

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

С.М. Шандаров

## **ВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРЫ**

Методические указания к практическим занятиям и по самостоятельной работе для  
студентов технических направлений подготовки

Томск 2024

УДК 535:53(075.8)  
ББК 22.34я73  
Ш201

**Шандаров, Станислав Михайлович**

Ш201 Волоконные лазеры: методические указания к практическим занятиям и по самостоятельной работе для студентов технических направлений подготовки / С.М. Шандаров. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2024. – 8 с.

Представленные методические указания предназначены для практических занятий и самостоятельной работы студентов. Приведены разделы и их краткое содержание, примерные тесты для проверки знаний во время контрольных точек, вопросы к контрольным работам.

Одобрено на заседании каф. ЭП, протокол № 05-24 от 08.05.2024 г.

УДК 535:53(075.8)  
ББК 22.34я73

© Шандаров С.М. 2024  
© Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2024

Оглавление	
Введение .....	4
Раздел 1 Введение .....	5
Раздел 2 Волоконные световоды .....	5
Раздел 3 Элементы волоконного лазера .....	5
Раздел 4 Характеристики волоконных лазеров.....	5
Раздел 5 Волоконные промышленные лазеры и их применение .....	5
6 Темы практических занятий .....	6
7 Примерный перечень тестовых заданий.....	6
8 Примерный перечень вопросов для контрольных работ .....	7
Список рекомендуемой литературы .....	7

## **Введение**

### **Цель изучения дисциплины:**

Формирование у студентов способности к анализу задач по разработке, эксплуатации и исследованию волоконных лазеров на основе изучения студентами базовых физических принципов функционирования основных элементов волоконных лазерных систем.

### **Задачи дисциплины**

1. Изучение основных методов и приемов реализации волоконных лазерных систем, рассмотрение конкретных типов волоконных лазеров, методов их расчета, проектирования и применения в технологических и измерительных системах.

2. Математическое моделирование физических процессов, определяющих работу волоконных лазеров, и их исследованию на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов.

### **Требования к результатам практической и самостоятельной работы студентов по дисциплине:**

Знание методики проведения анализа исходных требований к параметрам разрабатываемого волоконного лазера.

Умение уточнять и корректировать требования к параметрам разрабатываемого волоконного лазера.

Владение навыками согласования технических требований к параметрам разрабатываемого изделия и прибора.

## **Раздел 1 Введение**

Предмет дисциплины и ее задачи. Связь дисциплины с другими разделами физики и фотоники. История развития волоконных лазеров.

### **Методические указания к разделу 1**

При изучении раздела «Введение» следует обратить внимание на основные принципы и подходы квантовой электроники, фотоники и волоконной оптики.

## **Раздел 2 Волоконные световоды**

Волоконные световоды для систем оптической связи и волоконных лазеров. Профили показателя преломления. Геометрическая оптика волоконных световодов. Электромагнитная теория волоконных световодов круглого сечения. Моды волоконных световодов.

### **Методические указания к разделу 2**

При изучении раздела «Волоконные световоды» следует обратить внимание на описание явления полного внутреннего отражения световых волн, на подход к выводу волновых уравнений и моды, используемые в световодах

## **Раздел 3 Элементы волоконного лазера**

Активирующие примеси для волоконных световодов. Фотоиндуцированные брэгговские решетки показателя преломления в световодах. Активные волоконные световоды. Схемы накачки активных световодов. Особенности волоконных световодов как усилительной среды.

### **Методические указания к разделу 3**

При изучении раздела «Элементы волоконного лазера» следует обратить внимание на влияние содержания легирующих добавок и технологических параметров на оптические свойства световодов.

## **Раздел 4 Характеристики волоконных лазеров**

Лазеры на основе световодов, легированных  $\text{Nd}^{3+}$ . Лазеры на основе световодов, легированных  $\text{Yb}^{3+}$ . Лазеры на основе световодов, легированных  $\text{Er}^{3+}$ . Лазеры на основе световодов, легированных  $\text{Tm}^{3+}$ . Лазеры на основе световодов, легированных  $\text{Ho}^{3+}$ .

### **Методические указания к разделу 4**

При изучении раздела «Характеристики волоконных лазеров» следует обратить внимание на особенности и характеристики волоконных лазеров, в том числе, на спектральные характеристики лазеров.

## **Раздел 5 Волоконные промышленные лазеры и их применение**

Продукция отечественных и зарубежных компаний, производящих волоконные лазеры. Лазерная резка. Лазерная сварка. Лазерная маркировка и гравировка. Лазерная микрообработка. Лазерная интерферометрия.

### **Методические указания к разделу 5**

При изучении раздела «Волоконные промышленные лазеры и их применение» следует обратить внимание на параметры и режимы работы волоконных лазеров.

