Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства

Лекция 8:

Газовые лазеры

В.М. Шандаров

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Laser

Генераторы электромагнитного излучения оптического диапазона, использующие эффект индуцированного излучения, называются лазерами.

Слово LASER – это аббревиатура словосочетания:

Light

Amplification by

Stimulated

Emission of

Radiation.

Газовые лазеры

В газовых лазерах активной средой является газ, смесь нескольких газов, или смесь газов с парами металла.

Особенности характеристик излучения газовых лазеров:

- Рабочие уровни в газе – это уровни почти изолированных частиц. Взаимодействие частиц в газе значительно слабее, чем в твердых телах и жидкостях, поэтому линии рабочих переходов могут быть очень узкими.

- Газ оптически более однороден, чем другие среды, поэтому потери на рассеяние в таких средах минимальны.

- Вследствие низкой концентрации активных частиц коэффициент усиления газовых сред мал. Для получения генерации нужны существенные размеры (от сантиметров до сотни метров).

Газовые лазеры

Область длин волн излучения газовых лазеров:

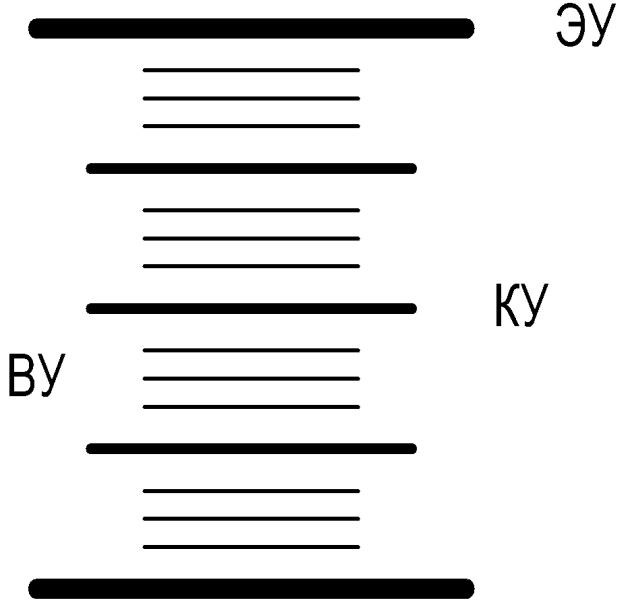
Они генерируют оптическое излучение в диапазоне от ультрафиолетового (~ 0,2 мкм) до далекого инфракрасного (более 400 мкм).

Коэффициент полезного действия (КПД) газовых лазеров во многих случаях невысок, однако для отдельных типов лазеров он достигает больших величин, например – до 30% для лазера на CO_2.

Газовые лазеры

Газовые лазеры делят на <u>атомарные, ионные и молекулярные</u>.
Рабочие области спектра для данных лазеров составляют:
<u>для атомарных</u> – как правило, от видимого до инфракрасного диапазона (до 25 мкм);
<u>для ионных</u> – в основном, они лежат в видимом и ультрафиолетовом диапазонах;
<u>молекулярные лазеры</u> работают, обычно, на длинах волн более 5 мкм.

Энергетические уровни



Основой системы являются электронные уровни, которые отстоят друг от друга на 1 – 10 эВ. Между электронными уровнями (ЭУ) располагаются колебательные уровни атомов (КУ) с расстоянием ~ 0,1 эВ. Между колебательными уровнями находятся вращательные уровни (ВУ) с расстоянием между ними 10–3 эВ и менее.

Достижение инверсии населенностей

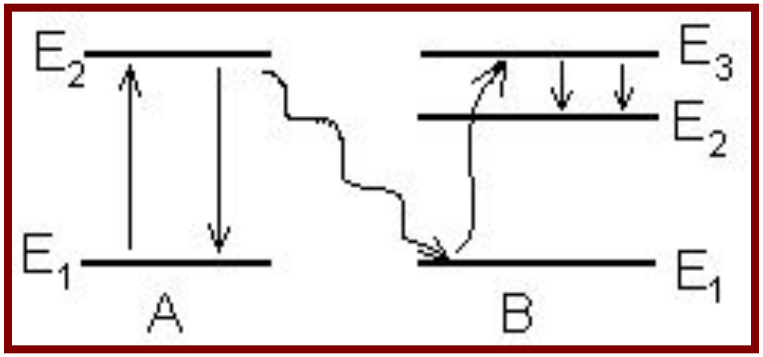
Наиболее часто для получения инверсии населенностей используется электрический разряд в газе.

