

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»



УТВЕРЖДАЮ

Документ подписан электронной подписью  
Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820  
Владелец: Троян Павел Ефимович  
Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОПТИКА**

**Уровень основной образовательной программы** бакалавриат  
**Направление подготовки** 11.03.04 Электроника и микроэлектроника  
**Профиль:** Квантовая и оптическая электроника  
**Форма обучения** Очная

**Факультет** электронной техники (ФЭТ)  
**Кафедра** электронных приборов (ЭП)

**Курс** 4 **Семестр** 7

**Учебный план набора 2015 года**

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 7	Всего	Единицы
1	Лекции	20	20	час
2	Лабораторные работы	12	12	час
3	Практические занятия	12	12	час
4	Курсовая работа (КРС) (аудиторная)	не предусмотрена		час
5	Всего аудиторных занятий (сумма 1 - 4)	44	44	час
6	Из них в интерактивной форме	30	30	час
7	Самостоятельная работа студентов (СРС)	64	64	час
8	Всего (без экзамена) (Сумма 5, 7)	108	108	час
9	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена	-	-	час
10	Общая трудоемкость (Сумма 8, 9)	108	108	час
	(в зачетных единицах)	3	3	ЗЕТ

Зачет – 7 (седьмой) семестр

Томск 2017

### Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) третьего поколения по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 3 сентября 2015 г. N 218.

Профиль: Квантовая и оптическая электроника

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры « » 2016 г., протокол №

Разработчик: \_\_\_\_\_ В.М. Шандаров

Зав. кафедрой, профессор каф.ЭП \_\_\_\_\_ С.М. Шандаров

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки 210100.62 – Электроника и нанoeлектроника

Декан ФЭТ \_\_\_\_\_ А.И. Воронин

Зав. обеспечивающей кафедрой СВЧиКР \_\_\_\_\_ С.Н. Шарангович

Зав. выпускающей кафедрой ЭП \_\_\_\_\_ С.М. Шандаров

Эксперты:

Проф. каф. СВЧиКР \_\_\_\_\_ А.Е. Мандель

Председатель методической комиссии каф ЭП \_\_\_\_\_ Л.Н. Орликов

## 1. Цели и задачи дисциплины «Интегральная оптика»

**Цель** дисциплины - усвоение студентами физических основ функционирования, фундаментальных пределов и ограничений устройств интегральной оптики, находящихся все более широкое применение в современной науке и технике.

**Задачи дисциплины** - формирование ясной физической картины распространения оптического излучения в планарных световодах; комплексный анализ механизмов акусто-, электро- и магнито-оптического взаимодействий излучения со средой распространения; сравнительный анализ методов модуляции излучения, ограничения накладываемые этими методами на оптико – электронные устройства и устройства интегральной оптики; ознакомление с уровнем современного развития интегральной оптики, тенденциями ее дальнейшего развития.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

«Интегральная оптика» – дисциплина по выбору (Б1.В.ДВ.9.2) подготовки студентов по направлению подготовки бакалавров 11.03.04 Электроника и наноэлектроника.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);

– способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2).

В результате изучения дисциплины студент должен:

**знать:** физические основы функционирования, фундаментальные пределы и ограничения устройств интегральной оптики.

**уметь:** строить математические и физические модели процессов распространения оптического излучения в волноводных средах; проводить комплексный анализ причин и механизмов потерь оптического излучения, дисперсионных характеристик волноводов; проводить сравнительный анализ методов модуляции излучения.

**владеть:** терминологией, используемой в интегральной оптике; навыками моделирования и исследования процессов распространения световых волн в оптических волноводах; современными методами и подходами при разработке и эксплуатации устройств и систем интегральной оптики.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет две зачетных единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		7
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	44	44
В том числе:		
Лекции	20	20
Лабораторные работы (ЛР)	12	12
Практические занятия (ПЗ)	12	12
Курсовая работа (КРС) (аудиторная)	-	-
Из них в интерактивной форме	30	30
	64	64
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>		
Всего (без экзамена)	108	108
Общая трудоемкость час	108	108
Зачетные Единицы Трудоемкости	3	3

