с множественными квантовыми ямами применяют для увеличения коэффициента полезного действия данного типа источника некогерентного излучения?

а) Кроме увеличения числа квантовых ям в p-n переходе гетероструктуры других конструктивных решений нет.

б) Для увеличения коэффициента полезного действия такого типа источника некогерентного излучения кроме увеличения числа квантовых ям применяют слои растекания, увеличивающие размеры верхнего электрического контакта p-n перехода;

в) Для увеличения коэффициента полезного действия такого типа источника некогерентного излучения кроме увеличения числа квантовых ям применяют слои растекания, увеличивающие размеры верхнего электрического контакта p-n перехода, также легирование квантовых ям донорной примесью;

г) Для увеличения коэффициента полезного действия такого типа источника некогерентного излучения кроме увеличения числа квантовых ям применяют слои растекания, увеличивающие размеры верхнего электрического контакта p-n перехода, также брэгговские зеркала для возврата обратного потока света к излучающей поверхности и организации брэгговского микрорезонатора.

15. Фотоприемники каких типов и на каких эффектах используют в квантовой электронике и оптоэлектронике?

а) В квантовой электронике и оптоэлектронике используют вакуумные и твердотельные фотоприемники, основанные на регистрации света по генерации им свободных носителей заряда или изменения температуры рабочего тела фотоприемника;

б) В квантовой электронике и оптоэлектронике используют вакуумные и твердотельные фотоприемники, основанные на регистрации света по генерации им свободных носителей заряда или изменения температуры рабочего тела фотоприемника;

в) В квантовой электронике и оптоэлектронике используют тепловые и фотонные фотоприемники, основанные на регистрации свободных носителей заряда, созданных внешним или внутренним фотоэффектом, или изменения температуры рабочего тела фотоприемника;

г) В квантовой электронике и оптоэлектронике используют тепловые и фотонные фотоприемники, основанные на регистрации температуры созданных светом свободных носителей заряда за счет внешнего фотоэффектам, или регистрации изменения температуры рабочего тела фотоприемника.

16. Что такое фотопроводимость полупроводника и каковы механизмы ее формирования?

а) Фотопроводимость - это проводимость полупроводника при его освещении. Она возникает за счет роста концентрации свободных носителей заряда с параметрами, одинаковыми с параметрами темновых носителей;

б) Фотопроводимость - это изменение проводимости полупроводника при его освещении. Она возникает за счет роста концентрации свободных носителей заряда с параметрами, одинаковыми с параметрами темновых носителей;

Согласована на портале № 41723

в) Фотопроводимость - это изменение проводимости полупроводника при его освещении. Она возникает за счет роста концентрации свободных носителей заряда с параметрами, одинаковыми с параметрами темновых носителей, а также за счет изменения подвижности носителей заряда;

г) Фотопроводимость - это изменение проводимости полупроводника при его освещении. Она возникает за счет роста концентрации свободных носителей заряда с параметрами, а также действия напряжения фотоЭДС в объеме полупроводника и на го торцах.

17. Что такое фотоЭДС в полупроводниках, какие типы фотоЭДС существуют и каков механизм возникновения фотоЭДС разных типов?

а) Фотоэдс - это напряжение в объеме полупроводника, возникающее при его освещении из собственной полосы поглощения. Существует три типа фотоэдс: барьерная, фотоэдс Дембера и варизонная фотоэдс. Причиной появления всех типов фотоэдс является различие в подвижностях электронов и дырок;

б) Фотоэдс - это напряжение на торцах полупроводника, возникающее при его освещении из собственной полосы поглощения. Существует три типа фотоэдс: барьерная, фотоэдс Дембера и варизонная фотоэдс. Причиной появления всех типов фотоэдс является различие в подвижностях электронов и дырок;

в) Фотоэдс - это напряжение на торцах полупроводника, возникающее при его освещении из собственной полосы поглощения. Существует три типа фотоэдс: барьерная, фотоэдс Дембера и неоднородная фотоэдс. Причиной появления всех типов фотоэдс является поле диполя образованного неравновесными носителями заряда, которые пространственно разделяются за счет разных подвижностей электронов и дырок или за счет действия встроенного электрического поля;

