МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

_____ **П. Е. Троян**

«___» _____ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства

Уровень основной образовательной программы Бакалавриат
Направление подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
Профиль «Оптические системы и сети связи»
Форма обучения очная
Факультет Радиотехнический
Кафедра Сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧиКР)
Курс третий **Семестр** шестой

Учебный план набора 2013, 2014, 2015 годов.

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 1	Семестр 2	Семестр 3	Семестр 4	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 7	Семестр 8	Всего	Единицы
1.	Лекции						24			24	часов
2.	Лабораторные работы						18			18	часов
3.	Практические занятия						18			18	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)						-			-	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)						60			60	часов
6.	Из них в интерактивной форме										часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)						84			84	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)						144			144	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена						36			36	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)						180			180	часов
	(в зачетных единицах)						5			5	ЗЕТ

Экзамен шестой **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале №

8352

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», утвержденного Приказом Минобрнауки России 06 марта 2015 г. регистрационный номер174, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры « » _____2016 г., протокол № ___

Разработчик Профессор каф. СВЧиКР _____ Шандаров В.М.
(должность, кафедра) (подпись) (Ф.И.О.)

Зав. кафедрой СВЧиКР _____ Шарангович С.Н.
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами.

Декан РТФ _____ Попова К.Ю.
(подпись) (Ф.И.О.)

Зав. профилирующей кафедрой СВЧиКР _____ Шарангович С.Н.
(подпись) (Ф.И.О.)

Зав. выпускающей кафедрой СВЧиКР _____ Шарангович С.Н.
(подпись) (Ф.И.О.)

Эксперты:

ТУСУР, каф.ТОР, доц. _____ С.И.Богомолов

ТУСУР, каф. СВЧиКР Профессор _____ А.Е. Мандель

Согласована на портале №

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ:

Цель преподавания дисциплины “Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства” состоит в подготовке студентов в области элементной базы систем оптической связи.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- изучение физических основ, принципов работы и построения оптоэлектронных и квантовых элементов, устройств и приборов, используемых в оптических системах;
- изучение характеристик и параметров важнейших приборов и устройств, используемых в оптических системах связи.

К числу подобных приборов, устройств и компонентов относятся квантовые генераторы и усилители, оптические модуляторы, фотоприемные устройства, нелинейно-оптические элементы и устройства, голографические и интегрально-оптические компоненты.

В результате изучения настоящей дисциплины студенты получат знания, имеющие не только самостоятельное значение, но и являющиеся фундаментом для изучения ряда последующих специальных дисциплин и практической работы специалистов в области оптической связи.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП:

Дисциплина “Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства” является обязательной дисциплиной вариативной части профессионального цикла (Б1.В.ОД.5).

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- умение проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных (ПК-9);
- способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики (ПК-17).

В результате изучения дисциплины студент должен

- **знать:**
  - физические основы оптоэлектронных и квантовых приборов (ПК-9);
  - основные законы и соотношения волновой теории направляющих оптических структур (ПК-9);
  - основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики (ПК-9);
  - устройство, особенности, основные характеристики и параметры изучаемых приборов (ПК-9, ПК-17);
- **уметь:**
  - объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы оптоэлектронных и квантовых приборов (ПК-9);
  - применять на практике известные методы экспериментального исследования оптоэлектронных и квантовых приборов (ПК-17);
  - выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик оптоэлектронных и квантовых приборов (ПК-17);

Согласована на портале №

- проводить компьютерное моделирование и проектирование оптоэлектронных и квантовых приборов, а также иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик (ПК-9);
- пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптоэлектронных и квантовых приборов, сопоставляя особенности характеристик таких материалов и элементов (ПК-17);

- **владеть:**

- навыками чтения и изображения схем оптоэлектронных и квантовых приборов на основе современной элементной базы (ПК-9);
- навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования оптоэлектронных и квантовых приборов различного назначения (ПК-9);
- навыками практической работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и квантовых приборов, с оптическими приборами и с контрольно-измерительной аппаратурой (ПК-17).

