

## Лекция 5: Лазерные диоды

**Цель лекции** - подробно рассмотреть принцип работы лазерных диодов (лазерных источников), охватить разнообразные типы лазерных диодов и их области применения. Студенты должны понять, как лазерные диоды генерируют когерентное излучение света, а также осознать значимость этих устройств в современной технологии.

### Результаты обучения:

По окончании этой лекции студенты должны:

- Понимать принцип работы лазерных диодов и стимулированной эмиссии.
- Знать разнообразные типы лазерных диодов и их области применения.
- Осознавать важность лазерных диодов в различных сферах, включая медицину, материалобработку, телекоммуникации и исследования.

### Часть 1: Принцип работы лазерных диодов

Лазерные диоды (или лазерные источники) являются устройствами, способными генерировать когерентное излучение света. Когерентность означает, что фотоны излучения колеблются в фазе, что позволяет им создавать узконаправленный, монохроматический свет. Давайте более подробно рассмотрим принцип работы лазерных диодов:

### Инжекция носителей заряда:

Лазерные диоды, как и светодиоды, основаны на инжекции (введении) носителей заряда (электронов и дырок) в активный полупроводниковый слой. Процесс инжекции достигается при подаче электрического тока через диод. Электроны инжектируются в зону проводимости, а дырки - в валентную зону.

### Стимулированная эмиссия излучения:

Основной принцип работы лазерных диодов заключается в процессе стимулированной эмиссии излучения. Когда электроны и дырки рекомбинируют в активном слое лазерного диода, они создают фотоны (кванты света). Однако, в отличие от обычных источников света, в лазерных диодах этот процесс усиливается стимулированной эмиссией.

### Стимулированная эмиссия:

Стимулированная эмиссия - это явление, при котором фотон, встречаясь с другим фотоном, стимулирует его к рекомбинации и излучению дополнительных фотонов. Это создает цепную реакцию, в которой количество фотонов с одинаковой фазой и энергией увеличивается экспоненциально.

### Усиление световой волны:

Внутри активного слоя лазерного диода происходит усиление световой волны. Когда фотоны встречаются с рекомбинирующими электронами и дырками, они стимулируют их к рекомбинации и, следовательно, к излучению фотонов той же частоты и фазы. Таким образом, световая волна усиливается по мере прохождения через активный слой.

### Рефлекторы и резонатор:

Чтобы усилить и удерживать усиливаемую световую волну, в лазерных диодах используются рефлекторы и оптический резонатор. Рефлекторы отражают световую волну обратно в активный слой, а резонатор создает условия для усиления и поддержания когерентности световой волны.

### Излучение лазера:

Под действием стимулированной эмиссии и резонатора, лазерный диод создает когерентное излучение, которое может быть узконаправленным и монохроматическим. Это излучение можно использовать в различных областях, включая телекоммуникации, медицинскую диагностику, научные исследования и промышленное производство.

### **Основные формулы и объяснения:**

#### **Условие генерации лазера:**

Чтобы получить лазерное излучение, необходимо выполнить условие генерации лазера, которое зависит от длины волны  $\lambda$  и расстояния между зеркалами  $L$ .

Условие генерации лазера можно записать следующим образом:

$$2L = m\lambda$$

где  $m$  - порядок моды лазера.

#### *Пороговый ток:*

Лазерный диод достигает порога генерации при определенном токе  $I_{th}$ .

Пороговый ток можно выразить формулой:

$$I_{th} = \frac{h\nu}{q\eta}$$

где  $h$  - постоянная Планка,  $\nu$  - частота излучения,  $q$  - элементарный заряд,  $\eta$  - коэффициент инжекции носителей заряда.

#### *Связь между длиной волны и энергией фотона:*

Длина волны  $\lambda$  и энергия фотона  $E$  связаны следующей формулой:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

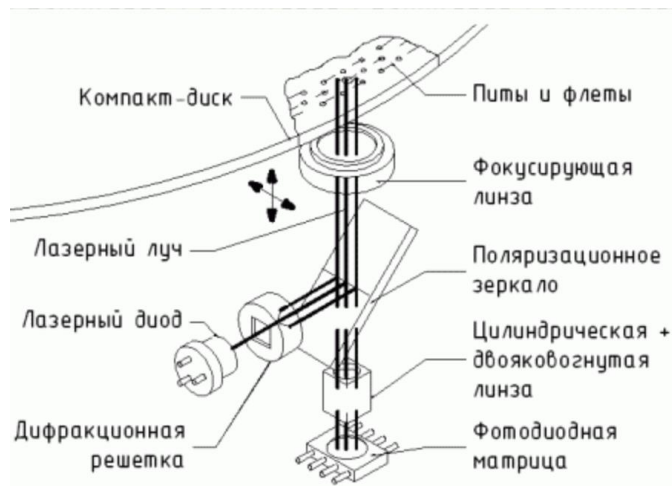
где  $h$  - постоянная Планка,  $c$  - скорость света.