г) Фотоэдс - это напряжение на торцах полупроводника, возникающее при его освещении из собственной полосы поглощения. Существует четыре типа фотоэдс: барьерная, фотоэдс Дембера, варизонная и неоднородная фотоэдс. Причиной появления всех типов фотоэдс является поле диполя образованного неравновесными носителями заряда, которые пространственно разделяются за счет разных подвижностей электронов и дырок или за счет действия встроенного электрического поля.

18. Что такое эффект двулучепреломления в кристаллах?

а) Эффект двулучепреломления в кристаллах - это изменение поляризации световой волны при ее распространении в анизотропных кристаллах в любом кристаллографическом направлении. Набег фазы происходит за счет расщепления волны на две с разными фазовыми скоростями;

б) Эффект двулучепреломления в кристаллах - это изменение поляризации световой волны при ее распространении в анизотропных кристаллах перпендикулярно оптической оси кристалла или близком к нему кристаллографическому направлению. Набег фазы происходит за счет расщепления волны на две с разными фазовыми скоростями;

в) Эффект двулучепреломления в кристаллах - это изменение поляризации световой волны при ее распространении в анизотропных кристаллах вдоль оптической оси кристалла или близком к нему кристаллографическом направлении. Набег фазы происходит за счет расщепления волны на две с разными фазовыми скоростями;

г) Эффект двулучепреломления в кристаллах - это изменение поляризации световой волны при ее распространении в изотропных кристаллах вдоль оптической оси кристалла или близком к нему кристаллографическом направлении. Набег фазы происходит за счет расщепления волны на две с разными групповыми скоростями;

д) Эффект двулучепреломления в кристаллах - это изменение поляризации световой волны при ее распространении в изотропных кристаллах вдоль оптической оси кристалла или близком к нему кристаллографическом направлении. Набег фазы происходит за счет генерации в кристалле второй волны, которая распространяется под углом к падающей и имеет другую фазовую скорость

19. Что такое оптическая ось и какова ее ориентация в кристалле?

а) Оптическая ось - это особое направление в кристалле, при распространении электромагнитной волны вдоль которого волна не испытывает двулучепреломления, а лишь увеличивает свою фазовую скорость. Оптическая ось всегда ориентирована вдоль главной оси симметрии в кристалле;

б) Оптическая ось - это особое направление в кристалле, при распространении электромаг-

Согласована на портале № 41723

нитной волны вдоль которого волна не испытывает двулучепреломления, а лишь уменьшает свою фазовую скорость. Оптическая ось всегда ориентирована перпендикулярно главной оси симметрии в кристалле;

в) Оптическая ось - это особое направление в кристалле, при распространении электромагнитной волны вдоль которого волна не испытывает двулучепреломления, а лишь уменьшает свою фазовую скорость. Оптическая ось всегда ориентирована по главной оси симметрии кристалла;

г) Оптическая ось - это особое направление в кристалле, при распространении электромагнитной волны вдоль которого волна не испытывает максимальное двулучепреломления уменьшает свою фазовую скорость. Оптическая ось всегда ориентирована по главной оси симметрии в кристалле.

20 Укажите преимущество эффекта двулучепреломления в нематическом жидком кристалле в сравнении с эффектом в твердотельном кристалле?

