

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем

Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники



В.А.Шульцев

« 25 » 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины

КВАНТОВАЯ И ОПТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

по направлению подготовки
11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Направленность (профиль) Микроэлектроника и твердотельная электроника

Согласовано

Начальник отдела обеспечения
деятельности ИЭИС

И.Н.Гуркова
« 02 » 06 2023 г.

Разработал

Профессор

В.В.Гаврушко
« 2 » 06 2023 г.

Принято на заседании каф. ФТТМ

Протокол № 14 от 02.06 2023 г.

И.о.зав. кафедрой ФТТМ

И.С.Телина
« 2 » 06 2023 г.

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины: формирование компетентности студентов в области оптической и квантовой электроники, ознакомление студентов с элементной базой и характеристиками оптоэлектронных приборов, принципами построения и применения элементов интегральной оптики и волоконно-оптических линий связи.

Задачи:

- а) сформировать у студентов систему теоретических знаний в области оптоэлектроники;
- б) сформировать навыки владения основными приемами и методами решения прикладных проблем лазерной техники;
- в) сформировать навыки проведения научных исследований, познакомить с современной научной аппаратурой;
- г) актуализировать способности студентов использовать теоретические знания при решении задач и проведении экспериментов.

2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина «Квантовая и оптическая электроника» относится к элективным дисциплинам (модулям) учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника и направленности (профилю) Микроэлектроника и твердотельная электроника (далее – ОПОП).

В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках следующих дисциплин: «Физика», «Материалы электронной техники», «Физические основы электроники».

Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом для дальнейшего изучения последующих дисциплин: «Промышленная электроника», «Наноэлектроника».

3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины:

Профессиональные компетенции:

- ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования.

Результаты освоения учебной дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты освоения учебной дисциплины

Код и наименование компетенции	Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)		
ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования		Умеет строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков	Владеет навыками компьютерного моделирования

4 Структура и содержание учебной дисциплины

4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

Таблица 2 – Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения

Части учебной дисциплины (модуля)	Всего	Распределение по семестрам
		7 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	8	8
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	98	98
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) (при наличии)	-	-
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	154	154
5. Промежуточная аттестация (зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)	экзамен 36	экзамен 36

4.2 Содержание учебной дисциплины

Тема 1. Введение.

Тема 2. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и молекулами.

Тема 3. Усиление и генерация электромагнитного излучения.

Тема 4. Свойства, распространение и преобразование лазерных пучков.

Тема 5. Оптические явления в однородных полупроводниках и гетероструктурах.

Тема 6. Мазеры.

Тема 7. Лазеры.

Тема 8. Светодиоды и полупроводниковые лазеры.

Тема 9. Фотоприемники и приборы управления оптическим излучением.

Тема 10. Оптические методы передачи и обработки информации.

4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Таблица 3 – Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

№	Наименование разделов (тем) учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КП/КР	Контактная работа (в АЧ)				Внеауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля	
		Аудиторная			В т.ч. СРС			
		ЛЕК	ПЗ	ЛР				
1.	Введение	2	-		1		10	
2.	Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и молекулами	4	6		1		16	опрос, отчет по практической работе
3.	Усиление и генерация электромагнитного излучения	4	6		2		16	опрос, отчет по практической работе
4.	Свойства, распространение и преобразование лазерных пучков	4	6		2		16	опрос, отчет по практической работе
5.	Оптические явления в однородных полупроводниках и гетероструктурах	4	2		2		16	опрос
	Рубежная аттестация							контрольная работа
6.	Мазеры	4	2		1		16	опрос
7.	Лазеры	4	10		2		16	отчет по практической работе, опрос
8.	Светодиоды и полупроводниковые лазеры	4	6		2		16	отчет по практической работе, опрос
9.	Фотоприемники и приборы управления оптическим излучением	6	10		2		16	отчет по практической работе, опрос
10.	Оптические методы передачи и обработки информации	6	8		1		16	отчет по практической работе, опрос
	Промежуточная аттестация					36		экзамен
	ИТОГО	42	56		16	36	154	

4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

4.4.1 Перечень тем лабораторных работ:

Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом.

4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов:

Курсовые работы/курсовые проекты не предусмотрены учебным планом.

