

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ЛАЗЕРЫ

В твердотельных лазерах активным элементом выступает кристалл или стекло, который для создания нужных лазерных переходов легируют оптически активными ионами различных веществ.

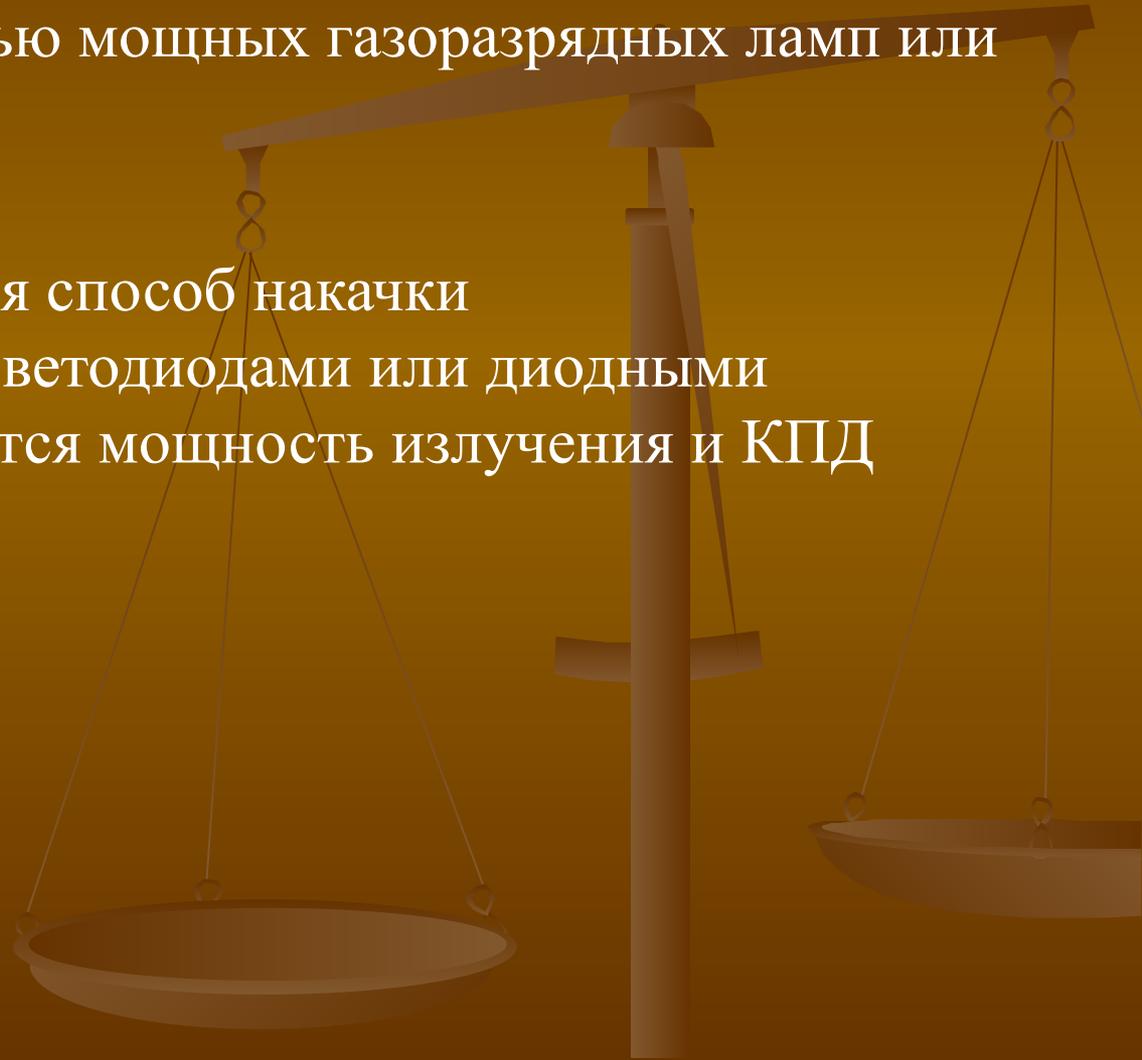
Существует класс лазеров, в которых активный элемент представляет собой тонкий диск кристалла или стекла — **дисковые лазеры**.

В последнее время активно разрабатываются лазеры, в которых активный элемент представляет собой тонкое волокно или пучок волокон кристалла или стекла — **волоконные лазеры**.

Способы накачки

Большинство современных твердотельных лазеров накачиваются с помощью мощных газоразрядных ламп или других лазеров.

Интенсивно развивается способ накачки полупроводниковыми светодиодами или диодными лазерами, что повышается мощность излучения и КПД лазера.