а) Во-первых, при переходе Фредерикса в нематике изменение диэлектрической проницаемости значительно превосходит изменение проницаемости в традиционных кристаллах, что дает больший поворот фазы в жидких кристалла. Во-вторых, для переход Фредерикса требуется приложение нескольких вольт, тогда как в традиционных кристаллах напряжения составляют сотни вольт и выше;

б) Во-первых, при переходе Фредерикса в нематике изменение диэлектрической проницаемости незначительно превосходит изменение проницаемости в традиционных кристаллах, что дает несколько больший поворот фазы в жидких кристалла. Во-вторых, для переход Фредерикса требуется приложение нескольких вольт, тогда как в традиционных кристаллах напряжения составляют сотни вольт и выше;

в) В жидких кристаллах для получения эффекта двулучепреломления при переходе Фредерикса изменение диэлектрической проницаемости значительно меньше изменения проницаемости в традиционных кристаллах, что дает малый поворот фазы в жидких кристалла. Во-вторых, для переход Фредерикса требуется приложение нескольких киловольт, тогда как в традиционных кристаллах напряжения составляют сотни вольт;

г) Во-первых, в жидких кристаллах для получения эффекта двулучепреломления при переходе Фредерикса изменение диэлектрической проницаемости значительно меньше изменения проницаемости в традиционных кристаллах, что дает большой поворот фазы в жидких кристалла. Во-вторых, для перехода Фредерикса требуется приложение нескольких киловольт, тогда как в традиционных кристаллах напряжения составляют десятки вольт и ниже.

14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Спонтанное и вынужденное излучение атомов: коэффициенты Эйнштейна, кинетические уравнения для заполнения и разгрузки электронных состояний атомов при действии вынужденного поглощения, спонтанного излучения и вынужденного излучения, связь между коэффициентами Эйнштейна и ее физическая интерпретация, понятие инверсии населенности энергетического состояния, принцип создания генератора электромагнитного излучения.

2. Приемники оптического излучения: дать их классификацию и перечислить (с пояснениями физического содержания) технические характеристики фотодетекторов фотонного и теплового типа, провести сравнение значений параметров фотоприемников разных типов

3. Дипольная модель механизма излучения атома: понятие диполя и его момента, понятие порядка момента диполя, вывод вероятности спонтанного перехода атома между состояниями, Лоренцева форма спектра излучения и ее использование для вычисления параметров излучения, правила отбора для квантового перехода (для главного, орбитального и магнитного квантовых чисел), понятие метастабильного уровня энергии.

4. Фотопроводимость полупроводников: понятие фотопроводимости, различия между типами фотопроводимости, физическая картина явления, вывод и физическое объяснение кинетических свойств фотопроводимости при импульсном освещении, коэффициент усиления, время релаксации фотопроводимости.

5. Механизмы уширения спектральных линий: причина естественного уширения, Лоренцева форма линии излучения, физическая причина доплеровского уширения, Гауссова форма линии излучения, уширение от столкновений и наличия внутренних и внешних полей, уширение линии при действии нескольких факторов.

Согласована на портале № 41723

6. Вынужденное излучение твердых тел: критерии выбора активного вещества оптического генератора, вывод условия инверсии населенности, вывод порогового коэффициента усиления, объяснение физических условий на накачку и параметры резонатора Фабри – Перо.

7. Рассеяние света: особенности рэлеевского рассеяния света, рассеяние Комптона, рамановское рассеяние света, стоксовое и антистоксовое смещение спектра рассеяния. Накачка активного вещества: перечислите виды накачек и поясните принцип их действия, основные кинетические уравнения накачки и правила действия с ними.

8. Фотовольтаические эффекты в полупроводниках: общие положения и соотношения, основные механизмы возникновения фотоЭДС, вывод основного выражения для фотоЭДС и его анализ для однородных и неоднородных полупроводников, рол неосновных носителей заряда в формировании фотоЭДС в полупроводниках, перечислите и охарактеризуйте различные типы фотовольтаических эффектов.

9. Возбуждение активного вещества: основные кинетические уравнения накачки, анализ двухуровневой схемы накачки, анализ трехуровневой схемы накачки, анализ четырех уровневой схемы накачки, сравнение различных схем накачки по эффективности и примеры их реализаций на практике.

10. Фотовольтаические эффекты в полупроводниках: физические процессы при образовании электронно-дырочных переходов, основные параметры и характеристики p-n переходов, величина потенциального барьера перехода и его вольт-амперная характеристика, понятие обратного тока, барьерная фотоЭДС (физические процессы ее образования, выражение для вычисления величины фотоЭДС).