5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 – Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1.	Введение. Предмет дисциплины и ее задачи. Особенности оптической электроники. Стандартная терминология, основные понятия и определения. Краткий исторический очерк. Классификация приборов квантовой и оптической электроники. Их роль в современной науке и технике. Связь с другими дисциплинами (вводная лекция)	2
2.	Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и молекулами. Способы описания электромагнитного излучения. Световые лучи. Принцип Ферма. Приближение геометрической оптики. Уравнения Максвелла. Поляризация света. Фотон и его основные свойства. Фотонные коллективы. Энергетические состояния атомов и молекул. Квантовые числа. Символика энергетических состояний атомов. Молекулярные уровни. Вращательные и колебательные уровни. Квантовые переходы. Вероятность перехода. Дипольное приближение. Правила отбора для электронных переходов. Спонтанное и вынужденное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Уширение спектральных линий. Механизмы уширения. Однородное и неоднородное уширение. Рассеяние света. Оптические характеристики вещества. Комплексный показатель преломления. Показатель поглощения (информационная лекция)	4
3.	Усиление и генерация электромагнитного излучения. Принцип работы лазеров и мазеров. Инверсия населенностей. Возбуждение активного вещества-накачка. Методы накачки. Кинетические уравнения. Двух-, трех- и четырехуровневые схемы работы. Пороговая мощность источника накачки. Оптические резонаторы. Добротность резонатора. Потери в оптических резонаторах. Собственные типы колебаний-моды. Требования к резонаторам оптического диапазона. Типы резонаторов. Конфокальные резонаторы. Спектральные характеристики и распределение поля. Селекция аксиальных и неаксиальных типов колебаний. Условие самовозбуждения лазеров. Пороговая энергия накачки по генерации. Насыщение усиления. Одномодовая и многомодовая генерация. Нестационарная генерация. Модуляция добротности резонатора. Гигантские импульсы. Методы модуляции добротности. Синхронизация мод и сверхкороткие лазерные импульсы. (информационная лекция)	4
4.	Свойства, распространение и преобразование лазерных пучков. Монохроматичность. Поляризация. Когерентность. Пространственная и временная когерентность. Направленность лазерного излучения. Яркость. Энергетическая и фотометрическая яркость. Гауссовы пучки. Распространение и преобразование гауссовых пучков. Оптические свойства атмосферы. Преобразование лазерных пучков. Пространственное, амплитудное и фазовое преобразования. Поляризационные преобразования. Фазовые (волновые) пластинки. Частотное и временное преобразования лазерного импульса. Управляемые оптические системы (информационная лекция)	4
5.	Оптические явления в однородных полупроводниках и гетероструктурах. Оптические переходы в полупроводниках. Правила отбора и законы сохранения. Экситонные эффекты. Особенности зонной структуры и оптических свойств полупроводниковых соединений A^3B^5 , A^2B^6 и A^4B^6 . Электронные состояния и оптическое поглощение в твердых растворах и сильнолегированных полупроводниках. Рефракция света. Люминесценция полупроводников. Квазиуровни Ферми. Механизмы излучательной рекомбинации. Связь спектров поглощения и люминесценции. Квантовый выход и эффективность люминесценции. Фотоэлектрические эффекты в однородных кристаллах. Спектры и кинетика фотопроводимости. Увлечение носителей заряда фотонами. Фотоэлектрические эффекты в неоднородных структурах и p-n-переходах. Гетеропереходы в полупроводниках. Свойства гетеропереходов. Эффект односторонней инжекции. Эффект сверхинжекции. Эффект широкозонного окна. Волноводный эффект. Фотоэлектрические эффекты в p-n - гетеропереходах и варизонных структурах. Оптические эффекты в сверхтонких слоях. Квантовые ямы. Оптические явления и квантово -размерных слоях и сверхрешётках	4