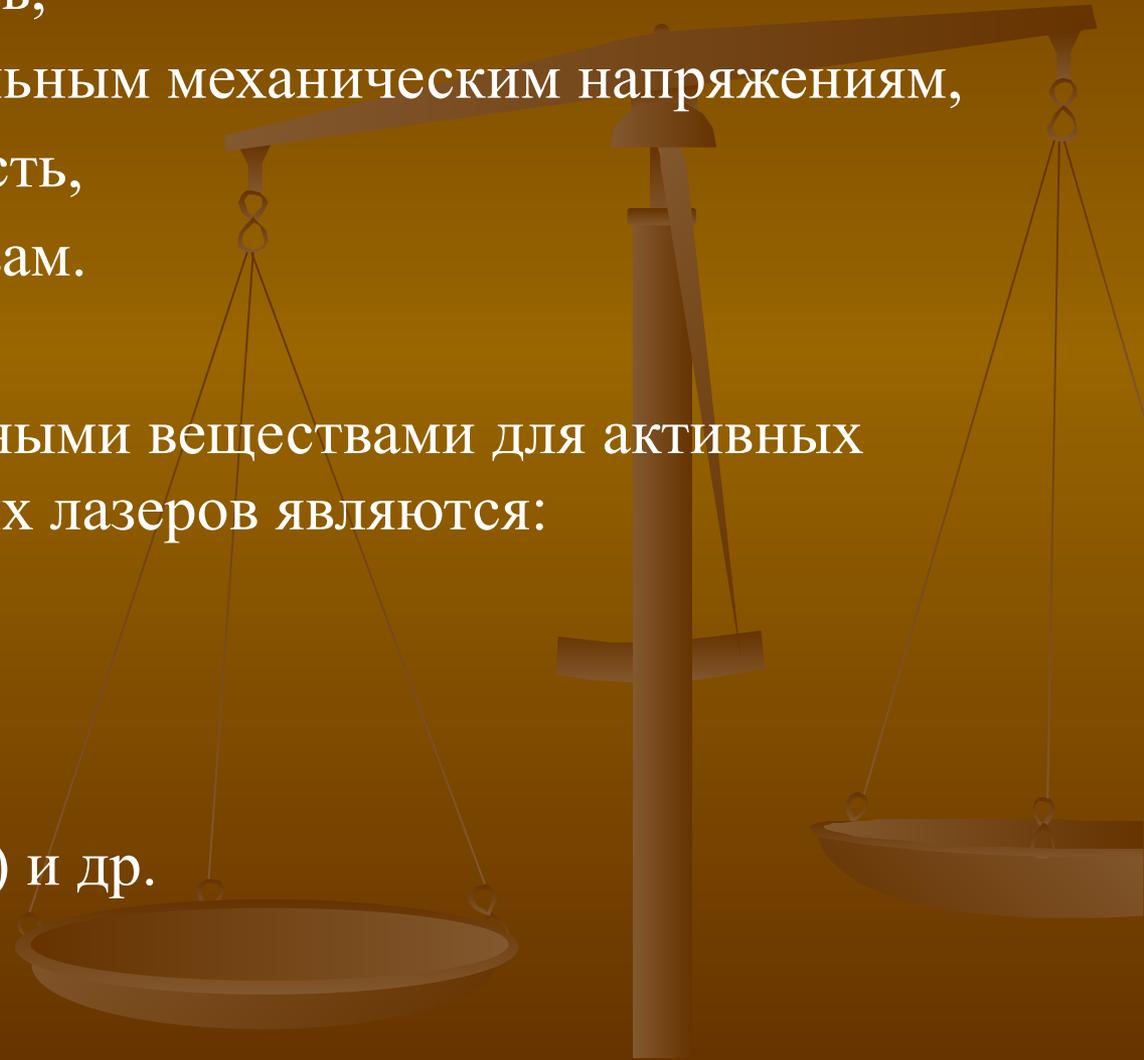
Активные элементы

Требования к активному элементу:

- оптическая однородность,
- устойчивость к значительным механическим напряжениям,
- высокая теплопроводность,
- устойчивость к перегревам.

Самыми распространенными веществами для активных элементов твердотельных лазеров являются:

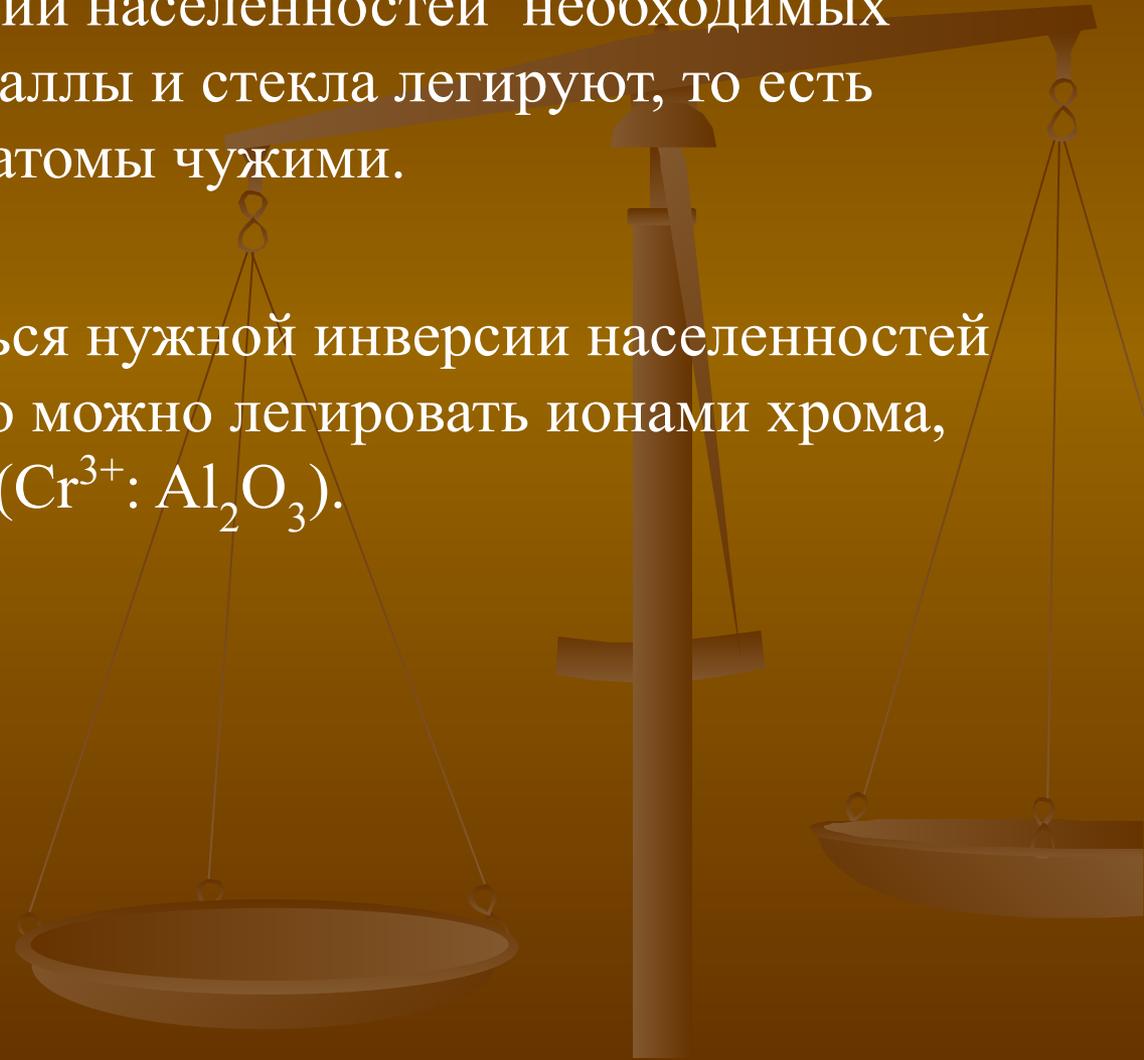
- сапфир (Al_2O_3)
- гранаты ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$)
- алюминаты (YAlO_3)
- александриты (BeAlO_4) и др.



Легирование

Для организации инверсии населенностей необходимых лазерных уровней кристаллы и стекла легируют, то есть замещают собственные атомы чужими.

