

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

## **ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОПТОЭЛЕКТРОНИКА**

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направления 210100.68 -«Электроника и  
наноэлектроника»

2013

## **Башкиров, Александр Иванович**

Интегральная оптоэлектроника = Интегральная оптоэлектроника: методические указания по самостоятельной работе для студентов направления 210100.68 - «Электроника и нанoeлектроника» / А.И. Башкиров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2013. - 18 с.

Цель курса – подготовка студентов к разработке, исследованию и эксплуатации приборов и устройств современной интегральной оптоэлектроники на основе изучения базовых физических принципов функционирования основных элементов интегральной оптоэлектроники.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению 210100.68 - «Электроника и нанoeлектроника» по дисциплине «Интегральная оптоэлектроника».

© Башкиров Александр Иванович, 2013

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ЭП

\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

## ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направления «Электроника и наноэлектроника»

РАЗРАБОТЧИК

Доцент каф. ЭП

\_\_\_\_\_ А.И. Башкиров

\_\_\_\_\_ 2013 г.

2013

## Содержание

Введение.....	5
Раздел 1. Физические основы оптоэлектроники.....	5
1.1 Содержание раздела.....	5
1.2 Методические указания по изучению раздела.....	6
1.3 Вопросы для самопроверки.....	6
Раздел 2. Полупроводниковые приборы когерентного излучения.....	6
2.1 Содержание раздела.....	6
2.2 Методические указания по изучению раздела.....	6
2.3 Вопросы для самопроверки.....	6
Раздел 3. Полупроводниковые фотоприемные приборы.....	7
3.1 Содержание раздела.....	7
3.2 Методические указания по изучению раздела.....	7
3.3 Вопросы для самопроверки.....	7
Раздел 4. Планарные волноводы.....	7
4.1 Содержание раздела.....	7
4.2 Методические указания по изучению раздела.....	8
4.3 Вопросы для самопроверки.....	8
Раздел 5. Полосковые оптические волноводы.....	8
5.1 Содержание раздела.....	8
5.2 Методические указания по изучению раздела.....	8
5.3 Вопросы для самопроверки.....	8
Раздел 6. Волоконно-оптические элементы. Волноводные оптические усилители и лазеры.....	9
6.1 Содержание раздела.....	9
6.2 Методические указания по изучению раздела.....	9
6.3 Вопросы для самопроверки.....	9
Раздел 7. Волоконно-оптические системы связи.....	9
7.1 Содержание раздела.....	9
7.2 Методические указания по изучению раздела.....	10
7.3 Вопросы для самопроверки.....	10
Раздел 8. Интегрально-оптические элементы связи. Пассивные интегрально – оптические элементы.....	10
8.1 Содержание раздела.....	10
8.2 Методические указания по изучению раздела.....	10
8.3 Вопросы для самопроверки.....	10
Раздел 9. Управление излучением в оптических волноводах.....	11
9.1 Содержание раздела.....	11
9.2 Методические указания по изучению раздела.....	11
9.3 Вопросы для самопроверки.....	11
10 Лабораторные работы.....	11
11 Практические занятия.....	13
12 Темы для самостоятельного изучения.....	15
Заключение.....	15
Список литературы.....	17

## **Введение**

Цель курса – подготовка студентов к разработке, исследованию и эксплуатации приборов и устройств современной интегральной оптоэлектроники на основе изучения базовых физических принципов функционирования основных элементов интегральной оптоэлектроники.

Студент должен получить базовые знания в области интегральной оптоэлектроники, включая физические принципы построения элементов и систем интегральной оптики, оптику планарных волноводов, физические эффекты и явления в волноводных структурах, оптических волокнах, конструирование и расчет пассивных и активных интегрально-оптических элементов и устройств интегральной оптоэлектроники.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2);

- способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом (ОК-4);

- способность анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-7);

- готовность определить цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ (ПК-8);

- способность проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований (ПК-9);

- способность разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями (ПК-10);

- способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов (ПК-19).

## **Раздел 1. Физические основы оптоэлектроники**

### **1.1 Содержание раздела**

Особенности оптической электроники. Энергетические характеристики оптического излучения. Когерентность. Поляризация электромагнитных волн. Механизм генерации излучения в полупроводниках. Излучатели на основе гетероструктур. Современное состояние оптоэлектронной элементной базы.

Формируемые компетенции: ПК8, ПК9

## **1.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Физические основы оптоэлектроники» следует обратить внимание на основные физические принципы генерации излучения в полупроводниках, свойства лазерного излучения.

