

КАСКАДНЫЙ ЭЛЕКТРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ CO_2 -ЛАЗЕР

А. С. Биряков, Н. А. Коноплев, В. А. Щеглов

УДК 621.375

Проведен анализ электроразрядного CO_2 -лазера на каскадных переходах со сверхзвуковой скоростью прокачки активной среды через резонатор.

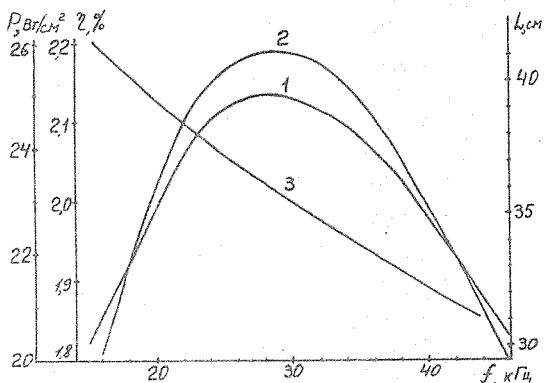
В работах /1,2/ были исследованы принципиальные особенности и детально проанализированы энергетические возможности каскадного дозвукового CO_2 -лазера с электроразрядным возбуждением, работающего в импульсно-периодическом (ИП) режиме (последнее обеспечивается модуляцией добротности резонатора). В отличие от традиционного варианта, в котором генерация осуществляется на стандартном переходе с $\lambda = 10,6$ мкм, каскадный механизм

соответствует одновременному излучению на двух переходах $00^{\circ}1-10^{\circ}0-01^{\circ}0$ ($\lambda = 10,6$ и $13,9$ мкм) либо $00^{\circ}1-02^{\circ}0-01^{\circ}0$ ($\lambda = 9,6$ и $16,2$ мкм).

Цель данной работы состоит в исследовании ИП электрогазодинамического CO_2 -лазера (ЭГДЛ) на каскадных переходах.

В расчетной модели предполагалось, что смесь $\text{N}_2 + \text{He}$ при начальной комнатной температуре, двигаясь в канале постоянного сечения, попадает в область несамостоятельного разряда с заданными плотностью тока и температурой электронов T_e^0 . Соответствующий выбор параметров разряда для конкретных рабочих смесей при фиксированной плотности дозвукового потока позволяет осуществлять селективное возбуждение колебательных состояний атома при достаточно малых изменениях температуры и давления в разрядном промежутке. Далее поток входит в сверхзвуковое сопло, в критическом сечении которого производится подмешивание небольшого ($< 5\%$) количества рабочего компонента CO_2 с температурой 300 К. За расширяющуюся часть сопла расположен резонатор с модулированной добротностью для вывода каскадного излучения. Подмешивание CO_2 считалось мгновенным. При этом в соответствии с законами сохранения меняются давление, температура, мольный состав смеси. Результирующая смесь имела состав $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:X_N:(20 - X_N)$. Как и в /2/, температура электронов на входе в разрядный промежуток принималась равной 1 эВ. Начальное давление (до разрядного промежутка) полагалось $p_0 = 0,2$ атм. Расчеты проводились для сопла, форма которого описывается логарифмической функцией $F(x) = 1 + a \ln(bx + 1)$ с параметрами $a = 10$, $b = 4,667 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$. Длина расширяющейся части составляла 5 см, что соответствует степени расширения $N \approx 3$. Плотность электронов считалась постоянной и равной 10^{11} см^{-3} . Длина разрядного промежутка вдоль потока определялась величиной энергии Q , вложенной в единицу объема газа, и скоростью его прокачки, которая полагалась равной 10 м/с. Расчеты энергетических параметров импульсно-периодического CO_2 -ЭГДЛ проводились на основе метода, разработанного в /2,3/. Там же содержится необходимая информация по кинетике соответствующих процессов.

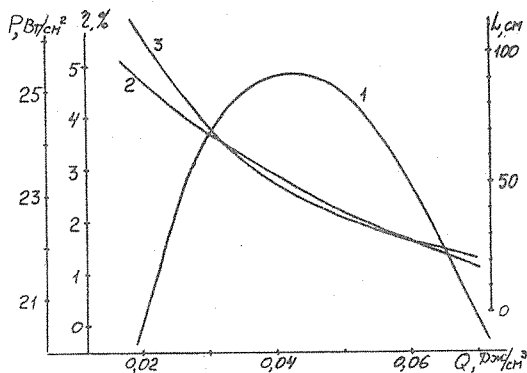
Некоторые результаты расчетов, относящиеся к длинноволновой составляющей каскадного излучения (переход $02^{\circ}0-01^{\circ}0$) представлены на рис. 1-3.