Например, чтобы добиться нужной инверсии населенностей в кристалле сапфира, его можно легировать ионами хрома, тогда получается рубин ($\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$).

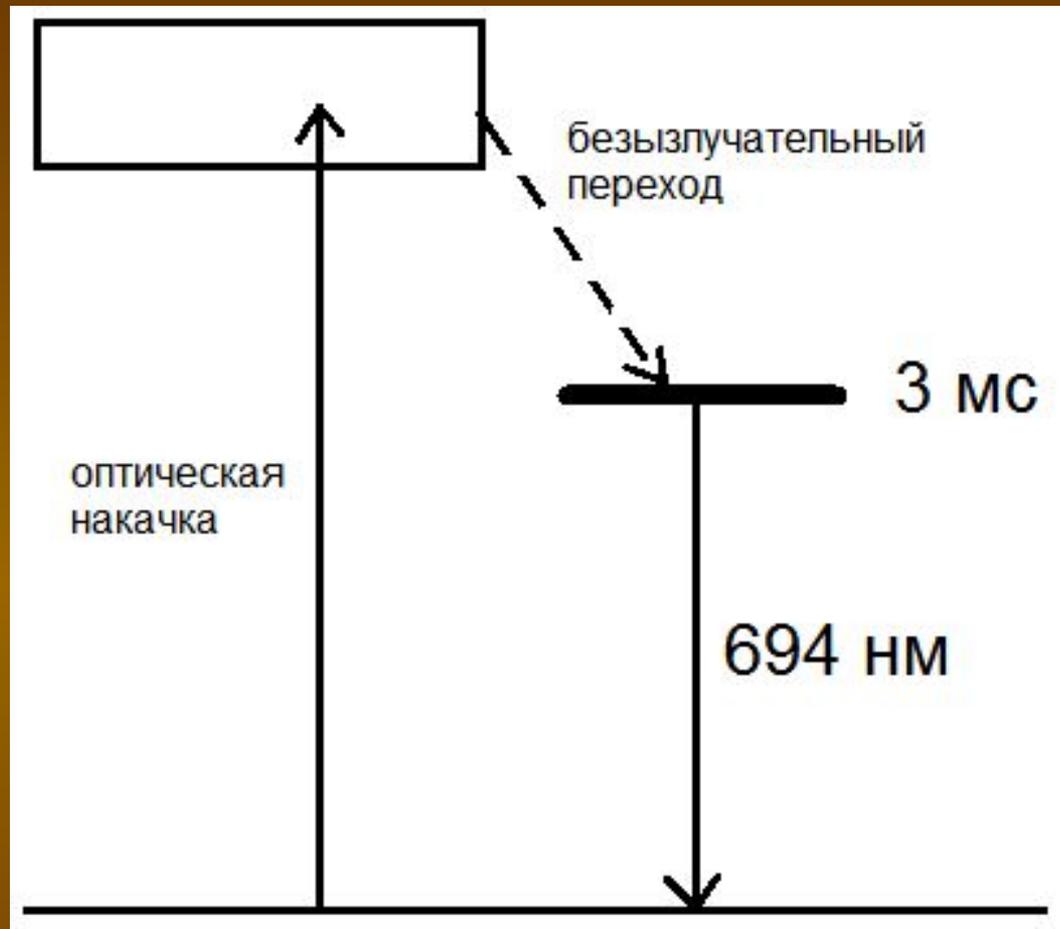


Основные твердотельные лазеры, применяемые в технологиях

Рубиновый лазер

В рубиновом лазере примерно 0,05% ионов алюминия замещают ионами хрома, тогда бесцветный сапфир становится рубинового цвета (таким же образом изготавливают искусственные рубины).

Рубиновый лазер является 3-х уровневым и может работать только в импульсном режиме из-за особенностей активного элемента.



Уровни и переходы рубинового лазера.

Лазер на иттрий-алюминиевом гранате

Среди твердотельных лазеров самый популярный это иттрий-алюминий-гранатовый (ИАГ) лазер с добавками неодима.

Формула $\text{Nd}^{3+}: \text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$. Около 1% ионов алюминия замещаются ионами неодима.

Основные параметры лазера:

Длины волн: 1064, 1319, 532, 355, 266 нм

Мощность непрерывного излучения
(с ламповой накачкой):

10 – 1800 Вт (TEM₀₀ до 30 Вт)

Мощность непрерывного излучения
(с диодной накачкой):

1 мВт — 10 Вт, TEM₀₀

Мощность в импульсе (с ламповой накачкой):

до 100 Дж в мс импульс и до 1,4 Дж в нс

Мощность в импульсе (с диодной накачкой):

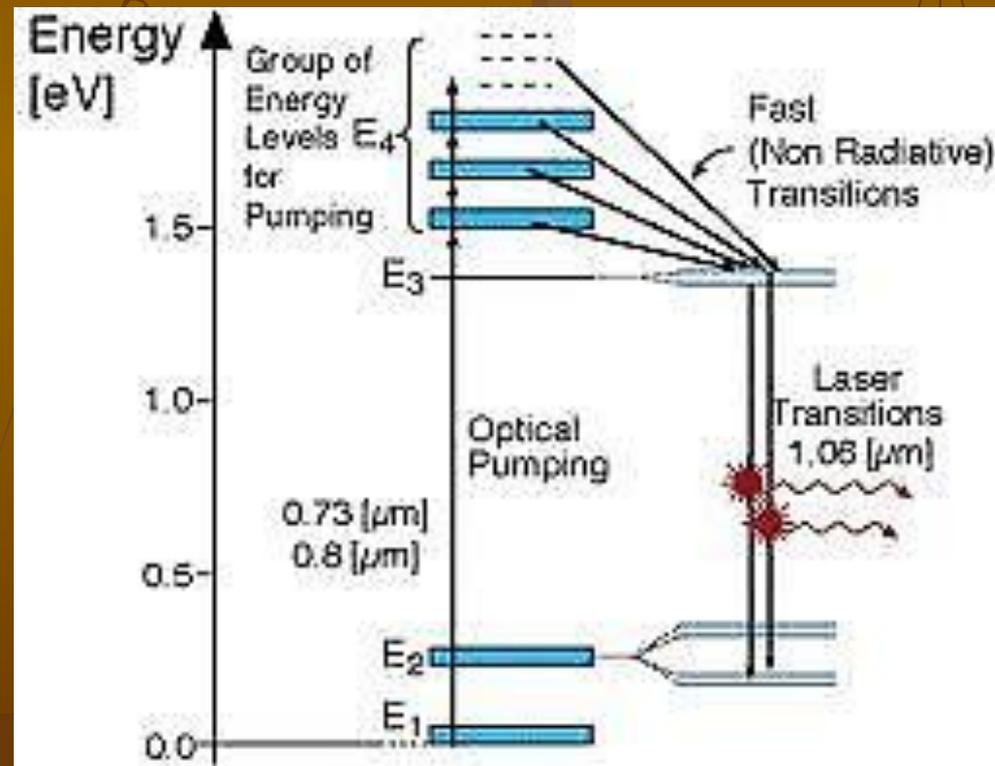
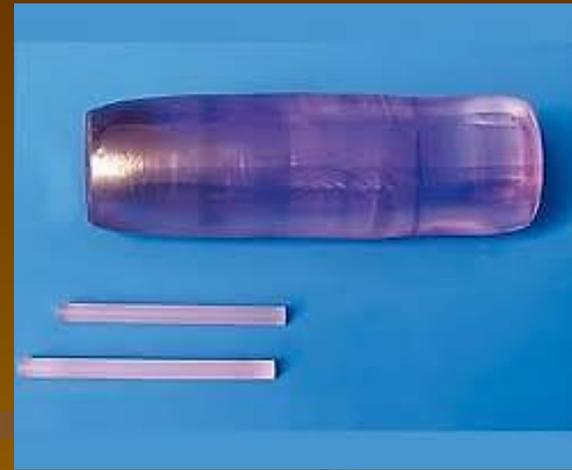
до 20 мДж в нс импульсе, десятки мкДж при 104 Гц