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Лаб. зан.	Практ. зан.	КРС (аудиторная)	СРС	Всего час	Формируемые компетенции (ОК, ПК)
1	Введение	1				1	2	ОПК-1; ОПК-2
2	Основные соотношения для описания плоских световых волн и световых пучков	5	-	6	-	7	18	ОПК-1; ОПК-2
3	Планарные и канальные оптические волноводы	4	4	2	-	12	22	ОПК-1; ОПК-2
4	Материалы и методы формирования планарных и канальных волноводно-оптических элементов	3	4	-	-	12	19	ОПК-1; ОПК-2
5	Нелинейно-оптические эффекты в оптических волноводах	3	4	-	-	16	23	ОПК-1; ОПК-2
6	Пассивные и управляющие интегрально-оптические элементы; интегрально-оптические приборы	4	-	4	-	16	24	ОПК-1; ОПК-2
	Итого	20	12	12	-	64	108	

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Раздел дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость (час)	Формируемые компетенции (ОК, ПК)
1	Введение	Цель и содержание курса, его связь с другими дисциплинами, историческая справка о возникновении и развитии интегральной оптики, основная и дополнительная литература.	1	ОПК-1; ОПК-2
2	Основные соотношения для описания плоских световых волн и световых пучков	Система уравнений электромагнитного поля для диэлектрической среды. Волновое уравнение. Структура поля плоской световой волны в безграничной среде. Поляризация света. Поляризационные элементы. Отражение света от плоской границы. Полное внутреннее отражение света. Параболическое уравнение теории дифракции. Гауссов световой пучок.	5	ОПК-1; ОПК-2
3	Планарные и канальные оптические волноводы	Планарный оптический волновод: моды волновода - направляемые, вытекающие, излучательные; ТЕ и ТМ моды; формирование направляемых мод с позиций геометрической оптики и дисперсионное уравнение планарного волновода. Электромагнитная теория планарного диэлектрического волновода. Вывод дисперсионного уравнения и дисперсионные кривые; нормированные параметры и обобщенные дисперсионные кривые. Планарные волноводы со ступенчатым и градиентным профилями показателя преломления. Дисперсионное уравнение для градиентного планарного волновода. Механизмы потерь света в оптических волноводах. Канальные оптические волноводы: основные типы канальных волноводов; моды канальных оптических волноводов.	4	ОПК-1; ОПК-2
4	Материалы и методы формирования	Основные материалы интегральной оптики: аморфные диэлектрики, полупроводниковые материалы, электрооптические кристаллы. Методы эпитаксии в	3	ОПК-1; ОПК-2

	планарных и канальных волноводно-оптических элементов	формировании полупроводниковых волноводно-оптических элементов. Методы диффузии, ионного обмена, ионной имплантации в формировании волноводно-оптических элементов в диэлектрических кристаллических материалах. Типичные характеристики волноводно-оптических элементов при использовании разных методов формирования.		
5	Нелинейно-оптические эффекты в оптических волноводах	Поляризация диэлектрика в электрическом поле. Среды с квадратичной и кубичной оптической нелинейностью - возможные нелинейно-оптические эффекты в таких средах. Уравнение нелинейных волн. Нелинейно - оптические материалы. Генерация второй гармоники. Самомодуляция. Самовоздействие световых пучков в нелинейной среде. Временные и пространственные оптические солитоны. Вынужденное комбинационное рассеяние и вынужденное рассеяние Мандельштама - Бриллюэна. Особенности проявления нелинейно-оптических эффектов в волноводно-оптических структурах	3	ОПК-1; ОПК-2
6	Пассивные и управляющие интегрально-оптические элементы; интегрально-оптические приборы	Пассивные интегрально-оптические компоненты: линзы, призмы, зеркала, расщепители пучков, направленные ответвители, поляризаторы. Методы формирования, характеристики. Управляющие элементы интегральной оптики на основе электрооптического и акустооптического эффектов: модуляторы, дефлекторы, преобразователи частоты и поляризации света. Интегрально-оптические лазеры и датчики физических величин.	4	ОПК-1; ОПК-2
Итого			20	

### 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, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин					
		1	2	3	4	5	6
<b>Предшествующие дисциплины</b>							
	Физика	+	+	+	+	+	+
	Физика конденсированного состояния	-	+	+	+	+	+
	Математика	-	+	+	+	+	+
	Оптические методы обработки информации	-	+	+	+	+	+
	Твердотельные приборы и устройства	-	+	+	+	+	+
<b>Последующие дисциплины</b>							
	Микроволновые приборы и устройства	-	+	+	+	+	+
	Квантовые приборы и устройства	-	+	+	+	+	+
	Специальные вопросы технологии приборов квантовой электроники	-	+	+	+	+	+
	Когерентная оптика и голография	-	+	+	+	+	+

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

Перечень компетенций	Виды занятий					Формы контроля
	Л	Лаб	Пр	КР	СРС	
ОПК-1	+	+	+	-	+	Отчет по лабораторным работам. Проверка заданий на практических занятиях. Зачет.
ОПК-2	+	+	+	-	+	Отчет по лабораторным работам. Проверка заданий на практических занятиях. Зачет.