### **1.3 Вопросы для самопроверки**

1. Что такое временная когерентность?
2. Что такое пространственная когерентность?
3. Как можно изменить поляризацию оптического излучения?
3. Чем отличается двойная гетероструктура от одинарной?
4. Что такое внутренний квантовый выход?
5. Что такое прямые и непрямые переходы в полупроводниках?
6. Объясните механизм излучательной рекомбинации.

## **Раздел 2. Полупроводниковые приборы когерентного излучения**

### **2.1 Содержание раздела**

Принцип работы инжекционных излучателей. Разновидности инжекционных лазеров. Устройство и принцип действия полупроводниковых лазеров с гетероструктурами. Параметры и характеристики полупроводниковых лазеров. Особенности полупроводниковых лазеров.

Формируемые компетенции: ПК8, ПК9

### **2.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Полупроводниковые приборы когерентного излучения» следует обратить внимание на принцип работы инжекционных лазеров, особенности работы лазеров на гетероструктурах.

### **2.3 Вопросы для самопроверки**

1. Каким образом достигается инверсия в полупроводниковом лазере?
2. Объясните понятие квазиуровня Ферми.
3. Нарисуйте зонную структуру вблизи р-п-перехода при инжекции носителей.
4. Объясните принцип работы лазера на арсениде галлия.
5. Поясните механизм накачки в инжекционном лазере.
6. За счет чего происходит ограничение светового пучка в направлении, перпендикулярном плоскости р-п перехода?
7. Нарисуйте многослойную структуру гетеролазера и поясните назначение каждого слоя.

8. Как определяется пороговая плотность тока полупроводникового лазера?

### **Раздел 3. Полупроводниковые фотоприемные приборы**

#### **3.1 Содержание раздела**

Характеристики, параметры и модели фотоприемников. Фотодиоды с  $p-i-n$  - структурой. Фотодиоды Шоттки. Фотодиоды с гетероструктурой. Лавинные фотодиоды. Фототранзисторы. ПЗС - приемные фотоприборы. Фотодиодные СБИС на основе МОП - транзисторов.

Формируемые компетенции: ПК8, ПК9

#### **3.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Полупроводниковые фотоприемные приборы» следует обратить внимание на параметры фотоприемников, принцип работы фотоприемных приборов, различные режимы работы фотодиодов.

#### **3.3 Вопросы для самопроверки**

1. По каким признакам классифицируют фотоприемники?
2. Какие выделяют виды чувствительности фотоприемников?
3. Опишите гальванический режим работы фотодиода.
4. Опишите фотодиодный режим работы фотодиода.
5. За счет чего улучшаются частотные характеристики  $p-i-n$  – диодов?
6. За счет чего расширяется область спектральной чувствительности фотодиода Шоттки?
7. Объясните лавинное нарастание числа носителей заряда в лавинных фотодиодах.
8. Нарисуйте энергетическую диаграмму фототранзистора.
9. Поясните принцип действия ПЗС-фотоприемника на примере трехтактной схемы управления.

### **Раздел 4. Планарные волноводы**

#### **4.1 Содержание раздела**

Классификация оптических волноводов. Геометрическая оптика планарных волноводов. Эффект Гуса–Хенхена. Условие поперечного резонанса для планарного волновода. Электромагнитная теория планарных волноводов. Моды тонкопленочного волновода.

Формируемые компетенции: ПК8, ПК9

## **4.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Планарные волноводы» следует обратить внимание на классификацию мод планарного волновода, интерпретацию распространения оптического излучения в планарных волноводах с позиции геометрической оптики, понятие эффективной толщины волновода, дисперсионные характеристики волноводов.

### **4.3 Вопросы для самопроверки**

1. Дайте определение волноводной моды.
2. Как классифицируют волноводные моды в зависимости от поляризации оптического излучения?
3. Нарисуйте траекторию распространения волноводной моды тонкоплёночного волновода.
4. Как определяется номер волноводной моды?
5. Что такое эффективная толщина волновода?
6. Нарисуйте траекторию распространения волноводной моды градиентного волновода.
7. Нарисуйте дисперсионные характеристики планарного волновода.
8. Как связаны количество мод волновода с длиной волны оптического излучения?

## **Раздел 5. Полосковые оптические волноводы**

### **5.1 Содержание раздела**

Технология изготовления полосковых волноводов. Расчет параметров полосковых волноводов. Области использования в интегральной оптоэлектронике. Потери на изгибе полосковых волноводов.

