

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ЗАМЕНЫ РАБОЧЕГО ГАЗА
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ CO_2 -ЛАЗЕРА С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ

*С. С. Воронцов, А. И. Иванченко,
Р. И. Солоухин, А. А. Шепеленко*

(Новосибирск)

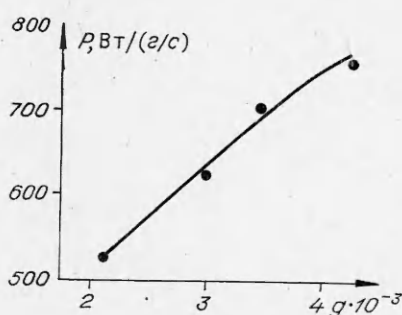
При разработке мощных CO_2 -лазеров непрерывного действия с самостоятельным тлеющим разрядом и конвективным охлаждением рабочей смеси главной проблемой является получение однородных тлеющих разрядов в больших объемах газов, движущихся с высокими скоростями: в таких разрядах появляются неустойчивости, приводящие к переходу в режим дугообразного горения в узком шнуре—контракции. В связи с тепловым ограничением (разрушения инверсии при перегреве рабочей среды) для увеличения выходной мощности CO_2 -лазеров необходимо пропорционально увеличивать расход рабочей смеси через зону разряда, что (в свою очередь) вызывает необходимость многократно использовать один и тот же газ. Это реализуется в лазерах с замкнутым циклом газового потока [1].

Работа с замкнутым циклом значительно усложняет получение объемного тлеющего разряда. Замечено, что в режиме замкнутого цикла неустойчивости в плазме тлеющего разряда проявляются при более низких давлениях и скоростях потока газа и при меньших уровнях удельного вклада энергии (электрическая мощность, вкладываемая в единицу массы потока газа Вт/(г/с)), чем при работе в открытом цикле, т. е. когда газ после однократного использования выбрасывается в атмосферу [1]. Это вызывается изменениями в химическом составе рабочего газа, обусловленными химическими реакциями в плазме газового разряда [1—3] и появлением примесей из элементов конструкций [1]. Возникает необходимость непрерывно восстанавливать состав рабочей смеси в рабочем контуре путем частичной откачки и напуска свежего газа. При этом очевидно, что чем больше скорость обмена газа, тем лучше восстанавливается исходный состав смеси. В настоящее время не только отсутствуют работы, в которых бы рассматривалось влияние скорости обновления газа на характеристики лазера, но и в большинстве публикаций сведения по выбору скорости замены рабочего газа даже не приводятся.

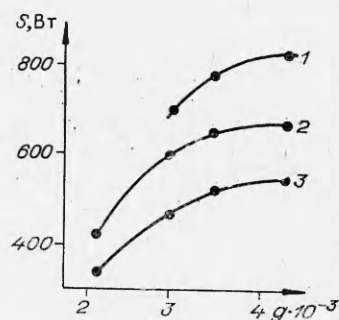
Данная работа посвящена изучению влияния скорости обновления газа на характеристики CO_2 -лазера замкнутого цикла. Эту скорость будем характеризовать отношением расхода газа, непрерывно удаляемого из лазера при постоянном притоке свежей смеси, к расходу рабочего газа $g = G_1/G$, непрерывно циркулирующего через зону электрического разряда. Исследуется прежде всего влияние скорости обновления на предельную величину удельного вклада энергии, который удается устойчиво реализовать без перехода разряда из тлеющего режима в дуговой, а также на величину выходной оптической мощности при постоянных уровнях

энерговклада. Эксперименты проводились на лазере, описанном в работе [4], при скорости потока газа 35 м/с, давлении 16 мм рт. ст. с составом напускаемого газа $p_{\text{CO}_2} : p_{\text{N}_2} : p_{\text{He}} = 1:3:4$, что соответствует расходу газа в рабочем сечении 30 г/с. В этом лазере разряд стабилизируется между двумя параллельными электродами (медные трубки) длиной 1 м и расстоянием между ними 8 см. Результаты представлены на фиг. 1, 2.