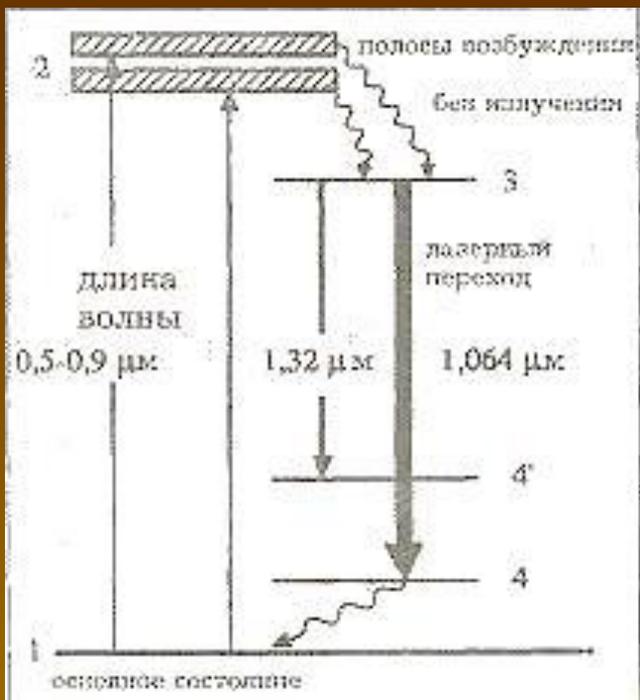
ИАГ лазер является 4-х
уровневым.

Время жизни на уровнях E_4 и
 E_2 наносекунды, а на уровне
 E_3 примерно 230 мкс.

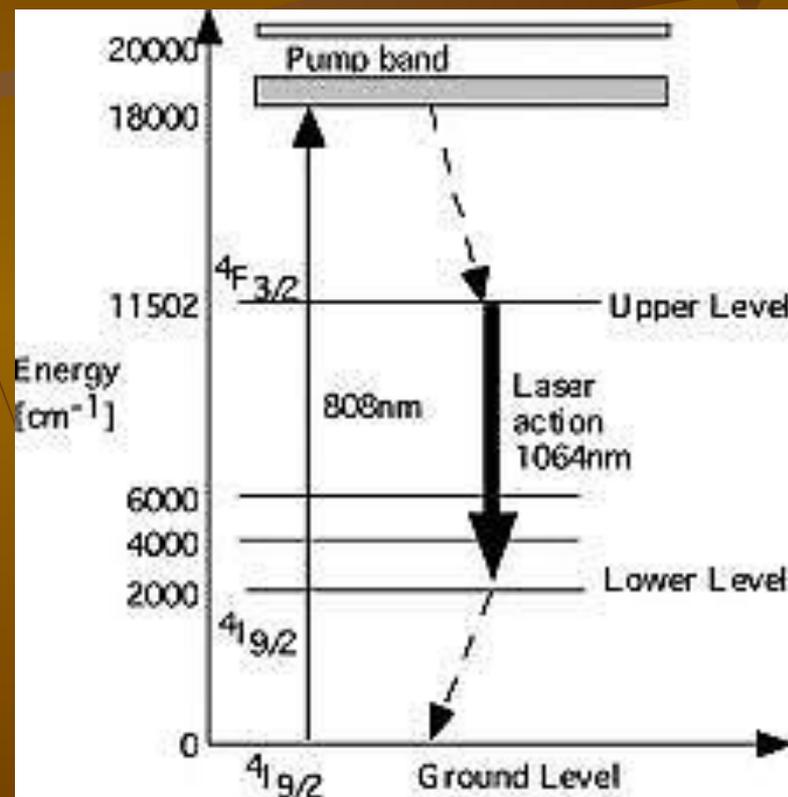
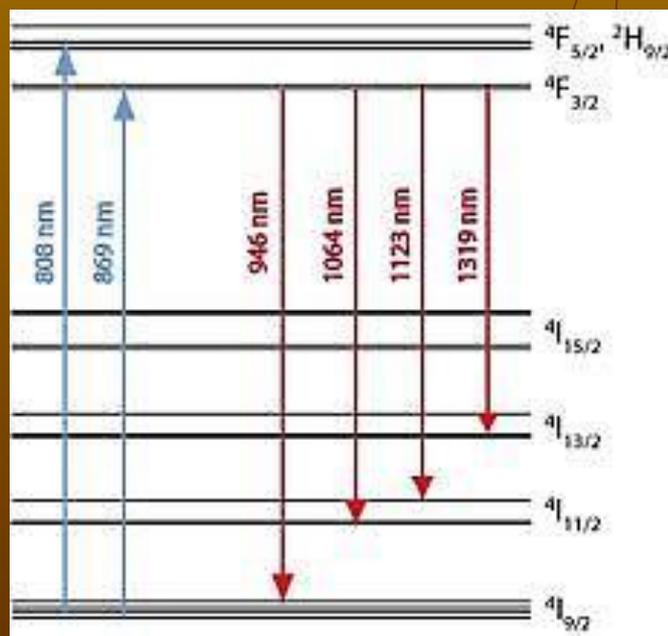
Основная интенсивность
приходится на длину волны
1064 нм (переход с E_3 на E_2).