	(информационная лекция)	
6.	Мазеры. Особенности квантовых приборов радиодиапазона. Пучковые мазеры. Молекулярный мазер на пучке молекул аммиака. Мазер на пучке атомов водорода. Квантовые парамагнитные усилители. Усилители резонаторного типа и усилители бегущей волны. Активные материалы и элементы КПУ (информационная лекция)	4
7.	Лазеры. Общая характеристика и особенности газовых лазеров. Требования к материалам и методы накачки. Процессы в газовом разряде. Особенности устройства газоразрядных лазеров. Гелий - неоновый лазер. Лазер на парах меди. Ионные газовые лазеры. Аргонный лазер. Гелий - кадмиевый лазер. Молекулярные СО ₂ -лазеры. Газодинамические лазеры. Азотный лазер. Эксимерные лазеры. Общая характеристика и особенности твердотельных лазеров. Активные материалы. Требования к матрицам. Требования к активаторам. Рубиновый лазер. Лазеры на кристаллах и стеклах, активированных неодимом. Твердотельные перестраиваемые лазеры. Общая характеристика и особенности жидкостных лазеров. Активные материалы. Лазеры на органических красителях. Перестройка частоты жидкостных лазеров (информационная лекция)	4
8.	Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Общая характеристика и особенности полупроводниковых лазеров и светодиодов. Светодиоды на основе полупроводников с прямой и непрямой структурой энергетических зон. Активные материалы. Гетеросветодиоды. Особенности конструкции и характеристики. Многоэлементные полупроводниковые индикаторы. Электролюминесцентные экраны. Индикаторы на жидких кристаллах. Газоразрядные индикаторы. Полупроводниковые лазеры. Требования к активным материалам. Лазеры с электронной и оптической накачкой. Инжекционные лазеры на гетеропереходах. Лазеры на двойных гетероструктурах. Лазеры с раздельным оптическим и электронным ограничением. Лазеры с использованием квантово-размерных эффектов. Перестраиваемые полупроводниковые ИК-лазеры (информационная лекция)	4
9.	Фотоприемники и приборы управления оптическим излучением. Классификация и технические характеристики приемников оптического излучения. Фотоэлектронные умножители. Полупроводниковые фотоприемники. Фоторезисторы. Фотодиоды. Р-і-п фотодиоды и лавинные фотодиоды. Многоэлементные фотоприемники. Приемники оптических изображений. Приборы с зарядовой связью в качестве фотоприемников. Фотоэлектрические преобразователи солнечного излучения. Особенности приборов управления оптическим излучением. Модуляторы лазерного излучения. Электрооптические модуляторы. Магнитооптические модуляторы. Абсорбционные модуляторы. Акустооптические модуляторы света. Пассивные затворы. Методы сканирования света. Дефлекторы. Приборы нелинейной оптики. Преобразователи частоты. Генераторы гармоник. Параметрические генераторы света. Управляемые оптические системы (информационная лекция)	6
10.	Оптические методы передачи и обработки информации. Характеристика и особенности оптической связи. Структурные элементы оптоэлектроники. Оптроны как структурные элементы оптоэлектроники. Типы оптронов. Передача оптических сигналов по световодам. Волоконно-оптические линии связи. Элементы интегральной оптики. Тонкопленочные волноводы. Связь между волноводами. Направленные ответвители. Тонкопленочные модуляторы, фильтры, переключатели, детекторы. Принципы голографии. Свойства голограмм. Оптические методы обработки информации. Оптические вычислительные машины и комплексы (информационная лекция)	6
	ИТОГО	42

Таблица 5 – Методические рекомендации по организации практических занятий

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
	Практические работы	
2.1	Определение постоянной Планка	4
3.1	Измерение К.П.Д. лазерного диода	4

4.1	Измерение параметров оптического волокна	4
7.1.	Изучение твердотельного лазера ГОР	4
7.2	Исследование пространственных характеристик и модовой структуры лазерных источников излучения	8
10.1		
8.1	Вольтамперные и спектральные характеристики светодиодов	4
9.1	Вольтамперные и люкс-амперные характеристики фоторезистора	4
9.2	Вольтамперные и ватт-амперные характеристики фотодиода	4
	ИТОГО	36
	<i>Решение задач</i>	
1.	Волновые и квантовые параметры излучения. Основы фотометрии	2
2.	Расчет времени жизни атомов в возбужденном состоянии	2
3.	Оптические константы и критерии качества полупроводников	2
4.	Расчет рабочих параметров газовых и полупроводниковых лазеров	2
5.	Расчет характеристик светодиодов и лазерных диодов	2
6.	Расчет рабочих параметров полупроводниковых фотоприемников	4
7.	Оптроны и модуляторы излучения	2
8.	Волоконно-оптические линии связи	2
9.	Интегральные оптические схемы	2
	ИТОГО	20

Методические рекомендации к проведению практических занятий

1. Практическая работа

Студенты самостоятельно выполняют практические работы, получая задания и необходимые консультации у преподавателя. Результаты работы оформляются в виде отчетов.