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

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах приведены в таблице 6.1

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы	Интерактивные практические занятия	Интерактивные лабораторные занятия	Интерактивные лекции	Всего
7 семестр				
«Разминка», Лекция с ошибками»	-	-	10	10
«Мозговой штурм»	10	-	-	10
«Групповая работа»	-	10	-	10
Итого за семестр:	10	10	10	30
Итого	10	10	10	30

## 7. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час)	Компетенции ОК, ПК
1	3	Исследование поляризационных свойств планарного оптического волновода в ниобате лития, полученного методом ионной имплантации	4	ОПК-1; ОПК-2
2	5	Исследование дифракции светового пучка в среде с периодической модуляцией показателя преломления	4	ОПК-1; ОПК-2
3	6	Исследование планарных оптических волноводов	4	ОПК-1; ОПК-2
<b>всего</b>			12	

## 8. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК
1	2	Расчет характеристик поля и поляризации плоских световых волн	4	ОПК-1; ОПК-2
2	3	Расчет параметров и дисперсионных характеристик планарных оптических волноводов	4	ОПК-1; ОПК-2
3	6	Расчет характеристик модуляторов света на основе планарных оптических волноводов	4	ОПК-1; ОПК-2
<b>всего</b>			12	

## 9. Самостоятельная работа

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Тематика самостоятельной работы (детализация)	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК	Контроль выполнения работы (опрос, тест, дом. задание и т.д.)
1	1 – 6	Проработка лекционного материала	16	ОПК-1; ОПК-2	Опрос, семинары, зачет.
2	2, 3, 6	Подготовка к практическим занятиям	16	ОПК-1; ОПК-2	Опрос и проверка на практических занятиях.
3	3, 5, 6	Подготовка отчетов по лабораторным работам	16	ОПК-1; ОПК-2	Допуск к лабораторной работе. Отчет.
4	1 - 6	Самостоятельное изучение тем теоретической части	16	ОПК-1; ОПК-2	Опрос, семинары, зачет.
<b>Итого</b>			64		

## 10. Примерная тематика курсовых работ

Курсовая работа не предусмотрена

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

Оценка объема и качества знаний студентов при внутрисеместровой и промежуточной аттестации определяется в соответствии с «Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов (приказ ректора от 25.02.2010 № 1902). Семестровая балльная раскладка по дисциплине приведена в таблице 11.1.

Таблица 11.1 – Балльная раскладка по дисциплине «Интегральная оптика», седьмой семестр (зачет, лекции, лабораторные занятия, практические занятия)

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
Посещение занятий	2	2	2	6
Тестовый контроль	10	10	10	30
Практические занятия	10	10	10	30
Выполнение и защита результатов лабораторных работ	6	8	8	22
Компонент своевременности	4	4	4	12
Итого максимум за период:	32	34	34	100
Нарастающим итогом	32	66	100	100

Рейтинг выставляется полностью, если работа сдана в срок (на текущей неделе); 50% рейтинга выставляется, если текущая неделя просрочена. За более позднюю сдачу заданий рейтинг не ставится. При пропусках по уважительным причинам оценка выставляется по самостоятельному заданию.

Составляющая балльной оценки входит в итоговую сумму баллов. Методика выставления баллов за ответы на экзамене определяется преподавателем (например, до 15 баллов за каждый из 2-х вопросов в билете).

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 итоговой суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично)	90 - 100	A (отлично)
4 (хорошо)	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
65 – 69		
3 (удовлетворительно)	60 - 64	E (посредственно)
	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

Преобразование суммы баллов в традиционную оценку и в международную буквенную оценку происходит один раз в конце семестра только после подведения итогов изучения дисциплины.