Формируемые компетенции: ПК8, ПК9

### **5.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Полосковые оптические волноводы» следует обратить внимание на классификацию полосковых волноводов, отличия в классификации мод планарных и полосковых волноводов, методы анализа распространения света в полосковых волноводах.

### **5.3 Вопросы для самопроверки**

1. Нарисуйте основные типы полосковых волноводов.
2. Сколько индексов используют для нумерации моды и почему?
3. Что такое частота отсечки?
4. Что такое эффективный показатель преломления?
5. В чем заключается метод эффективного показателя преломления?



6. Нарисуйте распределение компонент поля  $\vec{E}$  для основных мод полосковых волноводов.
7. По каким причинам возникают потери на изгибе полоскового волновода?

## **Раздел 6. Волоконно-оптические элементы. Волноводные оптические усилители и лазеры**

### **6.1 Содержание раздела**

Оптическое волокно (стекловолокно). Уширение импульсных сигналов в стекловолокне. Виды потерь оптических сигналов в стекловолокнах. Общие характеристики оптических усилителей. Принцип работы эрбиевого усилителя. Оптическая схема эрбиевого волоконного усилителя. Теоретическое описание работы усилителя и его основные параметры. Волоконные лазеры.

Формируемые компетенции: ПК8, ПК9

### **6.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Волоконно-оптические элементы. Волноводные оптические усилители и лазеры» следует обратить внимание на механизмы потерь в оптических волокнах, физические процессы при распространении света в стекловолокне, принцип работы оптических усилителей.

### **6.3 Вопросы для самопроверки**

1. Объясните принцип устройства оптических волокон.
2. Дайте определение числовой апертуры стекловолокна.
3. Объясните явление уширения импульсного оптического сигнала за счет расходимости светового пучка.
4. Объясните явление материальной дисперсии.
5. Чем отличается межмодовая дисперсия от материальной?
6. Назовите основные характеристики волоконных световодов.
7. Перечислите виды потерь в оптических волокнах.
8. Нарисуйте оптическую схему эрбиевого волоконного усилителя.
9. Объясните принцип оптического усиления в эрбиевых усилителях.

## **Раздел 7. Волоконно-оптические системы связи**

### **7.1 Содержание раздела**

Топология оптической сети. Волоконно-оптические системы распределения. Пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Оптические передатчики. Приемники волоконно-оптических систем связи.

Формируемые компетенции: ПК8, ПК9

## **7.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Волоконно-оптические системы связи» следует обратить внимание на принцип работы оптических передатчиков, способы преобразования электрических сигналов в оптические сигналы и обратно, работу приемных оптоэлектронных модулей.

## **7.3 Вопросы для самопроверки**

1. Перечислите виды волоконно-оптических систем связи (ВОСС).
2. Нарисуйте схему последовательной замкнутой ВОСС.
3. Что такое дуплексный режим работы ВОСС?
4. Как поддерживать постоянной разность пиковой и остаточной мощностей в оптическом передатчике?
5. Поясните принцип работы цепей стабилизации лазерного излучателя.
6. Поясните способ преобразования модулированного светового излучения в электрический сигнал.
7. Что такое квантовый предел чувствительности фотоприемника?
8. Какие причины приводят к потерям в соединителях оптических волокон?

## **Раздел 8. Интегрально-оптические элементы связи. Пассивные интегрально – оптические элементы**

### **8.1 Содержание раздела**

Торцевой ввод излучения в планарные и полосковые волноводы. Призмный ввод. Решеточный элемент связи. Элементы связи между оптическими волноводами (планарными и полосковыми). Планарные линзы: геодезические линзы, линзы с изменением эффективного показателя преломления. Торцевые отражатели.

Формируемые компетенции: ПК8, ПК9

### **8.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Интегрально-оптические элементы связи. Пассивные интегрально – оптические элементы» следует обратить внимание на торцевой ввод излучения в планарные и полосковые волноводы, решеточный элемент связи, элементы связи между оптическими волноводами, физические принципы работы планарных линз.

### **8.3 Вопросы для самопроверки**

1. Назовите методы стыковки планарных волноводов с полосковыми волноводами.

2. Что такое эффективность ввода излучения в планарный волновод?
3. Объясните механизм ввода излучения через суживающийся край.
4. Назовите недостатки торцевого ввода излучения.
5. Чем определяется угол при основании призмы для ввода оптического излучения в волновод?
6. Чем определяется фокусное расстояние геодезической линзы?
7. Объясните механизм фокусировки света геодезической линзой.
8. Назовите недостатки Линзы Люнеберга.