Возбуждение осуществляется за счет столкновений атомов с электронами, а также столкновений между возбужденными и невозбужденными атомами.

Инверсия населенностей может быть получена в химических реакциях, при которых образуются атомы или радикалы в возбужденных состояниях, а также при диссоциации молекул с образованием атомов в возбужденных состояниях.

Лазер на смеси гелия и неона (He – Ne лазер)

Это первый газовый лазер, он создан в конце 1960 года. Для получения инверсии населенностей в He – Ne лазерах используется механизм столкновений второго рода. Это процесс, реализуемый в смеси двух газов.



Атомы одного (*A*) в разряде переходят в возбужденное состояние за счет столкновений первого рода (неупругие столкновения между электронами газового разряда и атомами, находящимися в невозбужденном состоянии).

$$\boxed{\rightarrow A + e \Rightarrow A^* + e}$$

Лазер на смеси гелия и неона (He – Ne лазер)

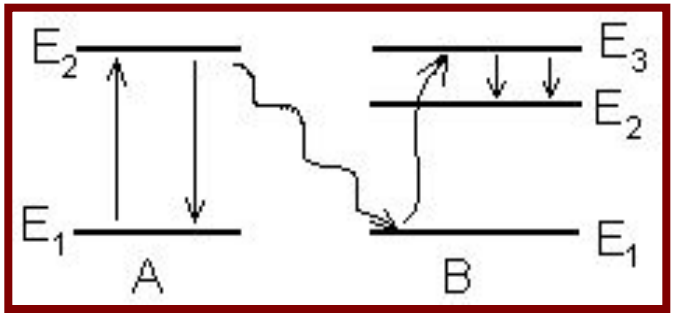
Возбужденное состояние является метастабильным, т.е. атомы газа могут в этом состоянии находиться долго. Энергия возбужденного состояния атома А должна быть близка к энергии верхнего возбужденного уровня атома другого газа.

При неупругих столкновениях атома A^* с атомом В (в основном состоянии) происходит эффективная резонансная передача энергии от A^* к В. В результате атом В переходит на уровень 3, а атом А переходит в основное состояние:

$$A^* + B \Rightarrow A + B^*$$

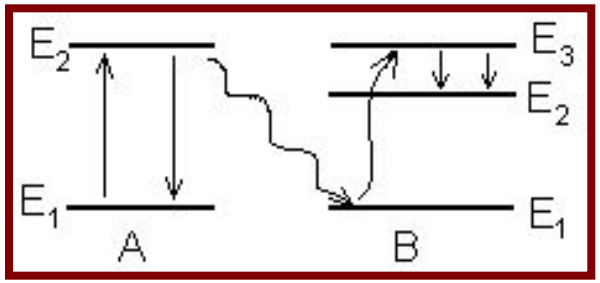
Вероятность такого перехода велика, если