## **12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **12.1 Основная литература**

1. В.М. Шандаров. Основы физической и квантовой оптики. - Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2012. - 197 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/750>

### **12.2 Дополнительная литература**

1. Б.А.Красюк, Г.И.Корнеев. Оптические системы связи и световодные датчики (вопросы технологии). - М.: Радио и связь, 1985. - 192 с. (6)

2. С.М. Шандаров, В.М. Шандаров, А.Е. Мандель, Н.И. Буримов. Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах. - Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. - 230 с. (30)

3. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс]: учебное пособие. - СПб.: Лань, 2011.- 528 с. Режим доступа <http://e.lanbook.com/view/book/690>

### **12.3. Перечень методических указаний по практическим занятиям и лабораторным работам**

1. Куш Г. Г., Шандаров В. М. Исследование планарных оптических волноводов: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе - 2011. 20 с: Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/5117>

2. Тренихин П. А., Шандаров В. М. Исследование дифракции светового пучка в среде с периодической модуляцией показателя преломления: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе - 2011. 7 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/72>

3. Шандаров В. М., Круглов В. Г. Исследование поляризационных свойств планарного оптического волновода в ниобате лития, полученного методом ионной имплантации: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе - 2011. 7 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/62>

4. Шандаров В.М. Волоконно-оптические устройства и системы технологического назначения и управления: [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям 2012. - 31 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/742>

Методические указания по самостоятельной работе студентов приведены в Учебно-методическом пособии [4], Главы 1, 2, Стр. 4 - 28.

### **12.3 Программное обеспечение**

Microsoft PowerPoint для проведения лекций, операционные системы Windows и Unix для проведения лабораторных и практических работ.

### **12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

Образовательный портал университета, библиотека университета.

## **13. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. Компьютерный класс, оборудованный компьютерами класса Pentium II и выше, включенный в сеть Internet.



## Приложение к рабочей программе

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  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

### ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОПТИКА

Уровень основной образовательной программы      бакалавриат \_\_\_\_\_  
Направление подготовки      11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль      Квантовая и оптическая электроника

Форма обучения      \_\_\_\_\_ очная \_\_\_\_\_

Факультет      \_\_\_\_\_ Электронной техники (ФЭТ) \_\_\_\_\_

Кафедра      \_\_\_\_\_ Электронных приборы (ЭП) \_\_\_\_\_

Курс      \_\_\_\_\_ четвертый \_\_\_\_\_      Семестр      \_\_\_\_\_ седьмой \_\_\_\_\_

#### Учебный план набора 2015 года

Зачет – седьмой семестр

Разработчик  
Проф. каф. СВЧКР  
\_\_\_\_\_ В.М. Шандаров

Заведующий кафедрой ЭП  
\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров

Томск 2017

## 1 Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины 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 (практикой) компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ОПК-1	способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	<b>Должен знать</b> основные законы и соотношения волновой оптики и оптики направляющих диэлектрических структур; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики; принципы работы, построения и характеристики интегрально-оптических элементов и приборов.
ОПК-2	способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	<b>Должен уметь</b> объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы интегрально-оптических элементов и устройств; проводить компьютерное моделирование и проектирование интегрально-оптических элементов и устройств; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании интегрально-оптических приборов, сопоставляя особенности характеристик таких материалов и элементов. <b>Должен владеть</b> навыками чтения и изображения схем оптических приборов и систем на основе элементной базы интегральной оптики; навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования интегрально-оптических элементов и устройств различного назначения; навыками практической работы с лабораторными образцами интегрально-оптических элементов, с оптическими приборами и с контрольно-измерительной аппаратурой.

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.

Таблица 2 – 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 области с пониманием границ применимости.	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем.	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия 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.

## 2 Реализация компетенций

### 2.1 Компетенция ОПК-1

**Компетенция ОПК-1:** способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания**

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Основные законы и соотношения волновой оптики, оптики ограниченных световых пучков и теории интегрально-оптических направляющих структур; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики; принципы построения, особенности и характеристики интегрально-оптических элементов и приборов.	Объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы оптических и интегрально-оптических элементов и устройств; применять на практике известные методы экспериментального исследования интегрально-оптических элементов и устройств; выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик оптических и интегрально-оптических компонентов и устройств.	Навыками чтения и изображения схем оптических приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и интегральной оптики.
Виды занятий	Лекции. Практические занятия.	Лабораторные работы. Практические занятия. Самостоятельная работа студентов.	Лабораторные работы. Самостоятельная работа студентов.
Используемые средства оценивания	Задачи. Зачет.	Задачи. Оформление отчетности и защита лабораторных работ.	Защита лабораторных работ. Зачет.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