Для выполнения практических работ студенты должны пользоваться методическими указаниями:

1 Оптическая электроника: метод. указания / сост. В.Е.Удальцов, А.А.Титова, П.А.Соболев, А.В. Штро; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2014. - 38 с.

2 Квантовая электроника: метод. указания / сост. Г.М.Емельянова, А.А.Сапожников, Удальцов В.Е.; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2015. - 19 с.

Методические указания содержат описания и порядок проведения практических работ, контрольные вопросы.

2. Решение задач.

На практических занятиях студент прежде всего должен освоить взаимодействие с программными продуктами, которые используются как для выполнения предложенных расчетов, так и для иллюстраций типов и особенностей конструкций излучающих и фотоприемных приборов.

Практические занятия строятся следующим образом:

– 20% аудиторного времени отводится на постановку задачи и краткое теоретическое введение.

– 20% объяснение решения типовой задачи у доски;

– 40% аудиторного времени – самостоятельное решение задач студентами;

– 10% аудиторного времени в конце текущего занятия – разбор типовых ошибок при решении задач.

На практических занятиях для решения задач студенты могут пользоваться источниками: 1 Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 360 с.; 2 Шуберт Фред Е. Светодиоды: Монография / Пер.с англ.под ред.А.Э.Юновича. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Физматлит, 2008. - 495с.

6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины
Фонд оценочных средств представлен в приложении А.

7 Условия освоения учебной дисциплины

7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методическое обеспечение учебной дисциплины представлено в приложении Б.

7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 6 – Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению согласно ФГОС ВО	Наличие материально-технического оборудования	
1.	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	аудитория для проведения лекционных и/или практических занятий: учебная мебель (столы, стулья, доска) помещения для самостоятельной работы (наличие компьютера , выход в Интернет)	
2.	Мультимедийное оборудование	ПК IBM ATX Inwia S500 с подключением к сети «Интернет», монитор 17/КК/м, проектор Epson EMP-X5, экран подвесной (800x600)	
3.	Программное обеспечение		
Наименование программного продукта		Обоснование для использования (лицензия, договор, счёт, акт или иное)	Дата выдачи
Microsoft Windows 7 Professional		Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	30.04.2015
Microsoft Windows 10 for Educational Use		Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	30.04.2015
Microsoft Office 2013 Standard		Open License № 62018256	31.07.2016
Антиплагиат. Вуз.*		Договор №3341/12/ЕП(У)21-ВБ	29.01.2021
«Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Стандартный Russian Education Renewal. 250-499 Node I year License» /1 год *		Договор №158/ЕП(У)22-ВБ	21.09.2022
MS Office 365		Безвозмездно передаваемое ВУЗам	-
Adobe Acrobat		свободно распространяемое	-
Teams		свободно распространяемое	-
Skype		свободно распространяемое	-
Zoom		свободно распространяемое	-
Discord		свободно распространяемое	-

* отечественное производство

Приложение А

(обязательное)

Фонд оценочных средств учебной дисциплины «Квантовая и оптическая электроника»

1 Структура фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств состоит из двух частей:

а) открытая часть - общая информация об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося;

б) закрытая часть - фонд вопросов и заданий, которая не может быть заранее доступна для обучающихся (экзаменационные билеты, вопросы к контрольной работе и пр.) и которая хранится на кафедре.