ИАГ лазер может работать в
непрерывном и импульсном
режимах.

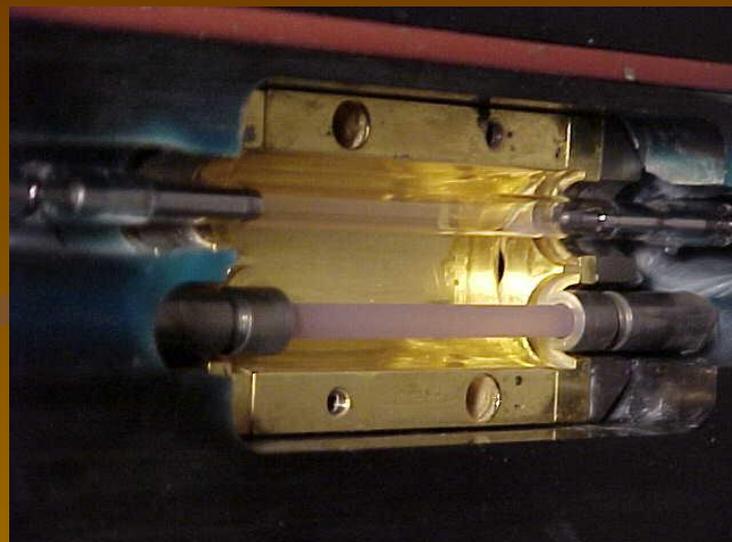




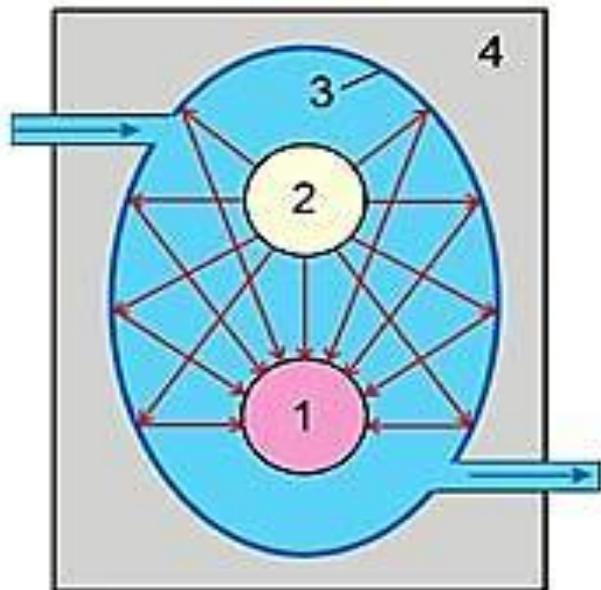
Исчо схемы уровней



Квантрон

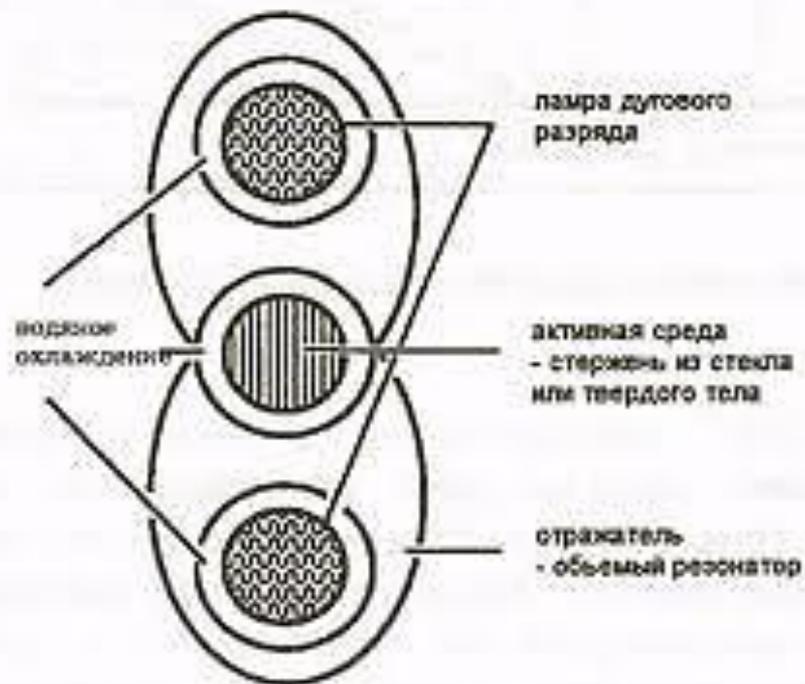


Квантрон в сечении



1. Активный элемент
2. Лампа накачки
3. Эллиптический отражатель, охлаждаемый водой
4. Корпус квантрона

Квантрон с двумя лампами накачки



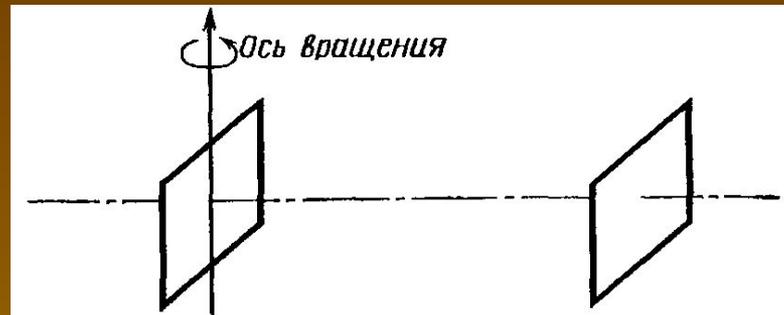
Модуляция добротности

Для реализации импульсного режима применяется метод модуляции добротности.

Идея в следующем: во время накачки лазера намеренно ухудшают свойства оптического резонатора, чтобы лазер не мог излучать. Это приводит к росту инверсии населенностей на лазерном уровне.

Если быстро улучшить свойства оптического резонатора, то вся накопленная энергия выйдет из лазера в виде короткого мощного импульса.

Модуляцию добротности можно организовать с помощью подвижных зеркал резонатора (например, вращать).



Модуляцию добротности можно организовать с помощью поляризаторов с переменными оптическими свойствами - ячейка Керра или ячейка Погкельса.