11. Оптические резонаторы: основные понятия теории объемных (закрытых) резонаторов; добротность, собственные частоты и типы колебаний в объемном резонаторе; переход к оптическому резонатору, типы колебаний в оптическом резонаторе; типы потерь в оптических резонаторах; спектр собственных колебаний в оптическом резонаторе.

12. Приемники оптического излучения: дать их классификацию и перечислить (с пояснениями физического содержания) технические параметры и характеристики фотодетекторов фотонного и теплового типа, провести сравнение значений параметров фотоприемников разных типов.

13. Свойства плоского резонатора: продольные и поперечные моды резонатора, числа Френеля и расстояния между поперечными модами, спектр собственных частот плоского резонатора, частотно-вырожденные моды, распределение электромагнитного поля в плоскости зеркал, виды распределения для ТЕМ-мод и их затухание в плоском резонаторе.

14. Фотопроводимость полупроводников: понятие фотопроводимости, различия между типами фотопроводимости, физическая процессы формирования фотопроводимости, вывод и физическое объяснение кинетических свойств фотопроводимости при импульсном освещении, коэффициент усиления, время релаксации фотопроводимости.

15. Распространение и преобразование лазерных пучков: отражение, преломление и рефракция света, прохождение света через границу раздела двух сред, угол Брюстера, эффект полного внутреннего отражения, планарный диэлектрический волновод и его свойства.

16. Фотовольтаические эффекты в полупроводниках: общие положения и соотношения, основные механизмы возникновения фотоЭДС, вывод основного выражения для фотоЭДС и его анализ для однородных и неоднородных полупроводников, роль неосновных носителей заряда в формировании фотоЭДС в полупроводниках, перечислите и охарактеризуйте различные типы фотовольтаических эффектов

17. Распространение света в анизотропных средах: вывод уравнения распространения плоской электромагнитной волны в анизотропной среде, понятие тензора диэлектрической непроницаемости, эффект двулуче-преломления, определение фазовых скоростей и поляризаций обыкновенной и необыкновенной волн, понятие оптической индикатрисы и ее вид, понятие оптической оси.

18. Квантовые приборы оптического диапазона: твердотельные лазеры (на основе рубина и алюмоиттриевого граната), их структура, энергетическая диаграмма, схема накачки, параметры генерируемого излучения; газовые лазеры различных типов, их рабочие среды, энергетические схемы, параметры генерируемого излучения; жидкостные лазеры.

19. Спонтанное и вынужденное излучение атомов: коэффициенты Эйнштейна, кинетические уравнения для заполнения и разгрузки электронных состояний атомов при действии выну-

Согласована на портале № 41723

жденного поглощения, спонтанного излучения и вынужденного излучения, связь между коэффициентами Эйнштейна и ее физическая интерпретация, понятие инверсии населенности энергетического состояния, принцип создания генератора электромагнитного излучения.

29. Полупроводниковые светодиоды: принцип работы, конструктивные решения, отличие требований от лазерных систем, спектр излучения и характеристики генерируемого излучения, недостатки и их устранение на принципах наноэлектроники.

21. Фотопроводимости в полупроводниках: дать определение фотопроводимости, дать физическое объяснение протекающих процессов, указать разновидности фотопроводимости и основные параметры, характеризующие фотопроводи-мость, привести примеры полевой и частотной характеристик фотопро-водимости и пояснить их физически.

22. Основные параметры, которыми характеризуют технические возможности фотоприемных устройств квантовой электроники и оптоэлектроники: перечислить их и дать каждому физическую интерпретацию, привести примеры фотоприемных устройств, различающиеся по диапазону регистрируемых длин волн, быстродействию, обнаружительной способности.

