

деактивация колебаний азота протекает очень медленно. Кванты колебаний N₂ и антисимметричной моды СО₂ почти одинаковы. Между N₂ и СО₂ происходит быстрый резонансный обмен квантами с частотами W₄₃ и W₃₄, и энергия возбуждения передаётся антисимметричной моде, в т. ч. на верх. лазерный уровень. Столкновительная деактивация этой моды идёт с частотой W₃₂, при этом энергия переходит в колебания смешанных мод и частично в тепловую. Под действием излучения между лазерными уровнями происходят индуцированные переходы с частотой R₃₂. Столкновительная деактивация смешанных мод происходит с частотой W₂₀, при этом энергия колебаний переходит в тепловую. Если W₂₀ >> W₃₂, то возникает эффект «узкого горла»: колебания молекулы азота и антисимметричной моды СО₂ возбуждаются значительно сильнее, чем колебания смешанных мод. Населённости ниж. лазерных уровней остаются почти не отличающимися от тепловых и оказываются меньшими населённости верх. лазерного уровня, т. е. возникает инверсная населённость. Накачка СО₂-л. может производиться разл. способами. В общем случае источник накачки может возбуждать с частотами P₀₃ и P₀₂ антисимметричную и смешанные моды, а также деактивировать моды с частотами P₂₀, P₃₀ и P₄₀ соответственно.

Вследствие бoльшановского распределения населённости уровней мод инверсная населённость одновременно образуется и на большом числе переходов, соответствующих полосам секвенции и «горячим» полосам. Усиление на этих переходах значительно меньше, и для получения генерации на них в резонатор лазера вносят частотно-селективные потери, посредством к-рых подавляется генерация на более сильных переходах.

Благодаря большой скорости обмена квантами между антисимметричной модой и азотом релаксация запасённой в этих модах энергии происходит совместно. Эфф. время такой релаксации превышает обратную частоту релаксации антисимметричной моды:

$$\tau_{эфф} = (p_{CO_2} + p_{N_2}) / (p_{CO_2} W_{32}),$$

где p — соответствующие парциальные давления. В смесях СО₂ с азотом эффекта «узкого горла» не возникает. Чтобы обеспечить выполнение условия W₂₀ >> W₃₂, в смесь добавляют компоненты, к-рые ускоряют релаксацию смешанных мод, но мало влияют на деактивацию антисимметричной моды. Лучше всего этому требованию удовлетворяют атомы гелия, к-рые обычно входят в состав лазерных смесей. В нек-рых случаях с этой целью в состав смеси добавляют водяной пар или водород.

Газоразрядные СО₂-л. Наиб. распространение получила накачка СО₂-л. в газовом разряде. Этот способ накачки отличается высокой эффективностью преобразования электрич. энергии в энергию колебаний молекул азота и антисимметричной моды СО₂, возможностью регулирования мощности накачки в довольно широких пределах, надёжностью и доступностью аппаратуры (см. также *Газоразрядные лазеры*). Высокая эффективность газоразрядной накачки обусловлена рядом причин. Сечения возбуждения колебат. уровней азота электронным ударом велики и имеют резонансный характер. Энергии электронов, соответствующие максимумам сечений этих процессов, близки к ср. энергии электронов в тлеющем разряде в лазерных смесях. Сечения возбуждения колебат. уровней СО₂ электронным ударом тоже велики, их максимумы находятся в припороговой области, где энергия электронов несколько превышает энергию квантов колебаний мод. Учитывая, что квант колебаний деформационной моды примерно втрое меньше кванта колебаний азота, осн. доля мощности, в типичных условиях 70—85%, расходуется в разряде на возбуждение колебаний азота и антисимметричной моды.