$$\omega_{12A} = \omega_{13B}$$

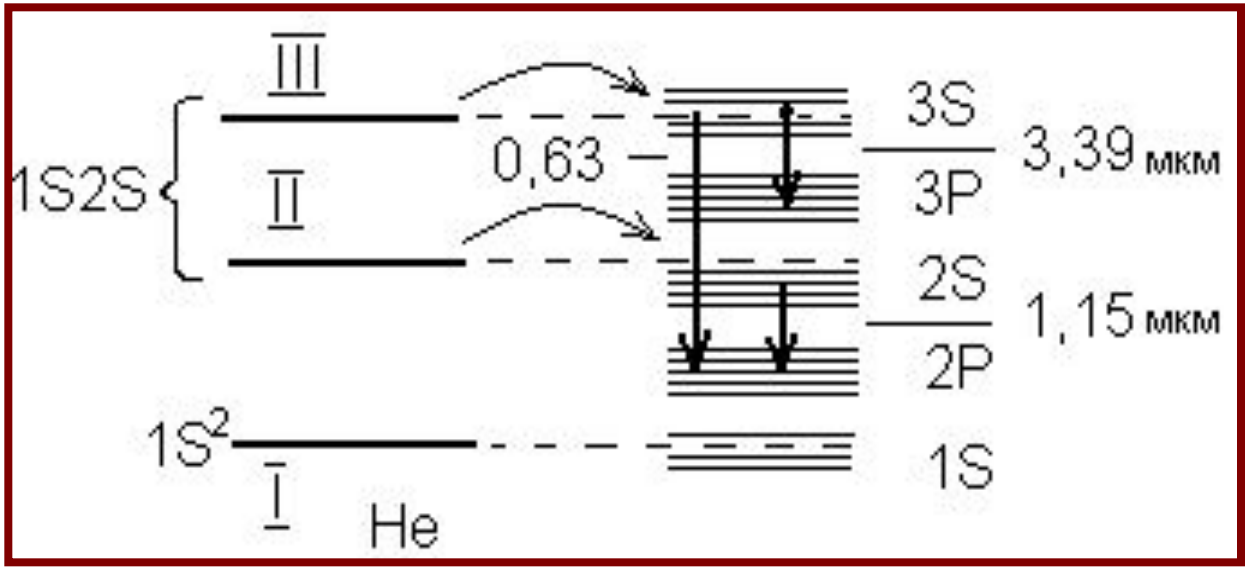


Лазер на смеси гелия и неона (He – Ne лазер)

В результате в системе может быть получена инверсия населенностей для уровней 3 – 2. В такой ситуации газ A - вспомогательный, а B - основной (рабочий). В *He – Ne* лазере в качестве рабочего газа выступает *Ne*, а вспомогательным является *He*. Диаграмма энергетических уровней смеси *He* и *Ne* схематично изображены на рисунке.



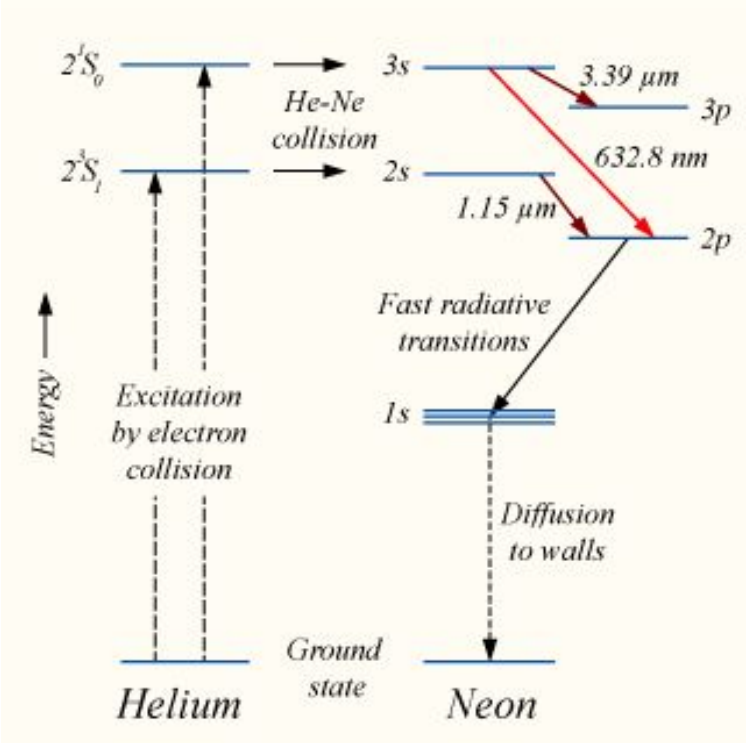
Лазер на смеси гелия и неона (He – Ne лазер)