2 Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации

Таблица А.1 – Перечень оценочных средств

№	Оценочные средства для текущего контроля	Разделы (темы) учебной дисциплины	Баллы	Проверяемые компетенции
1.	Отчет по практической работе	Темы: 2, 3, 4, 7 – 10 (9 работ)	25х9	ПК-1
2.	Опрос	Темы: 2 - 10	10х9	
3.	Контрольная работа (рубежная аттестация)		35	
Промежуточная аттестация				
	Экзамен		50	
	ИТОГО		400	

3 Рекомендации к использованию оценочных средств

1) Отчет по практической работе

Критерии оценки	Количество вариантов заданий
Работа выполнена в полном объеме	1
Работа выполнена в срок	
Студент правильно формулирует ответы на поставленные вопросы	
Сделаны выводы по каждой работе	
Отчет оформлен правильно	

Примеры вопросов:

Работа 1

1. Расскажите о методиках проведения эксперимента и способах оценки значения постоянной Планка, используемых в данных экспериментах.
2. Что такое контактная разность потенциалов и каким образом она влияет на характеристику фотоэлемента.
3. Почему максимальная кинетическая энергия электронов, соответствующая данной частоте ν падающего света, определяется как $W_{\text{КМАХ}} = eU_{\text{ЗАД}}$?
4. Объяснить ход прямой и обратной ветвей на вольт-амперной зависимости фототока от напряжения между катодом и анодом фотоэлемента.
5. Почему в эксперименте по изучению ВАХ фотоэлемента и определению с помощью них постоянной Планка в качестве источника света используются именно светодиоды? Можно ли использовать лампу накаливания? Можно ли использовать газонаполненную лампу (например, ртутную)?

2) Опрос

Критерии оценки	Количество вариантов заданий	Количество вопросов
Способен дать правильные ответы на вопросы	1	1

Пример вопросов к опросу:

1. Принцип действия излучающих диодов.
2. Каким уравнением описывается вольт-амперная характеристика светодиода?
3. Назовите основные светотехнические параметры светодиодов.

3) Контрольная работа

Критерии оценки	Количество вариантов заданий	Количество задач
Способен правильно подобрать нужные формулы и правильно их применить	1	3
Выполнены нужные вычисления и преобразования		
Получен правильный ответ		

Пример решения контрольной задачи.

Вычислить энергию и импульс фотона с длиной волны 0.5 мкм.

Решение.

Энергия фотона рассчитывается по формуле Планка:

$$E = h\nu = hc/\lambda = 1,24 \text{ эВ} \cdot \text{мкм} / 0.5 \text{ мкм} = 2.48 \text{ эВ} \cdot 1.6 \text{ Е-19 Кл} = 4 \text{ Е-19 Дж};$$

$$p = mc = m c^2 / c = h\nu / c = 4 \text{ Е-19 Дж} / 3 \text{ Е8 м/с} = 1.3 \text{ Е-27 кг} \cdot \text{м/с}$$

$$(p = \hbar \cdot K = \hbar \cdot 2\pi / \lambda = h / \lambda = 6.62 \text{ Е-34 Дж} \cdot \text{с} / 0.5 \text{ Е-6 м} = 1.3 \text{ Е-27 кг} \cdot \text{м/с})$$

4) Экзамен

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество вопросов</i>
Демонстрирует всестороннее и глубокое знание теоретического материала	10	3
Правильное решение задачи		

Вопросы к экзамену.

1. Основные понятия и определения оптической электроники (Оптический диапазон, монохроматичность, когерентность, поляризация, направленность).
 2. Волновые параметры излучений.
 3. Квантовые параметры излучений. Законы сохранения энергии, импульса и момента импульса.
 4. Энергетические состояния квантовых систем, колебательные и вращательные компоненты энергии.
 5. Энергетические состояния электронов в твердых телах.
 6. Квантовые переходы. Спонтанное и вынужденное излучения.
 7. Коэффициенты Эйнштейна.
 8. Время жизни атомов в возбужденном состоянии.
 9. Дипольное приближение, функция Лоренца.
 10. Уширение спектральных линий.
 11. Принципы работы квантовых усилителей и генераторов.
 12. Инверсная населенность уровней, виды накачки.
 13. Многоуровневые схемы возбуждения активной среды.
 14. Оптические резонаторы. Моды колебаний.
 15. Виды и свойства оптических резонаторов.
 16. Синхронизация мод. Генерация импульсов.
 17. Распространение света в оптических средах. Свойства Гауссовых пучков.
- Причины ослабления интенсивности и искажения волнового фронта.
18. Оптические свойства атмосферы. Явление рефракции.
 19. Распространение света в волноводах.
 20. Преобразование лазерных пучков в оптических элементах.
 21. Люминесценция в полупроводниках. Виды излучательной и безизлучательной рекомбинации. Квантовый выход люминесценции.
 22. Квантоворазмерные эффекты в полупроводниках. Квантовые точки, нити и ямы. Понятие о двумерном электронном газе.
 23. Нелинейные оптические эффекты. Условия генерации гармоник, параметрическое преобразование света, эффекты самофокусировки и оптического пробоя. Двухфотонное поглощение и антистоксовая люминесценция.
 24. Мазеры и парамагнитные усилители.
 25. Газовые лазеры. Устройство и параметры гелий-неонового лазера.
 26. Твердотельные лазеры. Конструкция и принцип работы рубинового лазера.
 27. Инжекционные ДГС лазеры. Конструкция и параметры инжекционных лазеров на основе .
 28. Светодиоды. Спектры излучения полупроводниковых материалов. Конструкции светодиодов. Угол излучения и сила света СИДов.
 29. Схема включения и ВАХ светодиодов. Ток-яркостная зависимость и частотные свойства СИДов.
 30. Классификация и технические характеристики фотоприемников.