**Таблица 2 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах**

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	Знает основные законы и соотношения волновой оптики, оптики ограниченных световых пучков, теории диэлектрических оптических волноводов; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной интегральной оптики; принципы построения, особенности и характеристики оптических и интегрально-оптических элементов и приборов.	Умеет объяснять физику работы оптических и интегрально-оптических элементов и устройств; применять методы их экспериментального исследования; выполнять расчеты по определению параметров и характеристик оптических и интегрально-оптических компонентов и устройств.	Свободно владеет навыками чтения и изображения схем оптических приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и интегральной оптики.
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	Понимает связи между различными понятиями в области физической оптики. Понимает принципы построения оптических и интегрально-оптических элементов и приборов.	Умеет выполнять поиск информации в области оптики, используя ресурсы отечественных и зарубежных источников. Умеет самостоятельно выбирать методы решения задач в области интегральной оптики.	Владеет навыками работы с литературными источниками, связанными с оптическими явлениями.
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	Дает определения основных понятий в области интегральной оптики.	Умеет работать со справочной литературой; умеет представлять результаты своей работы.	Может корректно представить информацию, связанную с оптическими явлениями.

**Компетенция ОПК-2:** способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

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	Основные законы и соотношения волновой теории направляющих структур; характеристики интегрально-оптических элементов и приборов.	Выполнять расчеты характеристик интегрально-оптических компонентов; проводить компьютерное моделирование и проектирование оптических и интегрально-оптических приборов; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании интегрально-оптических приборов.	Навыками проектирования и компьютерного моделирования интегрально-оптических элементов и устройств различного назначения; навыками практической работы с лабораторными образцами оптических и интегрально-оптических элементов, 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. Зачет.	Оформление отчетности и защита лабораторных работ.	Защита лабораторных работ. Зачет.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 6.

**Таблица 6 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах**

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	Знает основные законы и соотношения волновой теории направляющих оптических структур; принципы построения, особенности и характеристики интегрально-оптических элементов и приборов.	Умеет проводить компьютерное моделирование и проектирование оптических и интегрально-оптических элементов и устройств; имеет представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик; умеет пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании интегрально-оптических приборов.	Свободно владеет навыками чтения и изображения схем интегрально-оптических приборов и систем; навыками проектирования и компьютерного моделирования оптических элементов и устройств; навыками работы с реальными интегрально-оптическими приборами и с контрольно-измерительной аппаратурой.
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	Понимает связи между различными понятиями в области интегральной оптики. Имеет представление о принципах построения интегрально-оптических элементов и приборов.	Имеет представление о методах компьютерной оптимизации характеристик интегрально-оптических элементов и приборов; умеет пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании интегрально-оптических приборов. Умеет самостоятельно определять методы решения задач проектирования.	Владеет навыками работы с литературными источниками в области интегральной оптики.
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	Имеет представление о принципах построения интегрально-оптических элементов и приборов, об основных понятиях в области волоконной оптики.	Умеет работать со справочной литературой; умеет представлять результаты своей работы.	Может корректно представить знания и информацию, связанную с оптическими явлениями.

### 3 Типовые 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 (типовые) по элементарным знаниям и практическим навыкам по темам:**

#### 3.1. ТЕМА: Методики расчета характеристик дискретных оптических элементов интегрально-оптических устройств: поляризаторов, фазовых пластинок.

##### Задача 1.

Запишите выражение для напряженности электрического поля плоской световой волны, распространяющейся в среде вдоль оси Z, если в плоскости XOY фазовый сдвиг между компонентами вектора E вдоль осей X и Y составляет 90°, а отношение их амплитуд  $E_{mx}/E_{my}=0,5$ .