Ne

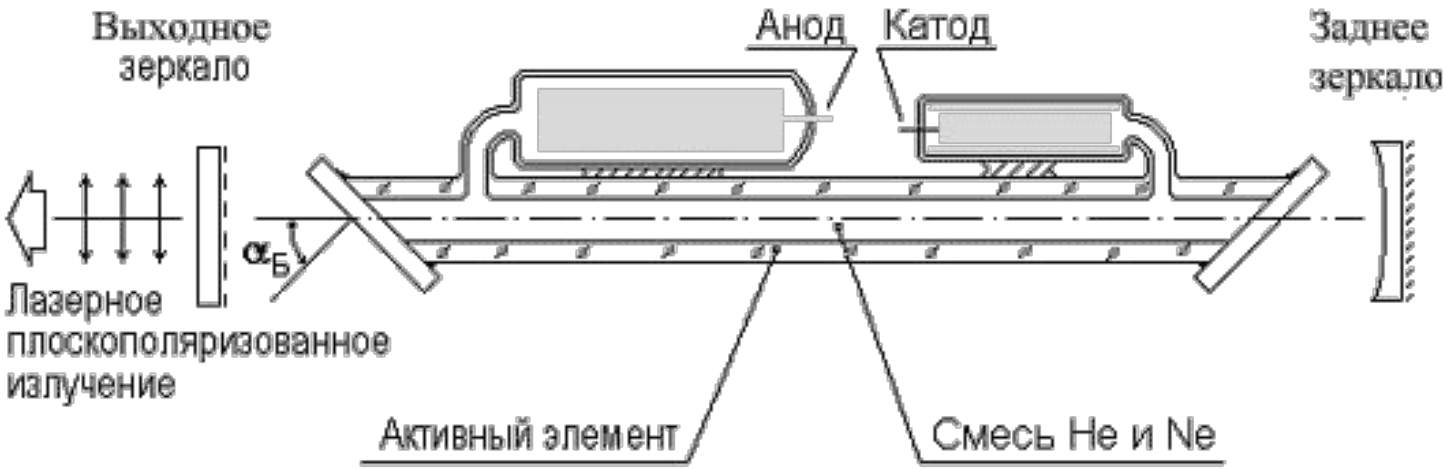
3S – 3P – 3,39мкм
2S – 2P – 1,15мкм
3S – 2P – 0,6328мкм

Лазер на смеси гелия и неона (He – Ne лазер)



В результате неупругих соударений атомов *He* и *Ne* населенности уровней 2*S* и 3*S* возрастают, а уровней 2*P* и 3*P* остаются малыми. Время жизни уровней 2*S* и 3*S* у *Ne* больше, чем уровней 2*P* и 3*P*. Поэтому при некотором токе разряда возникает инверсия населенностей в переходах 3S – 3*P*, 2*S* – 2*P* и 3*S* – 2*P*.

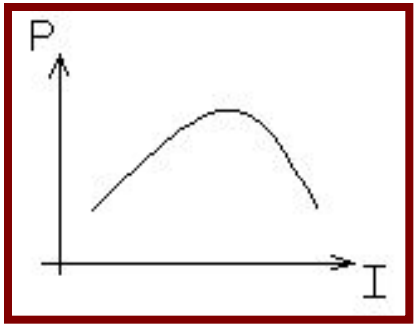
Схема конструкции He-Ne лазера

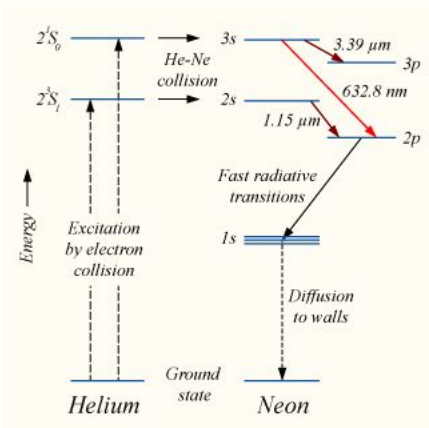


Устройство излучателя гелий-неонового лазера

Основные характеристики

Выходная мощность лазера зависит от тока разряда, общего давления газовой смеси в трубке, соотношения парциальных давлений газов, диаметра трубки





Зависимость P($I_{разряда}$) имеет максимум. Сначала при росте тока разряда мощность излучения возрастает. Но при некоторой величине тока начинает проявляться электронное возбуждение уровней 2*P* и 3*P* *Ne* с метастабильного уровня 1*S*. Вследствие этого населенности нижних рабочих уровней возрастают, а инверсия и выходная мощность падают вплоть до полного срыва генерации.

Основные характеристики

Увеличение общего давления в смеси повышает концентрацию активных атомов *He* и *Ne*, поэтому населенность возбужденных уровней и мощность излучения сначала возрастают.

Однако при слишком высоком давлении уменьшается длина свободного пробега электронов и, соответственно, их энергия в ускоряющем электрическом поле на этом пути. Это приводит к снижению энергии, передаваемой атомам *He* и к уменьшению выходной мощности.

Оптимальная величина давления составляет ~100 Па.