## **Раздел 9. Управление излучением в оптических волноводах**

### **9.1 Содержание раздела**

Акустооптические методы управления светом в оптических волноводах. Дифракция волноводных оптических волн (ВОВ) на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Электрооптические (ЭО) методы управления излучением в волноводных структурах.

Формируемые компетенции: ПК8, ПК9

### **9.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Управление излучением в оптических волноводах» следует обратить внимание на акустооптическое взаимодействие в оптических волноводах, электрооптические методы управления излучением в волноводах.

### **9.3 Вопросы для самопроверки**

1. За счет каких эффектов происходит изменение диэлектрической проницаемости среды под действием акустической волны?
2. Назовите типы ПАВ.
3. Как может быть представлено распределение деформаций и электрического поля в ПАВ?
4. Что такое коллинеарная дифракция?
5. Нарисуйте схему электрооптического переключателя на связанных полосковых волноводах.

## **10 Лабораторные работы**

Лабораторные работы направлены на формирование компетенций: ОК2, ОК4, ПК9, ПК10, ПК19.

Прежде чем приступить к выполнению эксперимента, студенту необходимо внимательно ознакомиться с методическим описанием лабораторной работы. Методические описания содержат:

- 1) название работы, ее цель;

- 2) перечень приборов и принадлежностей;
- 3) общую часть (справочные сведения о сути изучаемого явления или эффекта);
- 4) методику проведения работы;
- 5) описание измерений;
- 6) обработку результатов измерений;
- 7) контрольные вопросы.

Основная часть времени, выделенная на выполнение лабораторной работы, затрачивается на самостоятельную подготовку. Студент должен понимать, что методическое описание – это только основа для выполнения работы, что навыки экспериментирования зависят не от качества описания, а от отношения студента к работе и что формально, бездумно проделанные измерения – это потраченное впустую время. Если студент приступает к работе без чёткого представления о теории изучаемого вопроса, он не может «узнать в лицо» физическое явление, не сумеет отделить изучаемый эффект от случайных помех, а также окажется не в состоянии судить об исправности и неисправности установки. Этому этапу выполнения работы предшествует «допуск к работе». Для облегчения подготовки к сдаче теоретического материала полезно ответить на контрольные вопросы, сформулированные в методическом описании.

Для успешного выполнения лабораторной работы студенту необходимо разобраться в устройстве установки или макета. Проверив приборы установки, подготовив их к работе, студент приступает к наблюдению тех эффектов или явлений, которым посвящена работа. Опыт экспериментальной работы нельзя приобрести без самостоятельного экспериментирования. Отсчёт измеряемых величин полагается производить с максимальной точностью.

Поэтому перед снятием результатов измерений необходимо проверять нулевые показания приборов и установить цены деления на шкалах.

Этап обработки результатов измерений не менее важен, чем проведение эксперимента. Многие физические законы, полученные в результате экспериментальных исследований, выражаются в виде математических формул, связывающих числовые значения физических характеристик. Поэтому обязательно следите за тем, чтобы, при выполнении тех или иных измерений, были разумно согласованы друг с другом точность определения различных величин.

Если в лабораторной работе исследуется зависимость одной величины от другой, эту зависимость следует представить графически. Число точек на различных участках кривой и масштабы выбираются с таким расчетом, чтобы наглядно были видны места изгибов, экстремумов и скачков. Кроме системы координат с равномерным масштабом применяют полулогарифмические и логарифмические шкалы.

Вычисление искомой величины содержит и расчет погрешностей измерения. Выполнение каждой из запланированных работ заканчивается

предоставлением отчета. Требования к форме и содержанию отчета приведены в методических указаниях к лабораторным работам.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Измерение эффективных показателей преломления планарного волновода (компетенции: ОК2, ОК4, ПК9, ПК10, ПК19)

2. Исследование дисперсионных характеристик полосковых волноводов (компетенции: ОК2, ОК4, ПК9, ПК10)

3. Исследование фокусировки волноводных мод в планарных волноводах при помощи геодезической линзы (компетенции: ОК2, ОК4, ПК9, ПК10, ПК19)

4. Исследование планарного акустооптического модулятора (компетенции: ОК2, ОК4, ПК9, ПК10, ПК19)

## **11 Практические занятия**

Практические занятия по решению задач существенно дополняют лекции, а также направлены на формирование у студентов компетенций: ОК2, ОК4, ПК7, ПК8, ПК10.