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	60	60
В том числе:		
Лекции	24	24
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Практические занятия	18	18
Самостоятельная работа (всего), в том числе:	84	84
Изучение материала лекций	12	12
Подготовка к контрольным работам	12	12
Самостоятельное изучение отдельных тем	24	24
Подготовка к экзамену и сдача экзамена	36	36
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	экзамен	
Общая трудоемкость	144	144
Зачетные единицы трудоемкости	4	4

Согласована на портале №

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Лаб. зан.	Практ. Зан.	СРС	Все-го час. (без экз)	**Формируемые компетенции (ПК)**
1	Введение.	1	-	-	1	3	ПК-9
2	Физические основы и особенности квантовых приборов.	2	4	-	5	18	ПК-9, ПК-17
3	Оптические резонаторы и селекция мод	2	4	4	7	18	ПК-9, ПК-17
4	Типы и режимы работы лазеров	3	-	4	6	25	ПК-9, ПК-17
5	Материалы полупроводниковой микро- и оптоэлектроники. Гетеропереходы.	3	-	2	5	13	ПК-9, ПК-17
6	Полупроводниковые источники излучения	4	-	2	5	18	ПК-9, ПК-17
7	Методы модуляции и управления оптическим излучением	2	6	4	7	24	ПК-9, ПК-17
8	Фотодиоды и фотоприемные устройства	2	-	2	5	12	ПК-9, ПК-17
9	Оптическое управление СВЧ устройствами	1	-	-	1	5	ПК-9, ПК-17
10	Элементы интегральной оптики. Основы нелинейной оптики. Физические основы голографии.	3	4	-	5	15	ПК-9, ПК-17
11	Основы применения оптоэлек-тронных и квантовых приборов в инфокоммуникациннных технологиях и системах связи	1	-	-	1	3	ПК-9, ПК-17
Итого:		24	18	18	48	108	

5.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	**Наименование раздела дисциплины**	**Содержание раздела**	**Трудоемкость (час.)**	**Формируемые компетенции (ПК)**
1	Введение	Этапы развития квантовой электроники. Основные приборы и устройства систем оптической связи и информатики. Задачи курса.	**1**	ПК-9

Согласована на портале №

2	Физические основы и особенности квантовых приборов	Виды квантовых переходов. Коэффициенты Эйнштейна. Инверсная населенность. Ширина спектральной линии. Взаимодействие бегущих электромагнитных волн с активной средой. Закон Бугера. Условия усиления и генерации колебаний в квантовых системах.	**2**	ПК-9, ПК-17
3	Оптические резонаторы и селекция мод	Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо. Моды продольные и поперечные. Спектральные характеристики. Многослойные диэлектрические покрытия и интерференционные фильтры. Перестраиваемые резонаторы. Селекция продольных и поперечных мод.	**2**	ПК-9, ПК-17
4	Типы и режимы работы лазеров	Теоретические основы. Трех- и четырех-уровневые лазеры. Стационарные режимы лазеров. Оптимальная обратная связь. Импульсные режимы. Модуляция добротности и синхронизация мод. Типы лазеров (газовые, твердотельные, жидкостные) и методы их накачки.	**3**	ПК-9, ПК-17
5	Материалы полупроводниковой микро- и оптоэлектроники. Гетеропереходы.	Одно-, двух-, трех- и четырехкомпонентные полупроводники. Диаграмма связи постоянной кристаллической решетки и ширины запрещенной зоны трех- и четырехкомпонентных полупроводников. Гетеропереходы.	**3**	ПК-9, ПК-17
6	Полупроводниковые источники излучения	Полупроводниковые лазеры и светоизлучающие диоды (СИД) на двойных гетеропереходах (на GaAs и InP): устройства, характеристики, параметры. Лазеры с распределенной обратной связью и распределенными брэгговскими зеркалами. Лазеры на квантово- размерных эффектах и сверхрешетках. Оптические усилители: полупроводниковые и волоконные. Шумовые характеристики лазеров.	**4**	ПК-9, ПК-17
7	Методы модуляции и управления оптическим излучением	Непосредственная модуляция полупроводнико-вого лазера по цепи питания. Внешние модуля-торы: электрооптические и акустооптические - параметры и характеристики. Осуществление разных видов модуляции. Дефлекторы.	**2**	ПК-9, ПК-17
8	Фотодиоды и фотоприемные устройства	Характеристики фотодиодов (ФД). Основные типы ФД: pin- и лавинные. Гетероструктурные ФД. Фотоприемные устройства. Шумовые характеристики фотоприемных устройств.	**2**	ПК-9, ПК-17
9	Оптическое управление сверхвысокочастотн ыми (СВЧ) устройствами	Достоинства метода. Оптическое управление: усилителями, генераторами (управление, настройка, синхронизация), смесителями и пр. Оптический синтез СВЧ сигналов.	**1**	ПК-9, ПК-17
`10	Элементы инте-гральной оптики. Основы нелинейной оптики. Физические основы голографии.	Диэлектрические оптические волноводы. Волноводно-оптические элементы и схемы. Материалы интегральной оптики. Нелинейная поляризация. Генерация гармоник. Самофокусировка. Многофотонные эффекты. Оптические солитоны. Запись и считывание голограмм. Основные соотношения. Опорный и предметный пучки. Перспективы использования голографии.	**3**	ПК-9, ПК-17