На фиг. 1 приведена зависимость предельного удельного энерговклада P от параметра g . Начиная от значений $g \leq 5 \cdot 10^{-3}$, с уменьшением расхода обмениваемого газа предельно допустимый вклад электрической энергии быстро падает (в 1,5 раза при уменьшении g в 2 раза — от 0,4 до 0,2%). На фиг. 2 показана зависимость выходной оптической мощности S от доли обмениваемого газа при различных энерговкладах (кривая 1 — 600, 2 — 500, 3 — 400 Вт/(г/с). С уменьшением расхода обмениваемого газа выходная мощность также резко падает. При достаточно больших скоро-



Ф и г. 1



Ф и г. 2

стях обмена кривые выходят на стационарное состояние, т. е. и для этой зависимости имеется «оптимальная скорость» обмена $\approx 0,5\%$. При малых скоростях обновления рабочего газа эксперименты усложнялись быстрым «загрязнением» электродных поверхностей, скорость которого росла с уменьшением доли обновления газа, что приводило к росту вероятности случайных переходов тлеющего разряда в дугу — при всех уровнях вкладываемой мощности, даже очень малых.

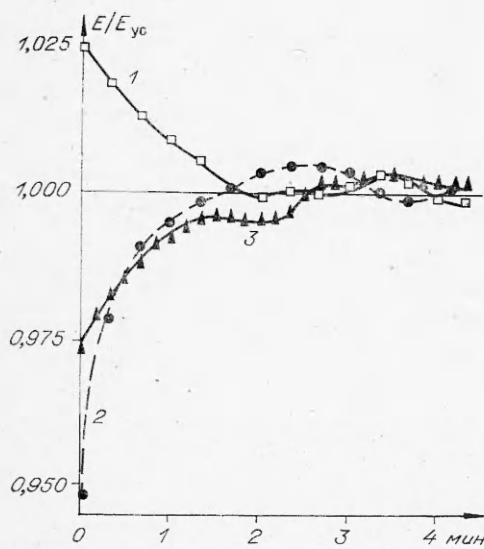
Причиной уменьшения предельно допустимого уровня энерговклада при уменьшении скорости обновления газа является, по-видимому, увеличение концентраций электроотрицательных примесей, которые влияют на кинетику рождения и гибели заряженных частиц в газовом разряде [2, 3]. Влияние скорости обмена на эффективность генерации обусловлено, вероятно, изменением концентрации CO_2 [1, 2] и изменением средней энергии и функции распределения электронов, определяющих скорость заселения лазерных уровней [5, 6]. Химический анализ газовой смеси методом поглощения показал, что при обмене 0,3% и энерговкладе 500 Вт/(г/с) устанавливается химический состав, в котором парциальная доля CO составляет около 3%, а концентрация CO_2 — лишь две трети от исходной концентрации при напуске.

Измерения напряженности электрического поля, проведенные методом двойного электрического зонда, показали, что при скачкообразных изменениях режима работы разряда (быстрые изменения величины тока) наблюдаются переходные изменения поля, которые носят экспоненциальный во времени характер.

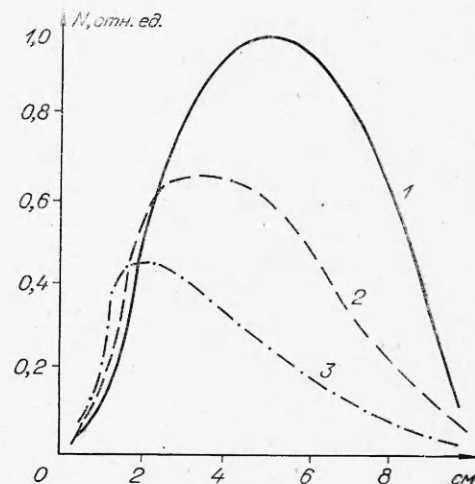
На фиг. 3 в зависимости от времени (характерное время смены рабочего газа 65 с) приведены данные об изменении напряженности электри-

ческого поля E , отнесенной к ее стационарному значению $E_{\text{ус}}$, устанавливаемому по окончании переходного процесса. Графики приведены для разряда при стационарном токе 1 А, скорости газа 35 м/с при давлении CO_2 в системе 2 мм рт. ст., кривая 1 — предшествующий ток 2, 2—0,5 А, 3—0. Интересно, что измерения характерных времен таких процессов привели к значениям, примерно совпадающим с характерным временем обновления газовой смеси в лазере, которое можно определить отношением полного объема газа в лазере V к объемной скорости откачки G , ($\tau = V/G_1$).

