

шения (релаксации) ниж. уровня лазерного перехода в процессе расширения выше скорости релаксации верх. уровня; 2) время опустошения верх. уровня больше характерного т. н. газодинамич. времени (времени движения газа до резонатора). Если для определ. пары энергетич. уровней эти условия выполнены, то из-за сильной зависимости времён релаксации от темп-ры и плотности газа, начиная с некого момента от начала расширения, быстрое падение населённости верх. уровня сменяется медленным, тогда как населённость нижнего продолжает уменьшаться с заметной скоростью. Часть избыточной энергии верх. уровня может быть трансформирована в резонаторе в энергию лазерного луча. Диффузор служит для торможения потока и повышения давления газа, к-рый выбрасывается в атмосферу.

Активная среда. Указанным требованиям наиб. полно отвечают колебат. состоящая молекул, обладающие большими временами жизни (по сравнению с электронными и вращательными уровнями). Процессы колебат. релаксации позволяют осуществить: полную инверсию колебат. уровней и т. н. частичную

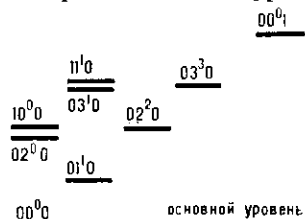


Рис. 2. Схема нижних колебат. уровней энергии молекулы CO_2 (цифры — колебат. квантовые числа, степень — вырождение деформационного колебания).

воли генерации $\lambda = 10,4 - 9,4$ мкм (рис. 2). Уровень 00^0 соответствует асимметрич. колебаниям молекулы CO_2 , уровни 10^0 и 02^0 — колебаниям деформационного и симметрического типов. Однако в чистом CO_2 необходимое соотношение времён релаксации этих уровней не выполнено. Это соотношение сдвигается в нужную сторону при добавлении предел. кол-ва молекул H_2 , H_2O , атомов He и др. Их столкновения с молекулами CO_2 опустошают нижние лазерные уровни (10^0 и 02^0) значительно быстрее, чем уровень 00^0 . Увеличение запаса колебат. энергии в охлажденном газе достигается также введением в газовую смесь в форкамере донорного газа, молекулы к-рого релаксируют медленно и способны быстро передавать запасенную в них энергию на уровни, соответствующие асимметрич. колебаниям молекулы CO_2 . Роль донорного газа обычно выполняют возбужденные молекулы N_2 , колебат. уровни к-рых близки к уровням молекулы CO_2 .

Г. л. на продуктах сгорания является простейшим Г. л., имеющим практич. значение. В форкамере сжигается углеродсодержащее топливо в воздухе, горячие продукты сгорания пропускаются через сопловой аппарат и резонатор (рис. 1). В зависимости от используемого топлива и условий его сжигания давление p_0 , темп-ра T_0 и хим. состав продуктов в форкамере меняются в широких пределах ($p_0 = 5 - 100$ атм, $T_0 = 1500 - 3000$ К). Таким способом, как правило, не удаётся получить высокой эффективности. Г. л. на продуктах сгорания имеет низкий кпд ($\leq 1\%$). Это обусловлено тем, что только 7—10% от энергии сгорания идёт на возбуждение колебат. уровней молекулы CO_2 . Кроме того, из-за релаксац. потерь энергии в потоке, невысокого отношения энергии кванта лазерного излучения к энергии кванта, необходимого для возбуждения асимметрич. колебания молекулы CO_2 (квантового кпд), и относительно небольшой эффективности резонатора не весь энергезапас может быть трансформи-

рован в лазерное излучение. Реально в Г. л. на продуктах сгорания энергия, излучаемая на единицу массы сжигаемой смеси (уд. энергия излучения) ≤ 20 кДж/кг, а показатель усиления $\alpha \leq 0,5 - 1,0$ м $^{-1}$.