### **Часть 2: Типы лазерных диодов и области применения**

Лазерные диоды разнообразны по своей структуре, рабочей длине волны и мощности. Вот некоторые из типов лазерных диодов и их области применения:

#### **1. Полупроводниковые лазеры (видимого спектра):**

**Лазеры с полупроводниковыми нитями:** Используются в коммерческих лазерных указках и CD/DVD-приводах.



Конструкция лазерной головки

**Лазеры с одиночной квантовой точкой:** Имеют потенциал для применения в высокоскоростных коммуникациях и квантовой криптографии.

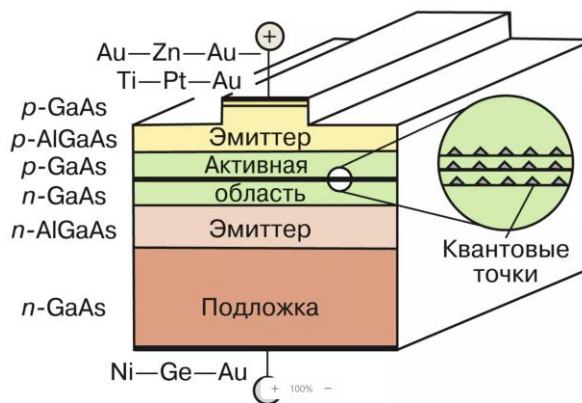


Схема лазера на квантовых точках

## 2. Диодные лазеры высокой мощности:

**Лазеры для материалобработки:** Используются для резки, сварки и гравировки материалов.

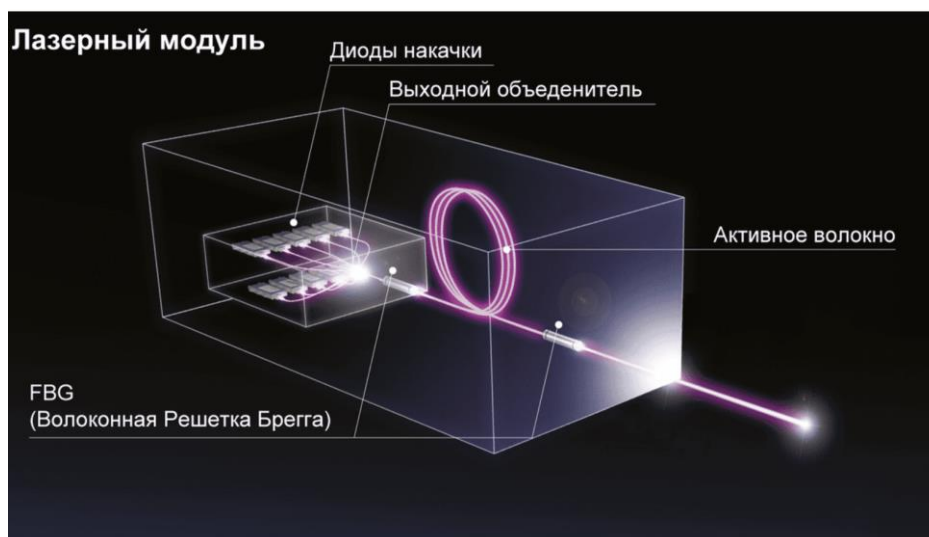
**Медицинские лазеры:** Применяются в лазерной хирургии, лазерной терапии и диагностике.



### 3. Волоконные лазеры:

**Телекоммуникации:** Используются в оптических сетях для передачи данных на большие расстояния.

**Промышленная маркировка и резка:** Применяются в системах маркировки и резки на производстве.



### 4. Сверхразрешение:

**Сканирующие лазерные микроскопы:** Позволяют получать изображения объектов на наномасштабах.

### 5. Медицинская диагностика:

**Офтальмология:** Используются для коррекции зрения (LASIK) и диагностики глазных заболеваний.

### Заключение:

Лазерные диоды являются ключевыми компонентами в современной оптоэлектронике и науке. Их способность создавать когерентное излучение света позволяет применять их в различных областях, включая медицину, промышленность, науку и телекоммуникации. Понимание принципов работы лазерных диодов и их разнообразных типов является важной частью современного образования в области оптоэлектроники.