В связи с обнаруженным сильным влиянием скорости замены рабочего газа на величину мощности выходного пучка лазера важно устано-



Ф и г. 3



Ф и г. 4

вить характер изменения уровня инверсии в зоне разряда. Были проведены измерения поля спонтанного ИК-излучения CO_2 с верхнего лазерного уровня на длине волны $\lambda = 4,3$ мкм (фиг. 4) по методике, изложенной в [7]. Относительные измерения интенсивности сечения дают представление о пространственном распределении заселенности верхнего лазерного уровня. На фиг. 4 приведены три осциллограммы, снятые в одном поперечном сечении разряда на расстоянии 3 см от анода (1 — $g = 3,5 \cdot 10^{-3}$, 2 — $g = 3$, 3 — $g = 2,3$). В зависимости от расстояния до плоскости электродов вниз по потоку газа отложена относительная величина заселенности верхнего лазерного уровня. Разным осциллограммам соответствуют различные значения параметра g , выраженные в десятых долях процента. Видно, что с уменьшением скорости обмена величина максимума заселенности падает и сдвигается вверх по потоку. Характерный размер зоны релаксации во всех случаях остается постоянным, а область, где происходит электрическое возбуждение молекул, сужается и локализуется вблизи плоскости электродов. Такое поведение пространственного распределения заселенности верхнего лазерного уровня следует, по-видимому, объяснить сокращением характерной длины зоны разряда в направлении потока, что может быть связано с увеличением скорости гибели заряженных частиц за счет прилипания электронов к электроотрицательным примесям, концентрация которых увеличивается с уменьшением степени обмена газа.

Таким образом, приведенные выше результаты экспериментов наглядно показывают, что энергетические и оптические характеристики CO_2 -лазеров, имеющих замкнутый цикл, чувствительны к скорости обновления рабочего газа. Уменьшение скорости обновления, начиная с некоторого «порогового» значения, приводит к резкому падению предельной мощности, вкладываемой в разряд, а также к ухудшению оптических характеристик среды, что проявляется прежде всего в уменьшении КПД системы (при любом уровне вкладываемой электрической мощности). Это обстоятельство необходимо учитывать при определении основных рабочих характеристик конвективных лазеров с замкнутым циклом, причем «пороговое» значение g , по-видимому, будет сильно зависеть от конкретной конструкции системы прокачки и системы электродов, от размеров зоны разряда и т. п. В заключение отметим, что отсутствие данных по скорости обновления в публикациях различных авторов, посвященных исследованиям в режиме замкнутого цикла, приводит к определенным трудностям при анализе и сопоставлении результатов этих исследований.

Авторы выражают благодарность Г. М. Жарковой за проведение химических анализов.

Поступила 17 V 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. Eckbreth A. C., Bluszuk P. A. Closed-cycle CO_2 -laser discharge investigation. AIAA Paper, 1972, N 723.
2. Bletzinger P., Hughes M., Tanner P. D., Garscadden A. Species compositions in the CO_2 -discharge laser.— «IEEE J. Quantum Electronics», 1974, vol. QE-10, N 1, p. 6.
3. Bletzinger P., Laborde D. A., Bailey I., Long W. H., Tanner P. D., Garscadden A. Influence of contaminants on the CO_2 electric discharge laser.— «IEEE J. Quantum Electronics», 1975, vol. QE-11, N 7, p. 317.
4. Беломестнов П. И., Иванченко А. И., Солоухин Р. И., Якоби Ю. А. Использование протяженного тлеющего разряда в CO_2 -лазере замкнутого цикла с конвективным охлаждением.— ПМТФ, 1974, № 1, с. 4.
5. Smith N. S. Effects of contaminants in CO_2 -lasers. AIAA Paper, 1973, N 52, p. 1.
6. Nighan W. L., Wiegand W. J. Influence of negative-ion processes on steady-state properties and striations in molecular gas discharges.— «Phys. Rev.», 1974, vol. A10, N 3, p. 922.
7. Воронцов С. С., Иванченко А. И., Солоухин Р. И., Якоби Ю. А. Оптические методы диагностики активной среды газовых лазеров.— В кн.: Лазерные системы. Новосибирск, «Наука», 1976.

УДК 621.378.334

ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОРОТКИХ И ДЛИННЫХ ИМПУЛЬСОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В CO_2 -ЛАЗЕРАХ

В. Н. Тищенко

(Новосибирск)

В настоящее время значительное развитие получили CO_2 -лазеры, возбуждаемые электрическим разрядом. Достигнуты высокие значения КПД, удельной и абсолютной энергий излучения [1, 2]. Интенсивно развиваются теоретические методы исследования CO_2 -лазеров, позволяющие