Другие типы Г. л. Один из путей повышения эффективности Г. л. состоит в сглаживании релаксац. потерь запасённой колебат. энергии. Из-за сравнительно высоких скоростей релаксации колебат. уровней молекулы CO_2 практически вся теряемая средней энергией преобразуется в тепло, причём это происходит в околорезонаторной части сопла, где высоки темп-ра и плотность газа. Отсутствие CO_2 в этой части потока снижает до минимума потери энергии. Поэтому необходимое кол-во CO_2 вводят в поток возбужденного донорного газа в сверхзвуковую или околосубзвуковую часть сопла. При этом темп-ра вводимого CO_2 может быть низкой ($\leq 200 - 300$ К). В таком варианте Г. л. (Г. л. «подмешиванием») появляется дополнительный, возможность повышения полного числа колебат. возбужденных молекул за счёт нагревания донорного газа до более высоких темп-р $T_0 = 4000 - 5000$ К. Уд. энергия излучения достигает 50—100 кДж/кг, показатель усиления 3—5 м $^{-1}$, полный кпд $\sim 2 - 3\%$.

Эффективность Г. л. повышается и в том случае, когда хотя бы часть запасённой энергии удаётся преобразовать в лазерное излучение с большим квантовым кпд. В случае CO_2 эта возможность связана с т. н. каскадной генерацией одновременно на двух переходах $00^0 - 10^0$ (02^0) и 10^0 (02^0)— 01^0 . Последняя имеет квантовый кпд 71,6%. Условия для возникновения двухчастотной генерации более жёсткие, чем в одночастотном режиме. Они легче достигаются в Г. л. «подмешиванием». По мере вывода каскадного излучения из резонатора внутрь, энергия системы падает и условие двухчастотной генерации перестаёт выполняться. Оставшаяся в среде колебат. энергия (верх. переход) трансформируется в лазерное излучение следующим, расположенным ниже по потоку резонатором, настроенным на переходы $00^0 - 10^0$ (02^0).

Г. л. на CO_2 работают также на др. колебат. переходах, напр. на переходах $03^0 - 10^0$, $03^0 - 02^0$ и $02^0 - 01^0$ ($\lambda = 18,4, 16,7$ и $16,2$ мкм). В этом случае необходимы замораживание как можно большей энергии в системе уровней деформационного и симметрич. колебат. молекулы и охлаждение газа до темп-р $\leq 70 - 100$ К. Наилучшие результаты получены для смесей CO_2 с Ar и Ne и сопловых аппаратов с большими степенями расширения. В качестве рабочего компонента в Г. л. расширяются и др. трёхатомные молекулы (N_2O , COS, CS_2).

Действие др. типа Г. л. основано на инверсии в системе колебат.-вращат. уровней в двухатомных гетероядерных молекулах (CO , HCl и др.). Инверсия возникает между вращат. подуровнями разл. возбужденных колебат. уровней. Если это возбуждение мало, то вращат. подуровни, между к-рыми имеется инверсия, соответствуют очень большим значениям вращат. квантового числа, а потому имеют малую населённость. Это, в свою очередь, определяет малый показатель усиления, недостаточный для возбуждения генерации. Генерация возбуждается, если т. н. колебат. темп-ра $T_{\text{кол}}$ и темп-ра газа T находятся в соотношении $T_{\text{кол}}/T \gg 1$. Наиб. высокое значение $T_{\text{кол}}$ расширяющегося газа может быть сохранено в системе слабо релаксирующих уровней, напр. в системе уровней молекулы CO ($\lambda = 5$ мкм). Необходимое охлаждение газа достигается в сопловых аппаратах с высокой степенью расширения.

Лит.: Конохов В. К., Прохоров А. М., Второе начало термодинамики и квантовые генераторы с тепловым возбуждением, «УФН», 1976, т. 119, с. 541; Лосев С. А., Газодинамические лазеры, М., 1977; Андерсон Д., Газодинамические лазеры: введение, пер. с англ., М., 1979; Бирюков В. А., Шеглов В. А., Газовые лазеры на каскадных переходах линейных трехатомных молекул, «Квантовая электроника», 1981, т. 8, с. 2371; Карлов Н. В., Лекции по квантовой электронике, М., 1983. А. С. Бирюков.