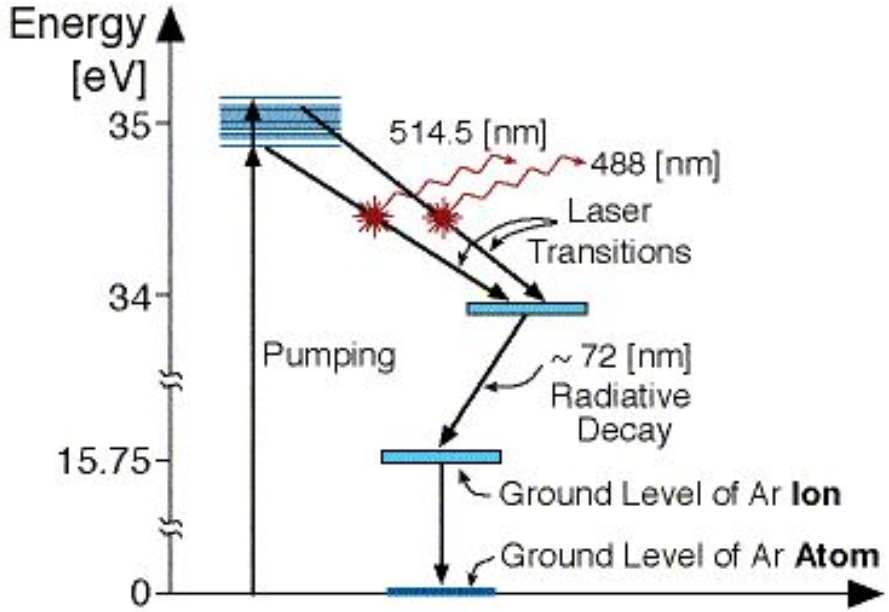
Выходная мощность – до 100 мВт (633 нм).

Ионный аргоновый лазер

В газовых ионных лазерах рабочими переходами являются переходы между энергетическими уровнями ионов.
Отличия активной среды в этом случае:
а) Расстояние между рабочими уровнями ионов больше, чем у нейтральных атомов, поэтому длина волны излучения этих лазеров соответствует видимому и ближнему ультрафиолетовому диапазонам.
б) Вероятность переходов между рабочими уровнями ионов больше, чем у нейтральных атомов.

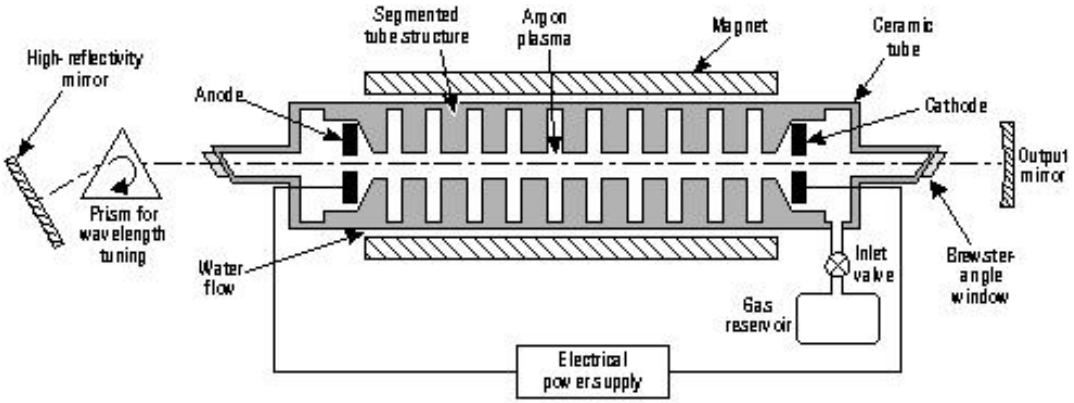
Рабочие среды ионных лазеров:
- чистые инертные газы: аргон (*Ar*), криптон (*Kr*), ксенон (*Xe*), *Ne;*
- ионизированные пары различных химических элементов (*Se*, *Zn*, *I*, *Cd*).