##### Решение:

Согласно условиям задачи, плоская световая волна распространяется вдоль оси z. Тогда, исходя из поперечной структуры ее поля, вектор  $\vec{E}$  может располагаться лишь в плоскости XOY и имеет составляющие  $E_x$  и  $E_y$ . Изменение величины напряженности электрического поля плоской световой волны во времени и пространстве определяется выражением:

$$\vec{E} = [\bar{x}_0 E_{mx} \cos(\omega t - kz) + \bar{y}_0 E_{my} \cos(\omega t - kz - \varphi)].$$
 Поскольку фазовый сдвиг между составляющими вектора  $\vec{E}$  вдоль этих осей равен 90°, а  $E_{my} = 2E_{mx}$  то это соотношение принимает окончательный вид:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= [\bar{x}_0 E_{mx} \cos(\omega t - kz) + \bar{y}_0 \cdot 2E_{mx} \sin(\omega t - kz)] = \\ &= E_{mx} \cdot [\bar{x}_0 \cos(\omega t - kz) + 2\bar{y}_0 \sin(\omega t - kz)] \end{aligned}$$

Таким образом, рассматриваемый случай соответствует плоской световой волне с эллиптической поляризацией, причем большая ось эллипса параллельна оси Y (поскольку  $E_{my} = 2E_{mx}$ ).

##### Задача 2.

На пленочный поляроид падает линейно поляризованный световой пучок мощностью 1 мВт, плоскость поляризации света отклонена от направления главной оси поляроида на 30°. Какова величина световой мощности, прошедшей через поляризатор, если поляризующий материал заключен между двумя стеклянными пластинками (для стекла  $n=1,51$ ), а френелевскими отражениями на границе между стеклом и этим материалом можно пренебречь?

##### Решение:

Уменьшение мощности световой волны, прошедшей через поляроид, обусловлено в реальных элементах эффектами частичного отражения света на границах раздела сред с разными свойствами, поглощения света в материале структуры, а также собственно поляризующим действием такого элемента.

Для наглядности представим схему данного элемента (рис. 1.2). Частичное отражение света может наблюдаться здесь на границах раздела 1 – 4 (отмечены стрелками). Согласно условиям задачи, можно пренебречь эффектом отражения света на границах 2 и 3. Поскольку условиями не определена величина оптического поглощения в материале поляроида, им также пренебрегаем. В итоге, для определения прошедшей световой мощности учитываем эффект частичного отражения света на входной и выходной

границах структуры (границы 1 и 4), а также отклонением плоскости поляризации света от главного направления поляроида, определяемым законом Малюса.

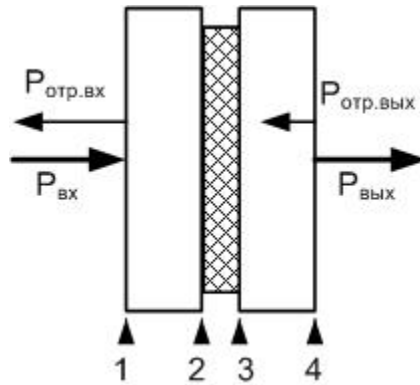


Рис. 1.2. Схема пленочного поляроида.

Поскольку коэффициент отражения света (по интенсивности) на границе диэлектрической среды с показателем преломления  $n$  и воздуха определяется соотношением  $r = \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2$ , то интенсивность (или мощность) прошедшего пучка при полном пропускании поляроида была бы равна  $P_{i\delta} = P_{i\delta\delta} \cdot (1-r)(1-r) = P_{i\delta\delta} \cdot (1-r)^2$ . Учет поворота главной оси поляроида относительно плоскости поляризации световой волны приводит это соотношение к виду:

$P_{i\delta} = P_{i\delta\delta} \cdot (1-r)^2 \cdot \cos^2 \theta$ , где  $\theta=30^\circ$ . Для  $n=1,51$  в итоге получаем:

$$r=0,0413; P_{пр}=1 \cdot (1-0,0413)^2 \cdot \cos^2(30^\circ)=0,9178 \cdot 0,75=0,6884 \text{ мВт.}$$

Таким образом, мощность прошедшего через поляроид светового пучка в данном случае составляет 0,6884 мВт.

### 3.2. ТЕМА: Расчет основных параметров волоконных волноводов, параметров чувствительных элементов поляризационно-вращательного типа, характеристик датчиков.

#### Задача 1.

1. Выведите соотношение, определяющее числовую апертуру NA волоконного световода со ступенчатым профилем показателя преломления и параметрами волоконного световода  $n_1$  – показатель преломления материала сердцевины,  $n_2$  - показатель преломления материала оболочки световода.

#### Решение:

Представим на рисунке геометрию задачи, определим понятие числовой апертуры. Затем, используя закон Снеллиуса при прохождении световой волны через торцевую поверхность оптического волокна и понятие критического угла полного внутреннего отражения света на границе раздела «сердцевина световода – оболочка световода», получим выражение для синуса угла падения света на торцевую поверхность световода.