31. Фоторезисторы. Явление фотопроводимости и его объяснение. Параметры фоторезисторов.
32. Фотодиоды. Фотодиодный и генераторный режимы работы фотодиода. ВАХ фотодиода. Спектральная характеристика фоточувствительности кремниевых фотодиодных элементов.
33. Оптопары, оптроны и оптические датчики. Виды оптопар. Параметры оптронов.
34. ВОЛС. Угловая структура световода. Волноводные моды цилиндрического световода, конструкция волоконного кабеля.
35. Оптические интегральные схемы. Подложки, основные элементы, функциональные возможности.

Пример экзаменационного билета

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
Институт электронных и информационных систем
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

Учебная дисциплина **«Квантовая и оптическая электроника»**
Для направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль) Микроэлектроника твердотельная электроника

1. Квантовые параметры излучений. Законы сохранения энергии, импульса и момента импульса для квантовых переходов.
2. Фоторезисторы. Явление фотопроводимости и его объяснение. Параметры фоторезисторов.
3. Рассчитать угол излучения и силу света для светодиода, излучающего в соответствии с законом Ламберта. Поток света составляет 10 лм.

Принято на заседании кафедры _____
« ____ » _____ 20 ____ г.

Протокол № _____
Заведующий кафедрой _____ (ФИО)

Все материалы для проведения промежуточного контроля хранятся на кафедре.

Приложение Б
(обязательное)

Карта учебно-методического обеспечения
учебной дисциплины «Квантовая и оптическая электроника»

Таблица Б.1 – Основная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника : учебное пособие для вузов / А. Н. Игнатов. - Санкт-Петербург : Лань, 2011. - 538, [1] с. : ил. - (Учебники для вузов, Специальная литература). - Библиогр.: с. 526-530. - Прил.: с. 489-525. - ISBN 978-5-8114-1136-8	10	
2 Ишанин Г. Г. Приемники оптического излучения : учебник / Г. Г. Ишанин, В. П. Челибанов ; под ред. В. В. Коротаева. - Санкт-Петербург : Лань, 2018. - 303, [1] с. : ил. - (Учебники для вузов, Специальная литература). - Библиогр.: с. 296-299. - Прил.: с. 259-295. - Электрон. версия кн. на сайте www.e.lanbook.com. - ISBN 978-5-8114-1048-4	3	
3 Пихтин А. Н. Квантовая и оптическая электроника : учебник для вузов / А. Н. Пихтин. - Москва : Высшая школа : Абрис, 2012. - 655, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 652-653. - ISBN 978-5-4372-0004-9	10	
4 Шука А. А. Электроника : учебное пособие / Под ред. А. С. Сигова. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. - 799 с. : ил. - (Учебное пособие). - Библиогр. в конце тем. - Указ.: с. 792-799. - ISBN 5-94157-461-4	25	
Шука А. А. Электроника : учебное пособие для вузов / А. А. Шука ; под ред. А. С. Сигова. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. - 799 с. : ил. - (Учебное пособие). - Библиогр. в тексте. - Указ.: с. 792-799. - ISBN 5-94157-461-4. - ISBN 978-5-94157-461-2	6	