Ячейки пропускают лазерный луч, если плоскости поляризации лазерного излучения и ячейки совпадут.

Ячейки очень быстродействующие и управляются приложенным к ним электрическим напряжением.

Основные виды твердотельных лазеров

- Nd–YAG — 1.06, 0.53, 0.355, 0.266 мкм;
- Nd–стекло — 1.06, 0.53, 0.355, 0.266 мкм;
- Er–стекло — 1.54 мкм;
- Рубиновый — 0.63 мкм;
- Ti–сапфир — 0.66–0.98 мкм;
- Cr–BeAl₂O₄ (александрит) — 0.72–0.78 мкм.

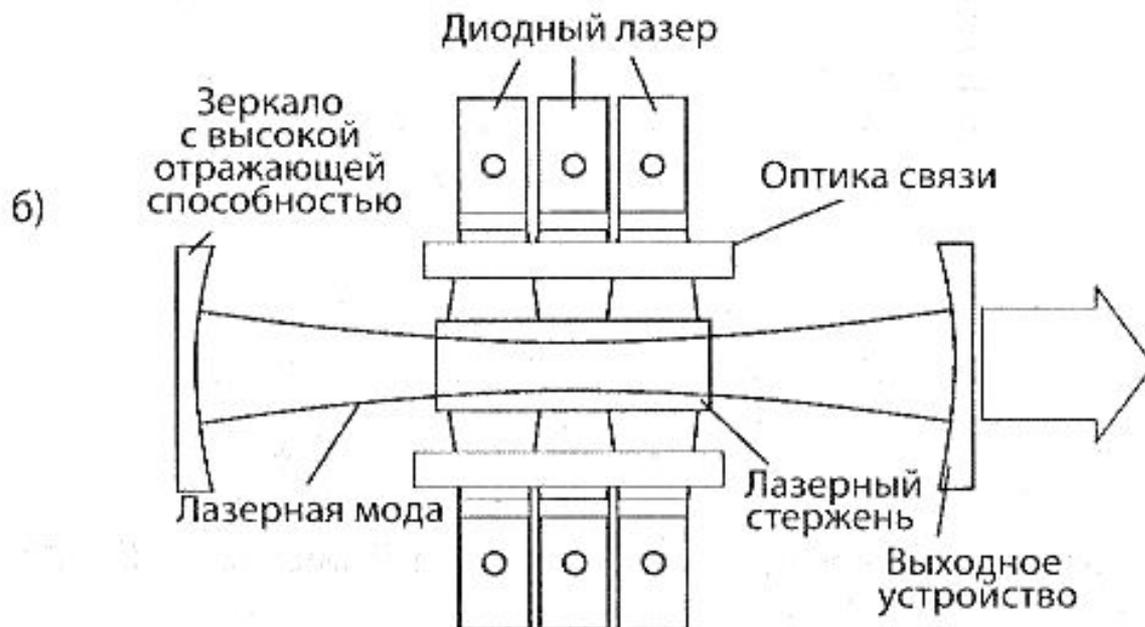
!!! Другие виды твердотельных лазеров можно рассмотреть при желании у Айхлера или в другой литературе.

Другие среды, активируемые Nd: стекло, YLF (иттрий-литиевый фторид), GSGG (галлий-скандий-гадолиниевый гранат), alexandrite ($\text{Cr-BeAl}_2\text{O}_4$)

Другие материалы: рубин (694 нм), Er: YAG (2.9 мкм), Ho: YAG (2.1 мкм)

Перестраиваемые лазеры с регулируемой длиной волны:
alexandrite (720 – 780 нм), Ti:Sapphire (600-1100 нм)

Диодная накачка



Полупроводниковая накачка

Твердотельные лазеры с ламповой накачкой ограничены уровнем эффективной концентрации излучения в активной среде. Для его повышения требуется применение крупногабаритных активных элементов, что сильно удорожает лазеры.

Применение п/п лазеров для оптической накачки решает эти проблемы.

Яркость п/п накачки на порядки превосходит яркость газоразрядных источников света, а спектральный состав ее излучения может быть согласован с полосами поглощения активного элемента.

КПД п/п накачки может достигать 80–90%.

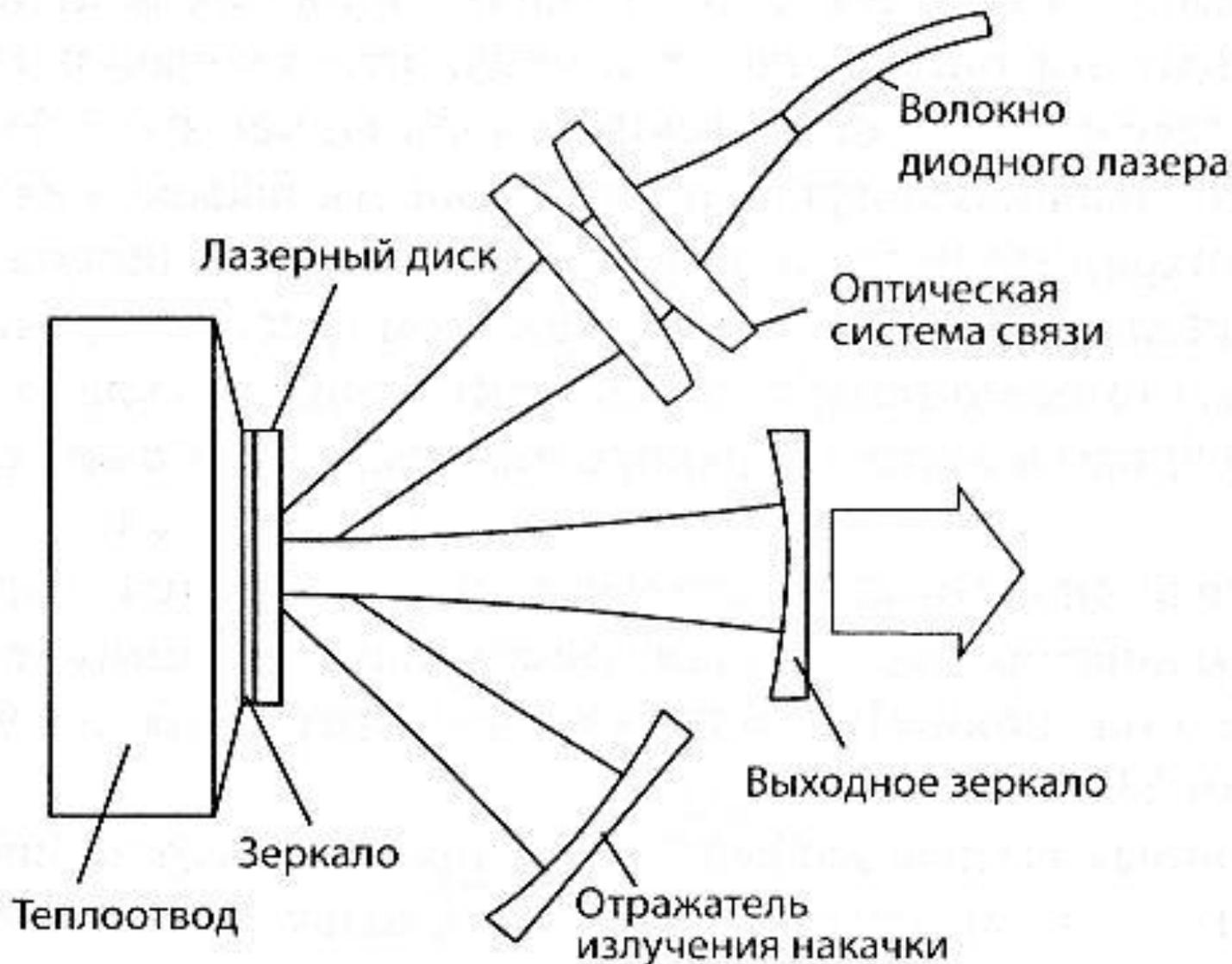
Использование п/п источников накачки в сочетании с достижениями оптоволоконных технологий привело к созданию нового типа лазера – на основе кварцевого волокна, легированного ионами иттербия Yb^{3+} .