Р и с. 1. Зависимость приведенной мощности P (1), коэффициента полезного действия η (2) и длины резонатора L (3) для длинноволновой составляющей каскадного CO_2 -ЭГДЛ от частоты модуляции добротности. $X_N = 4$, $Q = 0,05$ Дж/см³

Рис. 1. иллюстрирует зависимость приведенной к единице площади поперечного сечения потока мощности P от частоты модуляции добротности. Здесь же представлены частотный ход к.п.д. лазера по данному переходу η и длины резонатора вдоль потока L . Видно, что как и в ГДЛ /3/, приведенная мощность и к.п.д. имеют оптимум по частоте, а L падает, имея характерные значения ~ 30 40 см. Зависимости приведенной мощности и к.п.д. на коротковолновом переходе CO^+1-O2^+0 имеют аналогичный вид с той разницей, что абсолютные значения величин в максимумах примерно в 5 раз выше соответствующих значений для длинноволнового перехода, а сами оптимумы сдвинуты в сторону больших частот. Физическое наличие оптимумов связано с тем, что при малых частотах значительная часть запасенной энергии релаксирует в тепло, а при больших в промежутке между импульсами система может не успевать входить в область существования каскадной инверсии (см. /1-2/).

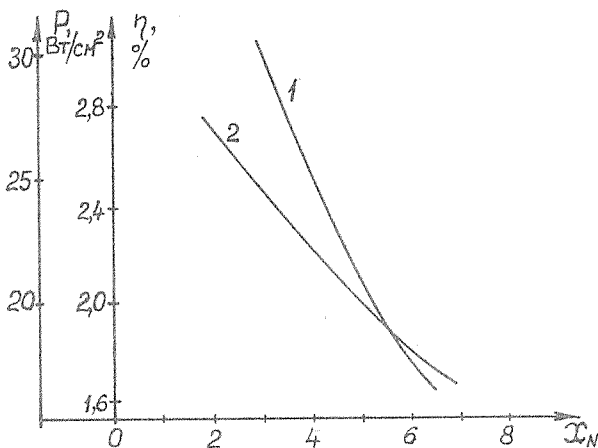
На рис. 2 представлены зависимости максимальной по частоте мощности P и соответствующих этим значениям мощности η и L от величины удельного энерговклада в смесь $N_2 + He$. Коэффициент полезного действия изображен ниспадающей зависимостью. На самом



Р и с. 2. Зависимость максимальной по частоте приведенной мощности (1) и соответствующих этим значениям мощности η (2) и I (3) от удельного энерговклада для условий рис. 1

же деле при некотором значении энерговклада η имеет оптимум, поскольку для малых Q при VV° -обмене CO_2 и N_2 необходимого для каскадной инверсии соотношения между колебательными температурами асимметрического и деформационного колебаний CO_2 не возникает. Падение P при больших энерговкладах связано с растущим энерговыделением в поступательные степени свободы газа в резонаторе. Расчеты показывают, что частоты модуляции добротности при которых достигаются максимальные значения P , с ростом энерговклада растут. Сильная зависимость удельных характеристик излучения с длиной волны $16,2 \text{ мкм}$ от температуры деформационных колебаний CO_2 ведет к тому, что снижение температуры в смеси $\text{N}_2 + \text{He}$ всего на $\sim 50 \text{ К}$ значительно повышает эти характеристики.

Несмотря на низкую для рассматриваемых условий плотность газа в резонаторе ЭГДЛ, и, как следствие, сравнительно низкие ($0,5\text{--}1,0 \text{ Вт/см}^3$) значения средней мощности на единицу объема среды, приведенная мощность P оказывается здесь выше, чем в дозвуковом разрядном лазере [2]. Это определяется как большей длиной, так и охлаждением газа при расширении в сопле.



Р и с. 3. Зависимость максимальной по частоте приведенной мощности (1) и соответствующего этим значениям мощности η (2) от относительного содержания азота в смеси X_N при условиях рис. 1

Рис. 3 иллюстрирует влияние химического состава активной среды на величину приведенной мощности и к.п.д. Ясно, что так же, как и в разрядном лазере с дозвуковой скоростью потока /2/, должны наблюдаться оптимумы P и η по X_N (на рисунке не изображены). Однако видно, что в лазерах с подмешиванием рабочего компонента эти оптимумы гораздо ярче выражены и сдвинуты в сторону меньших значений X_N .

Таким образом показано, что обладая высокими значениями к.п.д. по длинноволновому переходу каскадного излучения, характерными для газоразрядного лазера, и в то же время достоинствами газодинамического, каскадный CO_2 -ЭГДЛ со смешением потоков колебательно-возбужденного азота и холодного CO_2 является в настоящее время наиболее перспективным источником излучения с длиной волны 16,2 мкм. Отметим, что экспериментальная реализация таких лазерных систем представляется весьма актуальной и важной для ряда прикладных целей и, в первую очередь, для лазерохимии.

Поступила в редакцию
29 июня 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. С. Бирюков, В. А. Шеглов, Квантовая электроника, 8, 2371 (1981).
2. А. С. Бирюков и др., Квантовая электроника, 10, № 8, (1983); Препринт ФИАН № 148, 1982 г.
3. А. С. Бирюков, И. В. Караханова и др., Препринт ФИАН № 147, М., 1982 г.