В процессе анализа и решения задач студенты расширяют и углубляют знания, полученные из лекционного курса и учебников, учатся глубже понимать законы и формулы, разбираться в их особенностях, границах применения, приобретают умение применять общие закономерности к конкретным случаям. В процессе решения задач вырабатываются навыки вычислений, работы со справочной литературой, таблицами. Решение задач не только способствует закреплению знаний и тренировке в применении изучаемых законов, но и формирует особый стиль умственной деятельности.

На практических занятиях используются:

1) задачи-упражнения, помогающие студентам приобрести твёрдые навыки расчёта и вычислений;

2) задачи для демонстрации практического применения тех или иных законов;

3) задачи для закрепления и контроля знаний;

4) познавательные задачи.

Задачи для закрепления и контроля знаний и задачи-упражнения рассчитаны на использование готовых знаний, полученных из книг, лекций, от преподавателя. Решение таких задач опирается в основном на механизмы памяти и внимания. Оно в известном смысле полезно и даже необходимо.

Отличие познавательных задач от задач других видов состоит в том, что в процессе их решения обучающийся приобретает новые знания.

Если студент имеет слабую теоретическую подготовку, решение задач подобного рода может оказаться для него непосильным. Даже в этом случае, если, присутствуя на занятиях, он познакомится с ходом решения и результатом, этого будет недостаточно для достижения цели познавательной задачи. Поэтому нужно требовать, чтобы студенты готовили теоретический

материал, и показывать им, что именно невыполнение этого требования приводит к неудаче при решении задач.

Для решения задач расчётного характера достаточно составить систему уравнений, а дальше всё сводится к математическим действиям. Некоторые задачи требуют для решения геометрических построений и использования графиков.

Несмотря на различие в видах задач, их решение можно проводить по следующему общему плану (некоторые пункты плана могут выпадать в некоторых конкретных случаях), который надо продиктовать студентам:

- 1) прочесть внимательно условие задачи;
- 2) посмотреть, все ли термины в условиях задачи известны и понятны (если что-то неясно, следует обратиться к учебнику, просмотреть решения предыдущих задач, посоветоваться с преподавателем);
- 3) записать в сокращенном виде условие задачи (когда введены стандартные обозначения, легче вспоминать формулы, связывающие соответствующие величины, чётче видно, какие характеристики заданы, все ли они выражены в одной системе единиц и т.д.);
- 4) сделать чертёж, если это необходимо (делая чертёж, нужно стараться представить ситуацию в наиболее общем виде);
- 5) произвести анализ задачи, вскрыть её физический смысл (нужно чётко понимать, в чем будет заключаться решение задачи);
- 6) установить, какие законы и соотношения могут быть использованы при решении данной задачи;
- 7) составить уравнения, связывающие физические величины, которые характеризуют рассматриваемые явления с количественной стороны;
- 8) решить эти уравнения относительно неизвестных величин, получить ответ в общем виде. Прежде чем переходить к численным значениям, полезно провести анализ этого решения: он поможет вскрыть такие свойства рассматриваемого явления, которые не видны в численном ответе;
- 9) перевести количественные величины в общепринятую систему единиц (СИ), найти численный результат;
- 10) проанализировать полученный ответ, выяснить как изменяется искомая величина при изменении других величин, функцией которых она является, исследовать предельные случаи.

Приведённая последовательность действий при решении задач усваивается студентами, как правило, в ходе занятий, когда они на практике убеждаются в её целесообразности. Поэтому в конце занятия полезно подвести итог, сформулировать найденный алгоритм рассуждений. Заметим, впрочем, что не всегда может быть предложен алгоритм решения задачи.

При анализе задач на аудиторных занятиях полезно возвращаться к плану. Отклонение от него в большинстве случаев не позволяет студенту решить задачу. Тогда нужно напомнить ему, какой этап пропущен и указать, что именно это и послужило причиной неудачи.

## 12 Темы для самостоятельного изучения

Темы для самостоятельного изучения обобщают приобретенные знания и позволяют студенту самостоятельно решать задачи. В результате самостоятельного изучения тем студенты приобретают следующие компетенции:

– способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2);

– способность анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-7);

– готовность определить цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ (ПК-8).

Тематика самостоятельных работ предполагает углубленное изучение нижепредложенных тем.