У таких лазеров КПД достигает 20–30%, а выходная мощность достигает 5 кВт.



Квантрон с диодной накачкой

Дисковый лазер с диодной накачкой

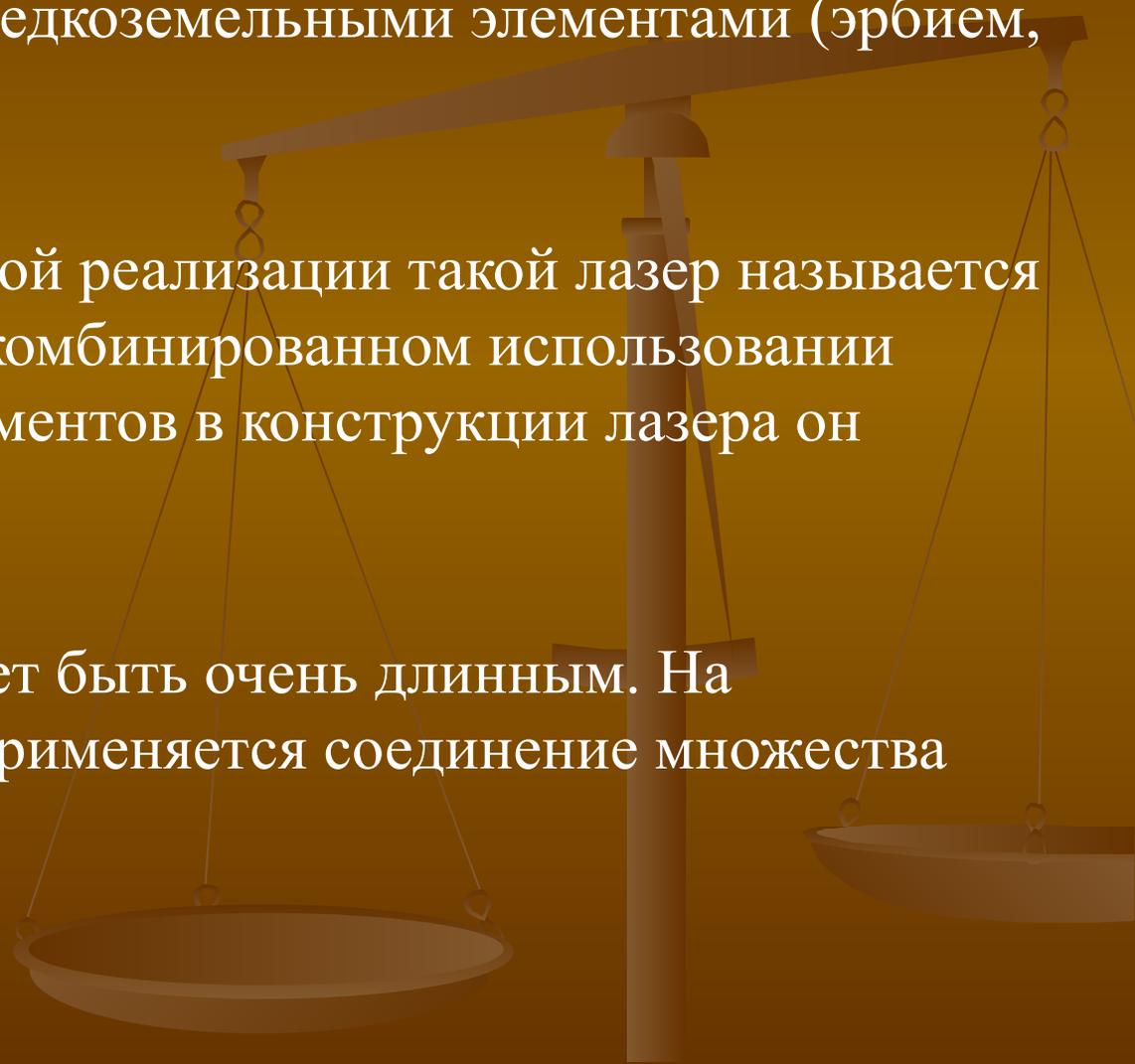


Волоконный лазер

Волоконные лазеры могут быть созданы на основе кварцевого волокна, легированного редкоземельными элементами (эрбием, неодимом и др.)