Согласована на портале №

11	Основы применения оптоэлектронных и квантовых приборов в инфокоммуника-циннных технологиях и системах связи	Место оптоэлектронных и квантовых приборов в инфокоммуникационных технологиях и системах связи. Требуемые характеристики полупроводниковых излучателей и фотоприемников для применения в современных системах связи.	**1**	ПК-9, ПК-17

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

№ п/п	Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов данной дисциплины из табл.5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Предшествующие дисциплины												
1	Математический анализ	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	Физика	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3	Информатика	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
4	Математические методы описания сигналов	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+
5	Физические основы оптоэлектроники	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6	Введение в оптические системы и сети связи	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
7	Основы физической оптики	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8	Основы волоконной оптики	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9	Оптические направляющие среды	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+
Последующие дисциплины												
1	Оптические цифровые телекоммуникационные системы	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	Волоконно-оптические устройства технологического назначения	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-

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

Перечень компетенций	Виды занятий					Формы контроля по всем видам занятий
	Л	Лаб	Пр.	КР/КП	СРС	
ПК-9	+	+	+	-	+	Выступление на семинарах. Опрос на лабораторных работах. Зачет
ПК-17	+	+	+	-	+	Выступление на семинарах. Опрос на лабораторных работах. Зачет

Л – лекция, Лаб – лабораторные работы, Пр – практические занятия, КР/КП – курсовая работа/проект, СРС – самостоятельная работа студента

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Для успешного освоения дисциплины применяются различные образовательные технологии, которые обеспечивают достижение планируемых результатов обучения согласно основной образовательной программе, с учетом требований к объему занятий в интерактивной форме.

Согласована на портале №

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудо-емкость (час.)	ПК
2	Исследование пространственной когерентности излучения He-Ne лазера в одномодовом режиме	4	ПК-9, ПК-17
3	Исследование основных параметров газового лазера	4	ПК-9, ПК-17
7	Устройство ввода информации в оптическую систему	6	ПК-9, ПК-17
10	Исследование эффективности ввода света в планарный оптический волновод	4	ПК-9, ПК-17

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

№	Раздел дисциплины из табл. 5.1	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ПК
1	3	Расчет характеристик оптических резонаторов	4	ПК-9, ПК-17
2	4	Расчет условий усиления и генерации колебаний в квантовых системах	4	ПК-9, ПК-17
3.	5	Расчет состава полупроводниковых соединений для реализации излучателей и фоточувствительных элементов	2	ПК-9, ПК-17
4	6	Оценка параметров СИД и ЛД на многокомпонентных твердых растворах	2	ПК-9, ПК-17
5	7	Характеристики электрооптических и акустооптических модуляторов	4	ПК-9, ПК-17
6	8	Расчет параметров pin- и лавинных фотодиодов	2	ПК-9, ПК-17

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Разделы дисциплины из табл. 5.1	Тематика самостоятельной работы *(детализация)*	Трудо-емкость (час.)	Компе-тенции ПК	Контроль выполнения работы
1.	1.	Изучение теоретического материала.	1	ПК-9	Зачет
2.	2.	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам). Подготовка к лабораторной работе	5	ПК-9, ПК-17	Отчет по лабораторной работе. Зачет.
3.	3.	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам). Подготовка к лабораторной работе	7	ПК-9, ПК-17	Выступления на семинаре. Отчет по лабораторной работе. Зачет.
4.	4.	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам).	6	ПК-9, ПК-17	Выступления на семинаре. Зачет.
5.	5.	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам).	5	ПК-9, ПК-17	Выступления на семинаре. Зачет.

Согласована на портале №

6.	6.	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам).	5	ПК-9, ПК-17	Выступления на семинаре. Зачет.
7	7	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам). Подготовка к лабораторной работе.	7	ПК-9, ПК-17	Выступления на семинаре. Отчет по лабораторной работе. Зачет.
8	8	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам).	5	ПК-9, ПК-17	Выступления на семинаре. Зачет.
9	9	Изучение теоретического материала.	1	ПК-9, ПК-17	Выступления на семинаре. Зачет.
10	10	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам). Подготовка к лабораторной работе	5	ПК-9, ПК-17	Выступления на семинаре. Отчет по лабораторной работе. Зачет.
11	11	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям (семинарам).	1	ПК-9, ПК-17	Выступления на семинаре. Зачет.

10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

Курсовые проекты (работы) учебным планом не предусмотрены

11. БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА

МЕТОДИКА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Осуществляется в соответствии с **Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов** (приказ ректора 25.02.2010 № 1902) и основана на бально- рейтинговой системе оценки успеваемости , действующей с 2009 г., которая включает **текущий** контроль выполнения элементов объема дисциплины по элементам контроля с подведением текущего рейтинга (раздел 6).