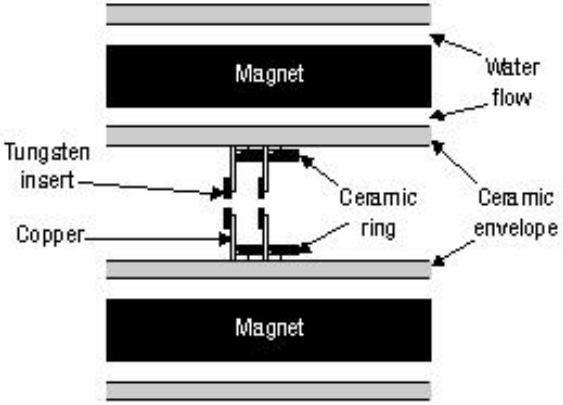
Ионный аргоновый лазер



Для эффективной работы лазера плазма газового разряда должна быть высокоионизированной, а кинетическая энергия электронов должна быть существенно выше, чем в случае тлеющего разряда. Поэтому в таких лазерах применяется дуговой разряд с плотностью тока от 100 А/см^2 в непрерывном режиме до 1000 А/см^2 в импульсном режиме.

Ионный аргоновый лазер





Ионный аргоновый лазер

Квантовые переходы соответствуют длинам волн от 0,45 до 0,51 мкм (сине – зеленая область). Вследствие высокой плотности тока все *Ar* лазеры имеют водяное охлаждение. Газоразрядные трубки изготавливаются для повышения термической прочности из бериллиевой керамики. Для предотвращения бомбардировки стенок трубки ионами и электронами используется продольное магнитное поле, создаваемое соленоидом. Оно удерживает заряженные частицы вблизи оси трубки. Использование магнитного поля позволяет повысить выходную мощность в несколько раз (за счет повышения плотности тока). КПД таких лазеров также низок и достигает лишь 0,01..0,1%. Мощность излучения в непрерывном режиме достигает 175 Вт.

Молекулярные газовые лазеры

Для атомарных и ионных лазеров характерен низкий к.п.д. Это связано с тем, что верхний рабочий уровень лежит высоко над основным уровнем. Поскольку инверсия населенностей создается при электронном возбуждении из основного состояния, то только небольшая часть электронов (с высокой кинетической энергией) участвует в процессе возбуждения. Для He – Ne лазеров оценка числа таких электронов дает 5÷6%.

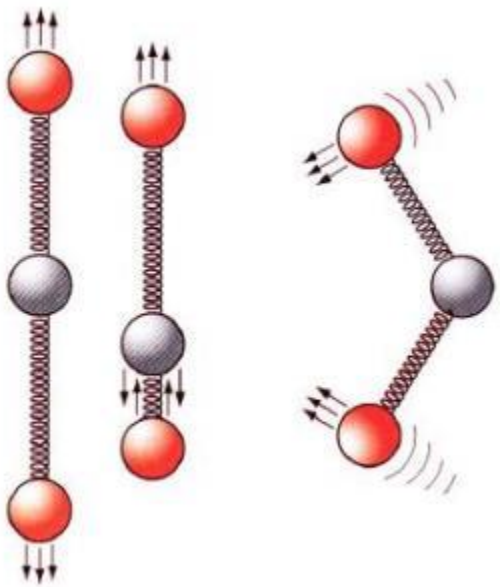
Молекулярные газовые лазеры

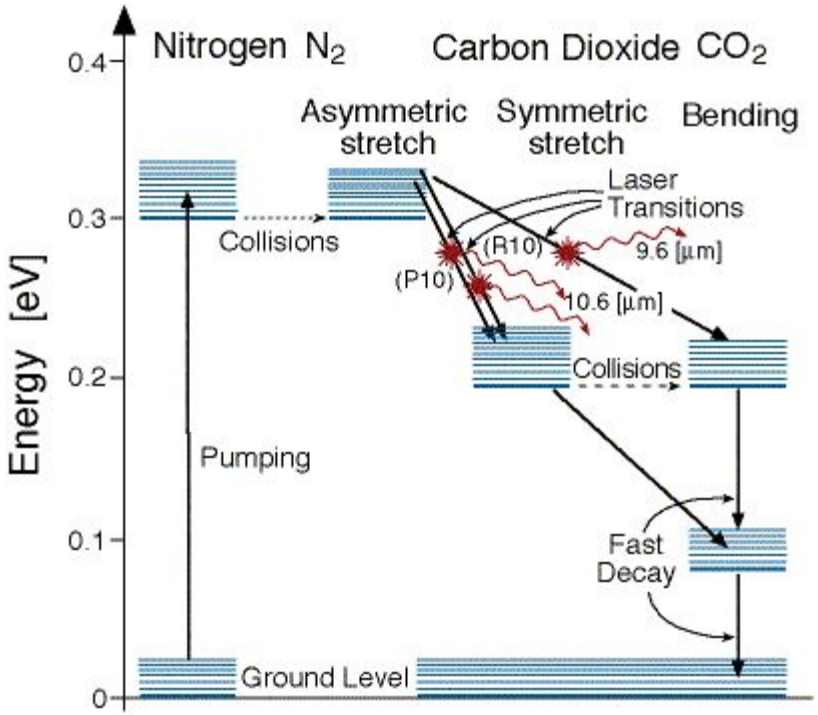
К.П.Д. лазеров можно увеличить, используя в качестве рабочих энергетические уровни, находящиеся вблизи основного. Например, колебательные уровни молекул.