## 6 Темы практических занятий

Перед практическими занятиями студент должен повторить лекционный материал. Темы практических занятий приведены ниже:

1. Волоконные световоды
2. Элементы волоконного лазера
3. Характеристики волоконных лазеров
4. Волоконные промышленные лазеры и их применение

## 7 Примерный перечень тестовых заданий

1. При полном внутреннем отражении:
  - а) отраженная волна в оптически более плотной среде отсутствует;
  - б) отраженная волна в оптически менее плотной среде отсутствует;
  - в) преломленная волна в оптически более плотной среде отсутствует;
  - г) преломленная волна в оптически менее плотной среде отсутствует.
2. В волоконном световоде показатель преломления сердцевинны:
  - а) должен быть равен показателю преломления внутренней оболочки;
  - б) должен быть меньше показателя преломления внутренней оболочки;
  - в) должен быть больше показателя преломления внутренней оболочки;
  - г) должен быть меньше показателя преломления внешней оболочки.
3. В градиентном волоконном световоде показатель преломления:
  - а) не изменяется в пределах сердцевинны, резко уменьшаясь на границе с внутренней оболочкой;
  - б) плавно уменьшается от центра сердцевинны к краям;
  - в) плавно увеличивается от центра сердцевинны к краям;
  - г) плавно изменяется вдоль оси световода.
4. Основная мода волоконного световода HE<sub>11</sub>:
  - а) характеризуется нулевым значением напряженности электрического поля в центре сердцевинны;
  - б) максимальным значением напряженности электрического поля в центре сердцевинны;
  - в) постоянным значением напряженности электрического поля в сердцевинне;
  - г) постоянным значением напряженности магнитного поля в сердцевинне.
5. В цилиндрическом волоконном световоде не имеют отсечки:
  - а) моды TM<sub>01</sub> и TE<sub>01</sub>;
  - б) моды HE<sub>21</sub> и EH<sub>21</sub>;
  - в) мода HE<sub>11</sub>;
  - г) мода EH<sub>11</sub>.
6. Волноводная дисперсия в волоконных световодах заключается:
  - а) в зависимости магнитной проницаемости сердцевинны от длины волны излучения;
  - б) в зависимости показателя преломления сердцевинны от длины волны излучения;
  - в) в зависимости показателя преломления внутренней оболочки от длины волны излучения;
  - г) в зависимости постоянной распространения моды от длины волны излучения.
7. В активирующих примесях волоконных световодов для получения лазерной генерации используются:
  - а) электронные переходы между уровнями незаполненной внутренней f-оболочки ионов редкоземельных элементов;
  - б) колебательно-вращательные переходы;
  - в) только безызлучательные переходы;
  - г) только спонтанные переходы.

8. Для создания состояния инверсии населенностей в активной области волоконного лазера используются:
  - а) столкновения 1-го рода;
  - б) накачка электронным пучком;
  - в) оптическая накачка;
  - г) электронно-дырочная рекомбинация в пределах узкозонной области гетероструктуры.
9. Брэгговские зеркала в волоконных световодах реализуются:
  - а) за счет отражения от атомных плоскостей кристаллов;
  - б) за счет сколов торцов волокон, ортогональных их оси;
  - в) за счет периодических возмущений магнитной проницаемости волокна;
  - г) за счет фотоиндуцированных решеток показателя преломления в волоконном световоде.
10. В схемах накачки активных световодов используется:
  - а) точечное облучение сфокусированным излучением через цилиндрическую боковую поверхность;
  - б) сканирование пучка накачки по боковой поверхности световода;
  - в) принцип распределения вводимого излучения накачки по длине активного световода с использованием набора V-образных канавок или двойного волоконного световода с общим полимерным покрытием;
  - г) генерация излучения накачки в световоде за счет катодолюминесценции.

### **8 Примерный перечень вопросов для контрольных работ**

1. В чем преимущество использования градиентных волоконных световодов?
2. Какими физическими факторами обусловлены оптические потери в волоконных световодах?
3. Какие материалы используются в качестве основы для лазерных волоконных световодов?
4. Какие химические элементы используются для создания активных волоконных световодов, позволяющих создать в них оптической накачкой состояние инверсии населенностей?
5. Между уровнями какой оболочки примесных ионов необходимо инициировать для этого электронные переходы?
6. Какие источники оптического излучения используются для накачки волоконных лазеров?
7. Какова цель использования двойной оболочки в лазерных волоконных световодах?
8. Почему любая некруглая форма поперечного сечения внутренней оболочки предпочтительней, чем круглая?
9. Как можно реализовать зеркала в волоконных лазерах?
10. На какой длине волны происходит отражение от волоконных брэгговских решеток?
11. Как создаются волоконные брэгговские решетки? От каких параметров решетки зависит коэффициент отражения излучения?

### **Список рекомендуемой литературы**

1. Ярив А. Оптические волны в кристаллах / А. Ярив, П. Юх. – М.: Мир, 1987. – 616 с.
2. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. Учебник для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 2001. – 574 с.
3. Звелто О. Принципы лазеров / О. Звелто. – СПб.: Лань, 2008. – 720 с.
4. Панов М.Ф. Физические основы интегральной оптики : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / М.Ф. Панов, А.В. Соломонов, Ю.В. Филатов. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 432 с.
5. Айхлер Ю., Айхлер Г.Н. Лазеры. Исполнение, управление, применение. М.: Техносфера,

2012. – 496 с.

6. Богданов А.В., Голубенко Ю.В. Волоконные технологические лазеры и их применение : Учебное пособие. 2 е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 236 с. [https://e.lanbook.com/book/101825#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/101825#book_name) (Дата обращения: 06.05.2024)
7. Шандаров, С. М. Введение в оптическую физику: Учебное пособие [/ С. М. Шандаров, Н. И. Буримов, А. С. Акрестина. – Томск: ТУСУР, 2023. – 252 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/11001> (Дата обращения: 06.05.2024)