### 3.3. ТЕМА: Расчет характеристик планарных волноводов и волноводных брэгговских решеток.

#### Задача 1.

Найдите критическую толщину волноводного слоя для направляемой  $TE_3$  моды тонкопленочного асимметричного волновода, если он представляет собой пленку стекла с показателем преломления  $n_1=1,6$ , нанесенную на подложку из стекла с показателем преломления  $n_1=1,5$ . Длина волны света  $\lambda=1,5$  мкм.

**Решение:**

Используя соотношение, найдем:

$$h_{кр} = \frac{3\pi + \arctg \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_0^2 - n_1^2}}}{k_0 \sqrt{n_0^2 - n_1^2}} = \frac{3\pi + \arctg \sqrt{\frac{1,5^2 - 1}{1,6^2 - 1,5^2}}}{2\pi \sqrt{1,6^2 - 1,5^2}} \lambda = \frac{3,352\pi}{2\pi \cdot 0,557} \lambda = 3\lambda .$$

Таким образом, критическая толщина волноводного слоя для TE<sub>3</sub> моды равна 4,5 мкм.

**5. Темы лабораторных работ**

1. Исследование поляризационных свойств планарного оптического волновода в ниобате лития, полученного методом ионной имплантации
2. Исследование дифракции светового пучка в среде с периодической модуляцией показателя преломления.
3. Исследование планарных оптических волноводов

**6. Экзаменационные вопросы**

1. Поляризация плоских волн. Линейная, круговая, эллиптическая поляризация. Выращения для полей плоских световых волн с заданной поляризацией.
2. Поляризационные элементы: пленочные поляризаторы, кристаллические поляризаторы, фазовые пластинки. Изменение состояния поляризации плоской световой волны, прошедшей через фазовую пластинку.
3. Отражение и преломление света на границе раздела. Горизонтальная и вертикальная поляризация. Закон Снеллиуса. Угол Брюстера.
4. Полное внутреннее отражение света на границе раздела диэлектрических сред. Структура поля световой волны при полном внутреннем отражении.
5. Планарный оптический волновод. TE и TM моды, дисперсионное уравнение планарного волновода со ступенчатым профилем.
6. Волноводные брэгговские решетки. Соотношение для связи резонансной длины волны с пространственным периодом. Методы и схемы формирования решеток.
7. Модуляторы оптического излучения: фазовый электрооптический модулятор, электрооптический модулятор интенсивности.
8. Волноводные лазеры – основная схема, конструктивные элементы, особенности схем интегрально-оптических лазеров.
9. Суть эффекта комбинационного рассеяния (Рамановского рассеяния) и вынужденного комбинационного рассеяния света. Рамановские лазеры. Типовая схема рамановского лазера.
10. Волноводно-оптические датчики (принципы построения и схемы оптической модуляции).



## 7. Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций (согласно пункту 12 рабочей программы):

### 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### 12.1 Основная литература

1. В.М. Шандаров. Основы физической и квантовой оптики. - Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2012. - 197 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/750>

#### 12.2 Дополнительная литература

1. Б.А.Красюк, Г.И.Корнеев. Оптические системы связи и световодные датчики (вопросы технологии). - М.: Радио и связь, 1985. - 192 с. (6)

2. С.М. Шандаров, В.М. Шандаров, А.Е. Мандель, Н.И. Буримов. Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах. - Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. - 230 с. (30)

3. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс]: учебное пособие. - СПб.: Лань, 2011.- 528 с. Режим доступа <http://e.lanbook.com/view/book/690>

#### 12.3. Перечень методических указаний по практическим занятиям и лабораторным работам

1. Куц Г. Г., Шандаров В. М. Исследование планарных оптических волноводов: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе - 2011. 20 с: Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/5117>

2. Тренихин П. А., Шандаров В. М. Исследование дифракции светового пучка в среде с периодической модуляцией показателя преломления: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе - 2011. 7 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/72>

3 . Шандаров В. М., Круглов В. Г. Исследование поляризационных свойств планарного оптического волновода в ниобате лития, полученного методом ионной имплантации: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе - 2011. 7 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/62>

4. Шандаров В.М. Волоконно-оптические устройства и системы технологического назначения и управления: [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям 2012. - 31 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/742>

Методические указания по самостоятельной работе студентов приведены в Учебно-методическом пособии [4], Главы 1, 2, Стр. 4 - 28.