Таблица Б.2 – Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Быстров Ю. А. Оптоэлектронные приборы и устройства : учебное пособие для вузов. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва : РадиоСофт, 2001. - 253 с. : ил. - Библиогр.: с. 251. - ISBN 5-93037-070-2	3	
2 Звелто Орацио. Принципы лазеров = Principles of Lasers / Орацио Звелто ; пер. с англ.: Д. Н. Козлова, С. Б. Созинова, К. Г. Адамовича под науч. ред. Т. А. Шмаонова. - 4-е изд. - Санкт-Петербург : Лань, 2008. - 719, [1] с. : ил. - (Учебные пособия для вузов, Специальная литература). - Библиогр. в конце гл. - Прил.: с. 654-702. - Указ.: с. 703-712. - Рус. пер. перераб. и доп. при участии авт. кн. - ISBN 978-5-8114-0844-3	2	
3 Шуберт Фред Е. Светодиоды = Light-Emitting Diodes : Монография / Пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Физматлит, 2008. - 495, [1] с. : ил. - Библиогр. в тексте. - Прил.: с. 477-487. - Указ.: с. 488-495. - ISBN 978-5-9221-0851-5	2	

Новгородский государственный
университет им. Ярослава Мудрого
Научная библиотека
Сектор учета *М. Соловьев*

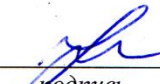
Таблица Б.3 – Информационное обеспечение

Наименование ресурса	Договор	Срок договора
Профессиональные базы данных		
База данных электронной библиотечной системы вуза «Электронный читальный зал-БиблиоТех» https://www.novsu.ru/dept/1114/bibliotech/	Договор № БТ-46/11 от 17.12.2014	бессрочный
Электронный каталог научной библиотеки http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/	База собственной генерации	бессрочный
База данных «Аналитика» (картотека статей) http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/	База собственной генерации	бессрочный
ЭБС «Электронная библиотечная система Новгородского государственного университета» (ЭБС НовГУ). Универсальный ресурс. Внутривузовские издания НовГУ.	Договор № 230 от 30.12.2022 с ООО «КДУ»	бессрочный
ЭБС «Лань» Единая профессиональная база данных для классических вузов – Издательство Лань «ЭБС» ЭБС ЛАНЬ	Договор от 23.12.2022 № 28/ЕП(У)22 с ООО «Издательство ЛАНЬ»	01.01.2023 - 31.12.2023
ЭБС «ЛАНЬ» Универсальный ресурс	Договор от 09.11.2020 № СЭБ НВ-283 с ООО «ЭБС ЛАНЬ»	09.11.2020 - 31.12.2023
«ЭБС ЮРАЙТ www.biblio-online.ru » Универсальный ресурс.	Договор от 23.12.2022 № 25/ЕП(У)22 с ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ»	01.01.2023 - 31.12.2023
«Национальная электронная библиотека» Универсальный ресурс.	Договор от 14.03.2022 № 101/НЭБ/2338-п с ФБГУ «Российская Государственная библиотека»	14.03.2022 - 14.03.2027
База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU https://elibrary.ru/	в открытом доступе	-
База данных электронно-библиотечной системы «Национальная электронная библиотека» https://нэб.рф	в открытом доступе	-
Информационные справочные системы		
Университетская информационная система «РОССИЯ» https://uisrussia.msu.ru	в открытом доступе	-
Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» https://openedu.ru	в открытом доступе	-

Проверено НБ НовГУ

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого
Научная библиотека
Сектор учета

Зав. кафедрой


подпись
И.О.Фамилия
« 2 » 06 2023 г.

Приложение В
(обязательное)

**Лист актуализации рабочей программы
учебной дисциплины «Квантовая и оптическая электроника»**

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.
Протокол № ____ заседания кафедры от « ____ » _____ 20__ г.
Разработчик: _____
Зав. кафедрой _____

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.
Протокол № ____ заседания кафедры от « ____ » _____ 20__ г.
Разработчик: _____
Зав. кафедрой _____

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.
Протокол № ____ заседания кафедры от « ____ » _____ 20__ г.
Разработчик: _____
Зав. кафедрой _____

Таблица В.1 – Перечень изменений, внесенных в рабочую программу:

Номер изменения	№ и дата протокола заседания кафедры	Содержание изменений	Зав.кафедрой	Подпись