Газоразрядные СО₂-л. непрерывного действия. В процессе накачки в активной среде выделяется значит. мощность, что приводит к повышению её темп-ры. Величина τ_{эфф} при этом быстро уменьшается. В результате с ростом мощности накачки населённость верх. лазерного уровня сначала растёт, достигает максимума и затем

уменьшается. Населённость ниж. лазерного уровня с ростом темп-ры экспоненциально растёт. Вследствие этого существует оптимальная плотность мощности накачки, при превышении к-рой инверсная населённость начинает уменьшаться из-за перегрева газа. При оптимальной плотности мощности накачки темп-ра составляет 400—500 К. При темп-ре более 700—800 К инверсная населённость исчезает. Чтобы не допустить перегрева активной среды, необходимо обеспечить эфф. теплоотвод. Теплоотвод может производиться за счёт теплопроводности к охлаждаемым стенкам разрядной трубки либо конвективным способом посредством замены отработавшей порции газа. По способу теплоотвода различают СО₂-л. с диффузионным и конвективным охлаждением (СО₂-ЛДО и СО₂-ЛКО).

Типовая схема простейшего СО₂-ЛДО показана на рис. 4. Мощность генерации СО₂-ЛДО можно оценить из

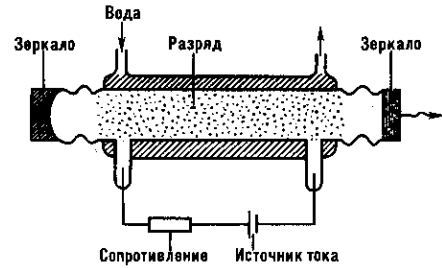


Рис. 4.

следующих соображений. Если W — мощность, η — эл.-оптич. кпд генерации, L — длина, R — поперечный размер газоразрядной трубки, ΔT — допустимый перепад темп-ры между центром и стенками трубки, κ_c — коэф. теплопроводности лазерной смеси, то

$$\frac{W}{R^2 L (1 - \eta)} \leq \kappa_c \frac{\Delta T}{R^2},$$

откуда W/L ≤ (1 - η)κΔT. Эл.-оптич. кпд включает в себя кпд накачки η_н, к-рый показывает, какая часть электрич. мощности, поступающей в разряд, расходуется на возбуждение колебаний молекул азота и антисимметричной моды СО₂, квантовый кпд η_{кв} ≈ 0,41, равный отношению энергии квантов излучения и накачки, кпд генерации η_{ген} и геометрич. коэф. заполнения активного объема излучением η_{зп}: η = η_нη_{кв}η_{ген}η_{зп}. Величина η_{зп} при хорошем согласовании объемов разряда и мод резонатора может составлять 0,6—0,8, но часто гораздо меньше. При условии, что коэф. прозрачности выходного зеркала оптич. резонатора выбран оптимальным по мощности генерации, η_{ген} = (1 - √β/κ)², где β — приходящаяся на единицу длины величина потерь на полный обход резонатора за исключением потерь на излучение во внеш. пространство, κ — показатель усиления. В целом η достигает 10—15%. Величина погонной мощности не превышает 50—70 Вт/м. Соответствующая этому ограниченно плотность мощности накачки оказывается примерно на порядок меньше пороговой, при к-рой возможно развитие неустойчивости разряда. Чтобы увеличить мощность лазера, применяют длинные трубки (до 10—20 м). Для уменьшения габаритов трубки разделяют на секции длиной 2—4 м. Мощность СО₂-ЛДО обычно не превышает 500—1000 Вт. Для повышения погонной мощности применяют разряды щелевой или кольцевой геометрии либо помещают большее число трубок (N) в общий резонатор. В первом случае погонная мощность может быть увеличена в H/d раз (H — ширина, d — толщина щели). Во втором случае возможно N-кратное увеличение погонной мощности сборки. Мощность таких лазеров достигает 10 кВт.

Важным в практич. отношении свойством СО₂-ЛДО оказывается возможность длит. эксплуатации без замены газа (т. н. отгайные лазеры). Срок службы определяется скоростью взаимодействия продуктов плазмохим. реакций