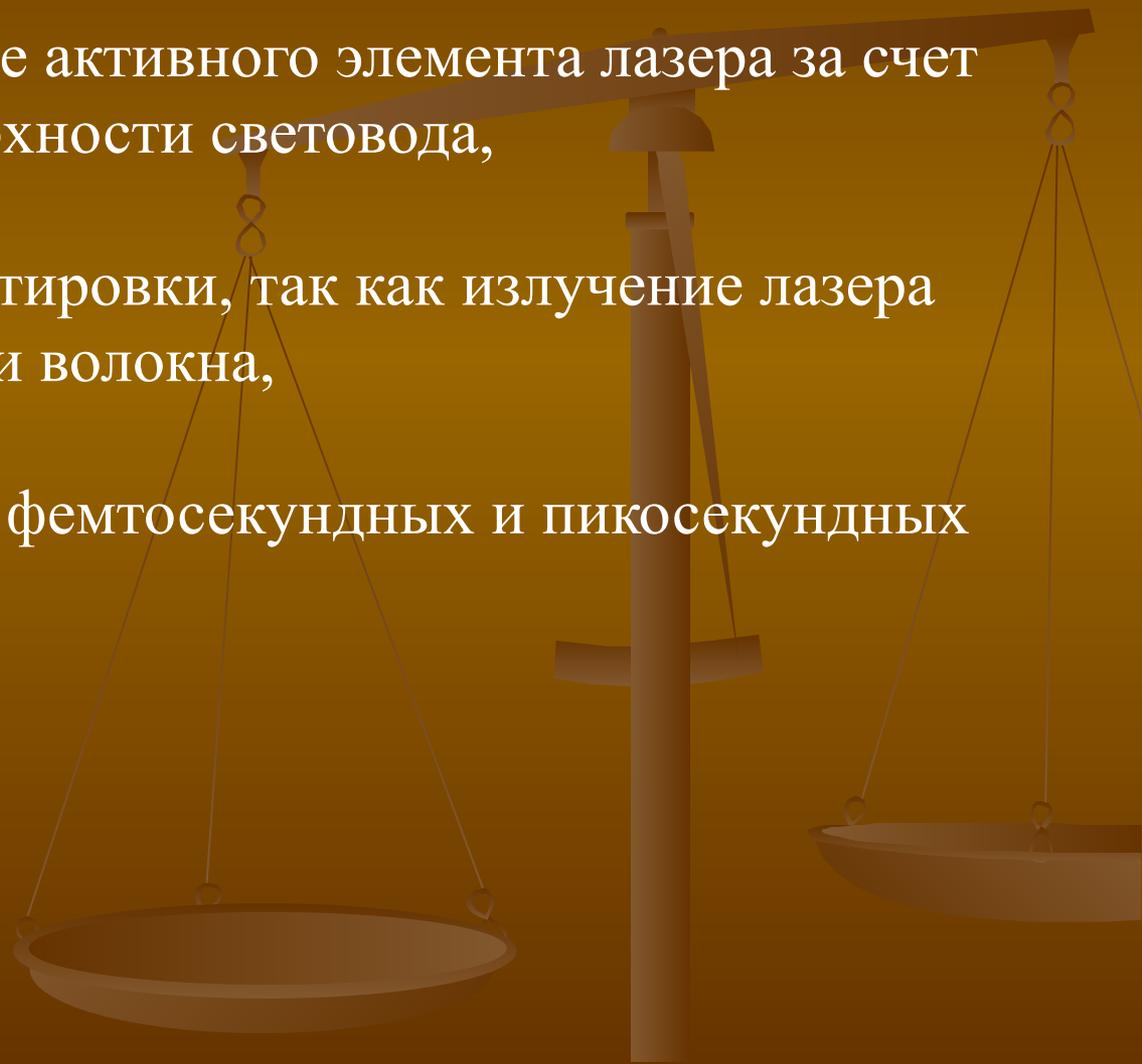
При полностью волоконной реализации такой лазер называется **цельноволоконным**, при комбинированном использовании волоконных и других элементов в конструкции лазера он называется **гибридным**.

Оптоволокно лазера может быть очень длинным. На киловаттные мощности применяется соединение множества световодов путем сварки.



Преимущества волоконного лазера:

- эффективное охлаждение активного элемента лазера за счет большой площади поверхности световода,
- резонатор не требует юстировки, так как излучение лазера распространяется внутри волокна,
- возможность получения фемтосекундных и пикосекундных импульсов.

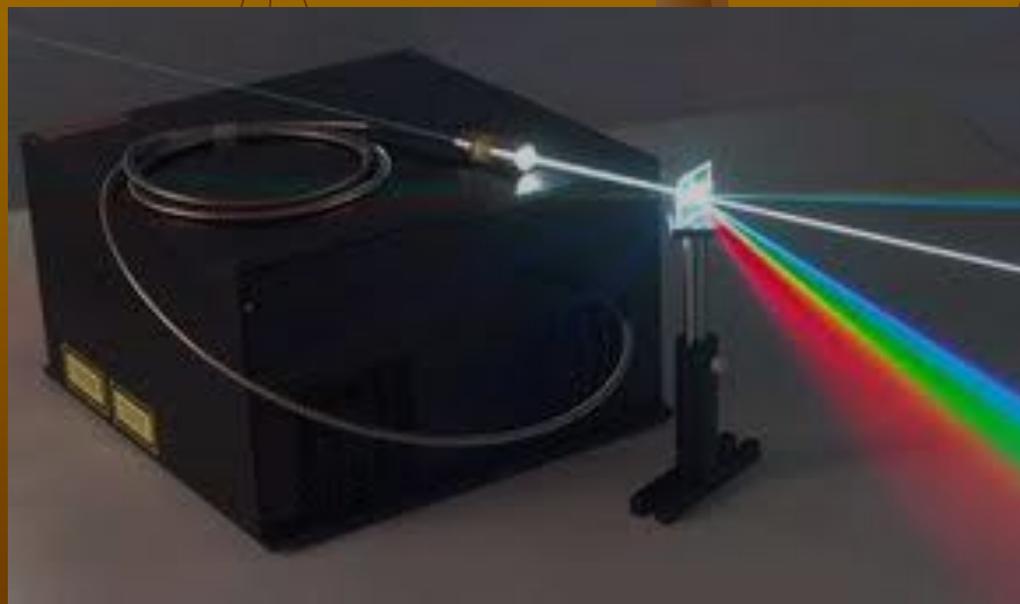




Эрбиевый волоконный лазер



Иттербиевый волоконный лазер



Мощные волоконные лазеры

Преимущества твердотельных лазеров

- высокая удельная мощность,
- высокое качество при большой мощности (TEM_{00}),
- высокий КПД (с диодной накачкой $> 20\%$),
- большие энергии в импульсе (до 1000 Дж),
- широкий диапазон длин волн,
- широкий диапазон длительностей импульсов (от 10^{-2} до 10^{-15} с),
- совместимость с оптическим волокном,
- большая яркость,
- высокая надежность.