23. Эмиссия излучения из твердых тел: физическое рассмотрение излучения твердыми телами, разновидности эмиссионных процессов, параметры для оценки эффективности эмиссии; спектр излучения, сдвиг Франка – Кордона, влияние лигатуры на эмиссию излучения из полупроводников

24. Полупроводниковые фотодиоды: принцип работы, основные параметры и характеристики, конструктивные решения, разновидности фотодиодов и сравнение их параметров, недостатки гомогенных фотодиодов и их устранение на принципах наноэлектроники.

25. Оптические резонаторы: основные понятия теории объемных (закрытых) резонаторов; добротность, собственные частоты и типы колебаний в объемном резонаторе; переход к оптическому резонатору, типы колебаний в оптическом резонаторе; типы потерь в оптических резонаторах; спектр собственных колебаний в оптическом резонаторе.

26. Квантовые приборы оптического диапазона: газовые лазеры различных типов, классификация, их рабочие среды, их энергетические диаграммы, применяемые схемы накачки, параметры генерируемого излучении. Жидкостные лазеры.

27. Спонтанное и вынужденное излучение атомов: коэффициенты Эйнштейна, кинетические уравнения для заполнения и разгрузки электронных состояний атомов при действии вынужденного поглощения, спонтанного излучения и вынужденного излучения, связь между коэффициентами Эйнштейна и ее физическая интерпретация, понятие инверсии населенности энергетического состояния, принцип создания генератора электромагнитного излучения.

28. Схемы накачки активного вещества лазера: рассмотреть двух-, трех- и четырехуровневые схемы накачки, указать изменения параметров лазеров, имеющих различные схемы накачки. Гелий – неоновый лазер.

14.1.3. Темы опросов на занятиях

Фундаментальные электрические и оптические свойства материалов квантовой электроники и оптоэлектроники.

1. Какими параметрами и характеристиками описывается взаимодействие излучения с веществом? Дать определение и изложить физическое содержание каждого параметра, каждой характеристики.

2. Перечислить условия, которые необходимо выполнить, чтобы получить из полупроводника источник когерентного излучения. Каково физическое содержание этих условий?

3. Каковы основные механизмы ограничения параметра внешней квантовой эффективности излучения в твердотельном источнике излучения.

4. Поясните физический смысл терминов "вынужденное поглощение", "вынужденное излучение", "спонтанное излучение".

5. Как связаны между собой вероятности вынужденного поглощения, вынужденного излучения и спогнтанного излучения?

Генераторы когерентного оптического излучения на основе неравновесных квантовых систем.

6. Что такое инверсия населённости в квантовой системе и как ее можно достичь на практике?

Согласована на портале № 41723

7. Каким должен быть коэффициент усиления активной среды лазера для получения когерентного излучения?

8. Как соотносятся между собой лоренцева и гаусова формы линий излучения квантового генератора?

9. Почему четырехуровневая схема накачки обеспечивает минимальный пороговый уровень накачки в лазерах?

10. Поясните термин "открытый резонатор" и укажите его отличительные свойства в сравнении с закрытым резонатором.

Источники некогерентного оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур.

11. Принципы повышения параметров излучения использованием квантовых ям и квантовых точек..

12.Принцип работы брэгговских зеркал в приборах квантовой электроники и оптоэлектроники.

13. Каковы функции микрорезонаторов в светодиодах с квантовыми ямами?

14. Как с помощью квантовых ям изменять спектральный состав генерируемого лазерами и светодиодами излучения?

15. Как устранить отрицательное действие эффекта полного внутреннего отражения при выводе излучения из кристалла?.

Фотоприемники оптического излучения на основе полупроводниковых приборов и гетероструктур.

16. Какими параметрами и характеристиками описываются свойства фотоприемных элементов в квантовой электронике и оптоэлектронике?

17. Какие существуют типы фотоприемников на основе твердых тел, различающиеся принципом обнаружения светового сигнала?

18. Что такое фотопроводимость полупроводника и что такое фотоЭДС в полупроводниках и полупроводниковых структурах?

19. В чем заключается основная причина возникновения фотопроводимости и в чем причина возникновения фотоЭДС?