1. Устройство и принцип действия инжекционного монолазера.
2. Фототиристоры.
3. Волновые уравнения для градиентных планарных волноводов.
4. Волоконные лазеры на основе вынужденного комбинационного рассеяния.
5. Ширина и равномерность полосы усиления оптических усилителей.
6. Цифровые волоконно-оптические системы связи.
7. Элементы связи между волноводами и волокнами.
8. Планарные линзы Люнеберга.
9. Фазовые ЭО модуляторы.

Студент защищает реферат, по выбранной теме, на практическом занятии.

### Заключение

В итоге изучения тем студент должен твердо, как минимум знать следующие вопросы.

1. Механизм излучательной рекомбинации.
2. Каким образом достигается инверсия в полупроводниковом лазере?
3. Понятие квазиуровня Ферми.
4. Зонная структура вблизи р-n-перехода при инжекции носителей.
5. Принцип работы лазера на арсениде галлия.
6. Механизм накачки в инжекционном лазере.
7. Виды чувствительности фотоприемников.
8. Гальванический режим работы фотодиода.
9. Фотодиодный режим работы фотодиода.

10. За счет чего улучшаются частотные характеристики  $p-i-n$  – диодов?
11. За счет чего расширяется область спектральной чувствительности фотодиода Шоттки?
12. Классификация мод планарного волновода.
13. Волноводные моды тонкоплёночного волновода.
14. Эффективная толщина волновода.
15. Волноводные моды градиентных планарных волноводов.
16. Методы изготовления полосковых волноводов.
17. Основные результаты анализа, полученные для полосковых волноводов.
18. Метод эффективного показателя преломления для анализа волновода.
19. Потери на изгибах.
20. Принцип устройства оптических волокон.
21. Числовая апертура стекловолокна.
22. Явление уширения импульсного оптического сигнала за счет расходимости светового пучка.
23. Явление материальной дисперсии.
24. Чем отличается межмодовая дисперсия от материальной?
25. Виды волоконно-оптических систем связи (ВОСС).
26. Схема последовательной замкнутой ВОСС.
27. Дуплексный режим работы ВОСС.
28. Как поддерживать постоянной разность пиковой и остаточной мощностей в оптическом передатчике?
29. Принцип работы цепей стабилизации лазерного излучателя.
25. Способ преобразования модулированного светового излучения в электрический сигнал.
26. Торцевой ввод излучения в планарные и полосковые волноводы.
27. Ввод излучения через суживающийся край.
28. Решеточный элемент связи.
29. Элементы связи между оптическими волноводами (планарными и полосковыми).
30. Стыковка планарных волноводов с полосковыми волноводами.
31. Геодезические линзы.
32. Линзы Люнеберга.
33. Акустооптические методы управления светом в оптических волноводах.
34. Дифракция волноводных оптических волн (ВОВ) на поверхностных акустических волнах (ПАВ).
35. Электрооптические (ЭО) методы управления излучением в волноводных структурах.
36. Фазовые ЭО модуляторы.



## Список литературы

1. Шангин А.С. Интегральная и волноводная фотоника: Методические указания к практическим занятиям. - Томск: ТУСУР, 2012. - 75 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/1106>.
2. Шандаров В.М. Основы физической и квантовой оптики. Сборник задач для студентов: Учебно-методическое пособие. – Томск: ТУСУР, 2012. – 59 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2273>.
3. Ефанов В.И. Сборник задач по волоконно-оптическим линиям связи: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям. - Томск: ТУСУР, 2012. – 50 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/788>.
4. Башкиров А.И., Саликаев Ю.Р. Измерение эффективных показателей преломления планарного волновода Методические указания к лабораторной работе. - Томск : ТУСУР, 2013. - 13 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
5. Башкиров А.И., Литвинов Р.В. Исследование дисперсионных характеристик полосковых волноводов: Методические указания к лабораторной работе. - Томск : ТУСУР, 2012. - 11 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/1075>
6. Башкиров А.И., Литвинов Р.В. Исследование фокусировки волноводных мод в планарных волноводах при помощи геодезической линзы: Методические указания к лабораторной работе. – Томск.: ТУСУР, 2012. – 14 с. Режим доступа:- <http://edu.tusur.ru/training/publications/1076>
7. Башкиров А.И., Буримов Н.И. Исследование планарного акустооптического модулятора: Методические указания к лабораторной работе - Томск: ТУСУР, 2012. – 14 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/1077>

Учебное пособие

Башкиров А.И.

Интегральная оптоэлектроника

Методические указания по самостоятельной работе

Усл. печ. л. \_\_\_\_\_ Препринт  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40