Такие лазеры излучают в инфракрасном диапазоне. Для возбуждения молекул используют, например, электрический разряд, химические реакции, оптическую и тепловую накачку. Наиболее распространен лазер на молекулах двуокиси углерода (CO_2 – лазер).

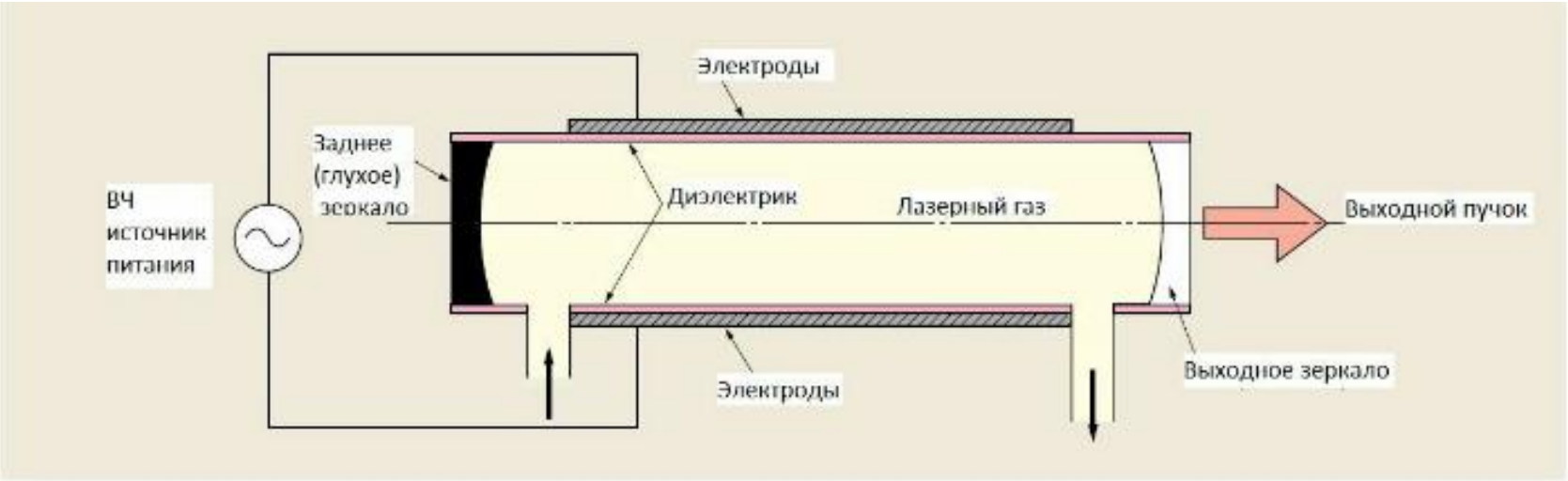
Здесь используется смесь рабочих газов: CO_2, N_2. Для увеличения теплопроводности смеси и отвода тепла к стенкам газоразрядной трубки в нее добавляют также *He*.

Лазер на CO_2




Nitrogen N_2
Carbon Dioxide CO_2
Asymmetric stretch
Symmetric stretch
Bending
Laser Transitions
Collisions
(R10)
(P10)
9.6 [μm]
10.6 [μm]
Collisions
Pumping
Fast Decay
Ground Level
Energy [eV]
0.4
0.3
0.2
0.1
0

Одна из конструкций



Лазер на CO_2

Типичные характеристики излучения CO_2 – лазеров:

λ = 10,6 мкм (есть и другие линии, например λ = 9,6 мкм);

$P_{вых}$ = 9 кВт (непрерывный);

К.П.Д. – до 30%;

$P_{имп.\ max}$ = 100 МВт.

Спасибо за внимание!