Правила формирования пятибалльных оценок за каждую контрольную точку (КТ1, КТ2) осуществляется путем округления величины, рассчитанной по формуле:

$$КТх\big|_{x=\ ,2} = \frac{(Сумма_баллов, _набранная_к_КТх)*5}{Гребуемая_сумма_баллов_по_балльной_раскладке}.$$

Итоговый контроль освоения дисциплины осуществляется на экзамене по традиционной пятибалльной шкале. Обязательным условием перед сдачей экзамена является выполнение студентом необходимых по рабочей программе для дисциплины видов занятий: выполнение и защита результатов лабораторных работ.

Экзаменационный билет содержит два вопроса. Максимальная оценка за каждый вопрос составляет 15 баллов. Максимальная экзаменационная оценка составляет 30 баллов. Экзаменационная составляющая менее 10 баллов – не сдача экзамена, требует повторной перездачи в установленном порядке.

Формирование итоговой суммы баллов осуществляется путем суммирования семестровой (до 70 баллов) и экзаменационной составляющих (до 30 баллов).

Таблица 11.1 Распределение баллов в течение семестра

Согласована на портале №

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую контрольную точку с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Посещение занятий	3	3	4	**10**
Тестовые контрольные работы на практических занятиях	8	8	8	**24**
Выполнение и защита результатов лабораторных работ		12	12	**24**
Компонент своевременности	4	4	4	**12**
Итого максимум за период:	**15**	**27**	**28**	**70**
Сдача экзамена (максимум)				**30**
Нарастающим итогом	**15**	**42**	**70**	**100**

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**
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**

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. С.М. Шандаров, А.И. Башкиров. Введение в квантовую и оптическую электронику. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники: [Электронный ресурс]: учебное пособие – 2012. 98 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/1578

2. В.М. Шандаров. Основы физической оптики. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники: [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2013. – 190 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/3739

12.2. Дополнительная литература

Согласована на портале №

1. А.Г. Смирнов. Квантовая электроника и оптоэлектроника. Мн. ВШ.;1987.-196 с. **(11)**
2. А. Ярив. Введение в оптическую электронику: Пер. с англ.- М.: ВШ.;1983.-398 с. **(3)**
3. Ю.В. Байбородин. Основы лазерной техники.- К.: ВШ.;1988.-383 с. **(38)**
4. А.Н. Пихтин. Оптическая и квантовая электроника. – М: ВШ. 2001, 572с. **(159)**

12.3. Перечень методических указаний по практическим занятиям и лабораторным работам

1. Шангина Л. И. Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс] : Учебно-методическое пособие по практическим занятиям. - Томск: ТУСУР, 2012. – 228 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/714.

2. Кущ Г. Г., Шандаров В. М. Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства : [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по организации самостоятельной работы и практических занятий – 2012.- 61 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/2272

3. Кущ Г. Г., Шандаров В. М. Исследование эффективности ввода света в планарный оптический волновод: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе / – 2011. -18 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/123

4. Кущ Г. Г. Устройство ввода информации в оптическую систему: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе – 2011. -22 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/114

5. Кущ Г. Г. Исследование основных параметров газового лазера: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе – 2011. -24 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/115

6. Кущ Г. Г. Исследование пространственной когерентности излучения He –Ne лазера в одномодовом режиме: Методические указания к лабораторной работе: [Электронный ресурс]: – 2011. -16 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/116

13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ:

Лаборатории каф. СВЧиКР, в том числе, специализированная лаборатория «Оптоэлектроники» (ауд. 333б), а также лаборатории других кафедр РТФ. Вычислительная лаборатория (ауд.337 б), кафедры СВЧиКР оборудована персональными компьютерами, объединенными в локальную вычислительную сеть каф. СВЧиКР с выходом в Internet.

14. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:

Объем часов, предусмотренных учебным планом для изучения дисциплины, позволяет осветить только ключевые моменты и раскрыть базовые понятия при чтении лекций. Поэтому при реализации программы студенты должны достаточно много работать самостоятельно как при повторении лекционного материала, так и при подготовке к лабораторным занятиям и выполнении самостоятельной работы. Для обеспечения эффективного усвоения студентами материалов дисциплины необходимо на первом занятии снабдить их перечнем вопросов, которые подлежат изучению, списком основной и дополнительной литературы для самостоятельной работы, тематикой заданий для самостоятельной работы.

Для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации используется тестовый контроль знаний.

Лекционные занятия желательно проводятся с применением презентаций, а так же лекционных демонстраций. Это существенно улучшает динамику лекций и способствует

Согласована на портале №

лучшему усвоению материала. На лекциях необходимо обращать внимание на особенности применения рассматриваемого материала в последующих курсах, а также в будущей профессиональной деятельности.