20. Что такое барьерная фотоЭДС и каковы причины ее появления?

Модуляторы и дефлекторы оптического излучения на основе твердых и жидких кристаллов.

21. Что такое двулучепреломление в кристаллах, в каких условиях оно возникает и как его использовать в квантовой электронике и оптоэлектронике?

22. Что такое оптическая индикатриса и как ее использовать для расчета эффекта двулучепреломления?

23. Какие типы жидких кристаллов существуют и какова их молекулярная структура?

24. Что такое переход Фредерикса в нематических жидких кристаллах и как его используют для управления когерентными некогерентными световыми потоками в квантовой электронике и оптоэлектронике?

25 Что такое эффект "гость - хозяин" и как его используют в приборах оптоэлектроники?

14.1.4. Темы рефератов

1. Определение концентраций легирующих примесей для получения полупроводника с собственным типом проводимости.

2. Фотопроводимость полупроводника: ее типы и механизмы возникновения, основные параметры. Расчет коэффициента усиления фотопроводимости и методы управления им.

3. Фотоэдс в полупроводниках: механизмы ее возникновения, основные типы, методы расчета, базовые параметры.

4. Сравнение спектральных характеристик резонаторов закрытого и открытого типов.

5. Прохождение оптического излучения через границу раздела двух сред: основные явления, характеристики и параметры.

6.Спонтанное и вынужденное излучение атома, коэффициенты Эйнштейна, их физический смысл и природа связи между собой, возможность управления численными значениями параметрами вынужденного излучения и вынужденного поглощения.

7. Идеология создания генератора оптического излучения на основе усилителя электромаг-

Согласована на портале № 41723

нитного излучения.

8. Виды накачки, свойства накачки в трех- и четырехуровневой схемах. Сравнение их возможностей.

9. Принцип работы и и типичные значения параметров генерируемого излучения молекулярных лазеров.

10. Принцип работы и типичные значения параметров генерируемого излучения ионных лазеров.

11. Принцип работы и типичные значения параметров генерируемого излучения полупроводниковых лазеров

14.1.5. Темы лабораторных работ

1. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника методом температурного сканирования (лабораторная установка).

2. Исследование свойств p-n перехода в приборах оптоэлектроники (компьютерное моделирование).

3. Свойства и параметры фотопроводимости полупроводниковых фоторезисторов (лабораторная установка).

4. Исследование анизотропии оптических свойств кристаллов ниобата лития (компьютерное моделирование).

14.1.6. Методические рекомендации

Основные методические рекомендации касаются организации и контроля выполнения самостоятельных заданий.

Структура подачи лекционного материала. После выдачи самостоятельных заданий (на лекции) со студентами планируется тема следующей лекции. Среди разнообразия методов подачи материала наибольшая активность студентов наблюдается при применении технологии «интенсивной педагогики» в виде «продвинутой конферентной обзорной лекции», совмещенной с семинаром. Важно на фоне общих учебных заданий найти «изюминку» в каждом задании студента и показать актуальность и перспективы применения решения. Важно показать достижения конкретных выпускников по предложенной тематике.

Практические занятия. Интерес у студента проявляется тогда, когда у него получаются решения предложенных заданий. Их выполнение учитывает возможности и наклонности студента и позволяет предложить творческое развитие отдельных фрагментов задания.

Защита самостоятельной работы. Наибольший импульс к развитию дает научно-техническая конференция, где каждый студент обязан выступить с сообщением о своей работе. При подготовке к нему у студента происходит переоценка деятельности, прирост команды энтузиастов для участия в развитии работ. Это способствует развитию общекультурных профессиональных компетенций, вырабатывает навыки грамотного изложения результатов работы и их защиты перед комиссией.

14.2. 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 14.

Таблица 14 – 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	Решение дистанционных тестов,	Преимущественно дистанционными

Согласована на портале № 41723

опорно-двигательного аппарата	контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки

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

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

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

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

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

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

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

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

Согласована на портале № 41723