Согласована на портале №

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П.Е. Троян
«___» _____ 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства

Уровень основной образовательной программы: БАКАЛАВРИАТ

Направление(я) подготовки (специальность): 11.03.02 «ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ»

Профиль(и): ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ СВЯЗИ

Форма обучения ОЧНАЯ

Факультет РТФ (РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ)

Кафедра СВЧиКР (СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ И КВАНТОВОЙ РАДИОТЕХНИКИ)

Курс 3 **Семестр 6**

Учебный план набора 2013, 2014, 2015 годов.

Зачет _____ семестр **Диф. зачет _____ семестр**
Экзамен 6 семестр

Томск 2016

Согласована на портале №

8352

1. Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций приведен в таблице 1

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ПК-9	Умение проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных.	**Должен знать** физические основы оптоэлектронных и квантовых приборов; основные законы и соотношения волновой теории направляющих оптических структур; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики; устройство и особенности изучаемых приборов. **Должен уметь** объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы оптоэлектронных и квантовых приборов; проводить компьютерное моделирование и проектирование оптоэлектронных и квантовых приборов, а также иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик. **Должен владеть** навыками чтения и изображения схем оптоэлектронных и квантовых приборов на основе современной элементной базы; навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования оптоэлектронных и квантовых приборов различного назначения.
ПК-17	Способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики	**Должен знать** устройство, особенности, основные характеристики и параметры изучаемых приборов. **Должен уметь** применять на практике известные методы экспериментального исследования оптоэлектронных и квантовых приборов; выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик оптоэлектронных и квантовых приборов; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптоэлектронных и квантовых приборов, сопоставляя особенности характеристик таких материалов и элементов. **Должен владеть** навыками практической работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и квантовых приборов, с оптическими приборами и с контрольно-измерительной аппаратурой.

Согласована на портале №

2. Реализация компетенций

2.1. Компетенция ПК-9

ПК-9: умение проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных.
Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов.
Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.

Таблица 2–Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Физические основы оптоэлектронных и квантовых приборов; основные законы и соотношения волновой теории направляющих оптических структур; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики; устройство и особенности изучаемых приборов.	Объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы оптоэлектронных и квантовых приборов; проводить компьютерное моделирование и проектирование оптоэлектронных и квантовых приборов, а также иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик.	Навыками чтения и изображения схем оптоэлектронных и квантовых приборов на основе современной элементной базы; навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования оптоэлектронных и квантовых приборов различного назначения.
Виды занятий	Лекции. Практические занятия.	Лабораторные работы. Практические занятия. Самостоятельная работа студентов.	Лабораторные работы. Самостоятельная работа студентов.
Используемые средства оценивания	Задачи. Экзамен.	Задачи. Оформление отчетности и защита лабораторных работ.	Защита лабораторных работ. Экзамен.

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 3.

Таблица 1 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Обладает фактическим и теоретическим знанием в пределах изучаемой	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия

Согласована на портале №

	области с пониманием границ применимости.	творческих решений, абстрагирования проблем.	работы.
Хорошо (базовый уровень)	Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области.	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования.	Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем.
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Обладает базовыми общими знаниями.	Обладает основными умениями, требуемыми для решения простых задач.	Работает при прямом наблюдении.

Формулировка показателей и критериев оценивания компетенции приведена в таблице 4.

Таблица 2 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	**Знать**	**Уметь**	**Владеть**
Отлично (высокий уровень)	Знает физические основы оптоэлектронных и квантовых приборов; основные законы и соотношения волновой теории направляющих оптических структур; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики; устройство и особенности изучаемых приборов.	Объясняет физические эффекты, лежащие в основе работы оптоэлектронных и квантовых приборов; может проводить компьютерное моделирование и проектирование оптоэлектронных и квантовых приборов; имеет представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик.	Свободно владеет навыками чтения и изображения схем оптоэлектронных и квантовых приборов на основе современной элементной базы; навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования оптоэлектронных и квантовых приборов различного назначения.
Хорошо (базовый уровень)	Понимает связи между различными понятиями в области физики работы оптоэлектронных и квантовых приборов. Понимает принципы построения подобных элементов и приборов.	Умеет выполнять поиск информации в области оптики, используя ресурсы отечественных и зарубежных источников. Умеет самостоятельно выбирать методы решения задач в области физической оптики.	Владеет навыками работы с литературными источниками, связанными с оптическими явлениями.
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Дает определения основных понятий в области оптоэлектронных и квантовых приборов.	Умеет работать со справочной литературой; умеет представлять результаты своей работы.	Может корректно представить информацию, связанную с оптоэлектронными и квантовыми приборами.

Согласована на портале №

2.2. Компетенция ПК-17

ПК-17: способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики.
Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов.
Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания, представлены в таблице 5.

Таблица 5–Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Устройство, особенности, основные характеристики и параметры изучаемых приборов.	Применять на практике известные методы экспериментального исследования оптоэлектронных и квантовых приборов; выполнять расчеты параметров и характеристик оптоэлектронных и квантовых приборов; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптоэлектронных и квантовых приборов.	Навыками практической работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и квантовых приборов, с оптическими приборами и контрольно-измерительной аппаратурой.
Виды занятий	Лекции. Практические занятия.	Лабораторные работы. Практические занятия. Самостоятельная работа студентов.	Лабораторные работы. Самостоятельная работа студентов.
Используемые средства оценивания	Задачи. Экзамен.	Оформление отчетности и защита лабораторных работ.	Защита лабораторных работ. Экзамен.

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости.	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем.	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы.

Согласована на портале №

Хорошо (базовый уровень)	Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области.	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования.	Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем.
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Обладает базовыми общими знаниями.	Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач.	Работает при прямом наблюдении.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Показатели и критерии оценивания компетенции

Показатели и критерии	**Знать**	**Уметь**	**Владеть**
Отлично (высокий уровень)	Знает устройство, особенности, основные характеристики и параметры изучаемых приборов.	Умеет применять на практике известные методы экспериментального исследования оптоэлектронных и квантовых приборов; выполнять расчеты параметров и характеристик оптоэлектронных и квантовых приборов; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптоэлектронных и квантовых приборов.	Свободно владеет навыками практической работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и квантовых приборов, с оптическими приборами и контрольно-измерительной аппаратурой.
Хорошо (базовый уровень)	Понимает принципы построения оптоэлектронных и квантовых элементов и приборов.	Умеет самостоятельно определять методы решения задач экспериментального исследования и проектирования оптоэлектронных и квантовых приборов.	Владеет навыками работы с лабораторными образцами оптоэлектронных и квантовых приборов.
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Имеет представление о принципах построения интегрально-оптических элементов и приборов, об основных понятиях в области оптики.	Умеет работать со справочной литературой; умеет представлять результаты своей работы.	Может корректно представить знания и информацию, связанную с оптическими явлениями.

Согласована на портале №

3.Типичные контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы:

- контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе:

Контрольные задачи (типичные) по элементарным знаниям и практическим навыкам по темам:

3.1. ТЕМА: Оптические резонаторы и селекция мод.

Задача №1.
Найдите естественную ширину спектральной линии для квантового перехода в двухуровневой квантовой системе с временем жизни в возбужденном состоянии $t=10^{-9}$ с при частоте перехода 10^{12} Гц.

Решение:

Естественная ширина спектральной линии $\Delta\nu_0$ для двухуровневой квантовой системы определяется соотношением $\Delta_0 = A_{21}/2\pi$, где A_{21} - коэффициент Эйнштейна по спонтанным переходам. Его величина связана с временем жизни системы в возбужденном состоянии τ обратной зависимостью: $A_{21} = 1/\tau$. Соответственно, естественная ширина спектральной линии не зависит от частоты перехода и составляет в данном случае $\Delta n_0 = 1/2\pi\tau = 10^9/2\pi \approx 1{,}59\cdot 10^8$ Гц=159 МГц.

3.2. ТЕМА: Типы и режимы работы лазеров

Задача №1.
Ширина спектральной линии активной среды составляет $\Delta\nu$=1 ГГц при центральной длине волны света 0,5 мкм. Найдите расстояние между плоскими зеркалами открытого оптического резонатора, при котором лазер на основе такой среды может генерировать излучение в виде одной продольной моды.

Решение.

Межмодовое расстояние $\delta\nu$ для оптического резонатора составляет $\delta\nu = c/2L$. Для генерирования одной продольной моды необходимо, чтобы это расстояние было больше ширины линии люминесценции активной среды, т.е. $c/2L > \Delta\nu$, откуда получим условие одномодовой генерации в виде $L < c/2\Delta\nu$. Соответственно, получим: L<15 см.

3.3. ТЕМА: Материалы полупроводниковой микро- и оптоэлектроники. Гетеропереходы.

Задача №1.
На тонкую плоскопараллельную пластинку из плавленого кварца (показатель преломления n=1,468) в направлении ее нормали падает плоская световая волна с амплитудой E_0=100 В/м.

Согласована на портале №

Найдите амплитуду прошедшей через пластинку волны, пренебрегая вкладом вторичных волн, наличие которых обусловлено многократным переотражением света в пластинке. Окружающая среда – воздух.

Решение.

Коэффициент отражения света при его нормальном падении на границу раздела двух диэлектрических сред по амплитуде определяется соотношением $R = \frac{n-}{n+}$. Используя понятия отражательной и пропускательной способностей (r и t) или отражения и пропускания по интенсивности, в отсутствии поглощения света на границе (этому соответствует условие r+t=1) амплитуда прошедшей в среду волны будет определяться соотношением $E_{пр}=E_0(1-r)^{1/2}$. При выходе света из пластинки в среду, очевидно, она составит $E_{вн}=E_{пр}(1-r)^{1/2}= E_0(1-r)$, где $r=R^2$. Соответственно, $E_{вн}=E_0(1-0{,}468^2/2{,}468^2)=100\cdot0{,}964=96{,}4$ В/м.

3.4. ТЕМА: Полупроводниковые источники излучения

Задача №1.

Оценить угловую расходимость излучения полупроводникового лазера с толщиной активного слоя 0,5 мкм и размером излучающей области в плоскости этого слоя 10 мкм, если средняя длина волны излучения составляет 0,8 мкм.

Решение.

Как известно, распределение интенсивности света в поперечном сечении лазерного пучка может с достаточной точностью аппроксимироваться функцией Гаусса. В этом случае угловая расходимость определяется соотношениями $\theta_в=1{,}27\lambda/d$ и $\theta_г=1{,}27\lambda/w$, где λ, d и w – длина волны света и ширина Гауссова пучка в ортогональных направлениях в его поперечном сечении в области перетяжки. В нашем случае плоскость перетяжки совпадает с выходной плоскостью кристалла, поэтому угловая расходимость излучения лазера составит $\theta_в=\lambda/d$

3.5. ТЕМА: Методы модуляции и управления оптическим излучением

Задача №1.

Возможен ли режим дифракции Брэгга при длине волны света λ=633 нм на акустическом пучке шириной L=5 мм при частоте продольных акустических волн 60 МГц в плавленом кварце (n=1,46)? Скорость продольной волны в плавленом кварце $v=5{,}99\cdot10^3$ м/с.

Решение.

Как известно, режим дифракции Брэгга при акустооптическом взаимодействии реализуется, если угловая расходимость акустического пучка существенно меньше угла Брэгга. Этому соответствует условие Q≥1 (величина параметра Q определяется соотношением $Q = \frac{2\pi\ \lambda}{n\Lambda}$). Для заданных условий задачи найдем величину Q:

$Q=2\cdot3{,}14\cdot0{,}5\cdot0{,}633\cdot10^{-4}\cdot3600\cdot10^{12}/1{,}46\cdot5{,}99^2\cdot10^{10}=1{,}36$.

Таким образом, в рассматриваемом случае режим дифракции Брэгга возможен.

Согласована на портале №

3.6. ТЕМА: Фотодиоды и фотоприемные устройства

Задача №1.

Время жизни неосновных носителей в области рекомбинации в излучающей светодиодной структуре равно $t=10^{-8}$ с. Оцените предельную частоту модуляции интенсивности излучения для данного светоизлучающего диода при его прямой токовой модуляции, полагая, что данной частоте соответствует снижение излучаемой световой мощности в два раза в сравнении с таковой при постоянном токе инжекции.

Решение.

Известно, что при гармонической модуляции тока накачки светодиода зависимость излучаемой мощности от частоты P(f) определяется соотношением:

$P(f) = \frac{P(0)}{\sqrt{1+ 2\pi f \tau}^2}$, где P(0) – мощность излучения при постоянном токе накачки, τ - время жизни неосновных носителей в области рекомбинации. Соответственно, из условия $P(f_{max})=0.5P(0)$ найдем: $f_{max}=\sqrt{3}/2\pi\tau=27{,}57$ МГц.

4. Темы самостоятельной работы студентов

4.1. Физические основы и особенности квантовых приборов
4.2. Оптические резонаторы и селекция мод
4.3. Типы и режимы работы лазеров
4.4. Типы и режимы работы лазеров
4.5. Материалы полупроводниковой микро- и оптоэлектроники. Гетеропереходы.
4.6. Полупроводниковые источники излучения
4.7. Методы модуляции и управления оптическим излучением
4.8. Фотодиоды и фотоприемные устройства
4.9. Оптическое управление сверхвысокочастотными (СВЧ) устройствами
4.10. Элементы интегральной оптики. Основы нелинейной оптики. Физические основы голографии.
4.11. Основы применения оптоэлектронных и квантовых приборов в инфокоммуникациннных технологиях и системах связи

5. Темы лабораторных работ

1. Исследование пространственной когерентности излучения He-Ne лазера в одномодовом режиме.
2. Исследование основных параметров газового лазера.
3. Устройство ввода информации в оптическую систему.
4. Исследование эффективности ввода света в планарный оптический волновод.

6. Экзаменационные вопросы

1. Постоянная Планка, связь между частотой и энергией, импульсом и волновым вектором фотона.

Согласована на портале №

2. Правило частот Бора.
3. Волна де Бройля, физический смысл волновой функции.
4. Уравнение Шредингера.
5. Типичная структура системы энергетических уровней молекулы.
6. Виды квантовых переходов (спонтанные и индуцированные переходы).
7. Различия в характеристиках спонтанного и индуцированного излучения.
8. Коэффициенты Эйнштейна для спонтанных и индуцированных переходов. Соотношение между коэффициентами Эйнштейна.
9. Механизмы уширения спектральных линий для активных сред в разном агрегатном состоянии. Естественная ширина спектральной линии. Однородное и неоднородное уширение.
10. Условия усиления колебаний в квантовых системах.
11. Понятие отрицательной температуры (инверсии населеннойстей).
12. Кинетические уравнения для двухуровневой квантовой системы.
13. Взаимодействие плоской световой волны с активной средой.
14. Способы достижения инверсии населеннойстей в квантовых системах.
15. Открытый оптический резонатор. Продольные и поперечные моды в резонаторе Фабри-Перо. Соотношения для собственных частот продольных мод и межмодового расстояния.
16. Добротность открытого оптического резонатора.
17. Перестраиваемые оптические резонаторы. Селекция продольных и поперечных мод.
18. Многослойные диэлектрические покрытия и интерференционные фильтры.
19. Условия самовозбуждения лазера.
20. Трех- и четырехуровневые лазеры. Стационарные режимы работы лазеров. Оптимальная обратная связь. Импульсные режимы. Синхронизация мод. Модуляция добротности.
21. Типы газовых лазеров. Основные отличия атомарных, ионных и молекулярных лазеров.
22. Твердотельные лазеры. Особенности накачки.
23. Особенности волоконно-оптических лазеров.
24. Материалы полупроводниковой оптоэлектроники. Условия поглощения и излучения света в полупроводнике. Твердые растворы замещения.
25. Инжекционный полупроводниковый лазер. Принцип работы.
26. Гетеропереходы, основные преимущества перед гомопереходами.
27. Полупроводниковый гетеролазер.
28. Полупроводниковые лазеры на сверхрешетках.
29. Светоизлучающие диоды. Особенности конструкции и основные отличия полупроводниковых светодиодов и лазеров.
30. Оптические усилители. Полупроводниковые и волоконные усилители.
31. Акустооптические модуляторы и дефлекторы света.
32. Электрооптические элементы управления оптическим излучением.
33. Фотодиоды на основе p-n перехода, p-i-n диоды, ЛФД.
34. Шумовые характеристики лазеров.
35. Шумовые характеристики фотоприемников.
36. Нелинейная поляризация среды.
37. Генерация оптических гармоник.
38. Эффект параметрического усиления света.
39. Пространственное самовоздействие световых пучков.
40. Многофотонные нелинейно-оптические эффекты.
41. Рассеяние света. Рассеяние Рэлея, комбинационное рассеяние, вынужденное рассеяние света.
42. Эффект временных и пространственных оптических солитонов.

Согласована на портале №

43. Физические основы голографии.
44. Элементы интегральной оптики.
45. Оптические устройства информатики.

7. Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы для оценивания знаний и характеризующие этапы формирования компетенций (все методические материалы приведены в п.12 программы):

1. С.М. Шандаров, А.И. Башкиров. Введение в квантовую и оптическую электронику. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники: [Электронный ресурс]: учебное пособие – 2012. 98 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/1578
2. В.М. Шандаров. Основы физической оптики. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники: [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2013. – 190 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/3739
3. Шангина Л. И. Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс] : Учебно-методическое пособие по практическим занятиям. - Томск: ТУСУР, 2012. – 228 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/714.
4. Кущ Г. Г., Шандаров В. М. Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства : [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по организации самостоятельной работы и практических занятий – 2012.- 61 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/2272
5. Кущ Г. Г., Шандаров В. М. Исследование эффективности ввода света в планарный оптический волновод: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе / – 2011. -18 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/123
6. Кущ Г. Г. Устройство ввода информации в оптическую систему: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе – 2011. -22 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/114
7. Кущ Г. Г. Исследование основных параметров газового лазера: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе – 2011. -24 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/115
8. Кущ Г. Г. Исследование пространственной когерентности излучения He –Ne лазера в одномодовом режиме: Методические указания к лабораторной работе: [Электронный ресурс]: – 2011. -16 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/116

Согласована на портале №