

О РАБОТЕ ХИМИЧЕСКОГО СО-ЛАЗЕРА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ ГОРЕНИИ СМЕСИ $CS_2-N_2O-O_2$

В. А. Дудкин, В. Б. Либрович, В. Б. Рухин

(Москва)

Использование газового пламени в качестве активной среды для получения лазерного излучения представляет большой интерес в связи с разработкой лазеров, не нуждающихся во внешних источниках накачки. Однако для большинства горючих смесей мало известна детальная кинетика химического превращения. Внимание исследователей привлекает сероуглеродное пламя, для которого достаточно подробно известна химическая кинетика, известен элементарный химический акт, приводящий к созданию инверсной заселенности молекул СО, и использование которого не представляет значительных технических трудностей.

В работах [1, 2] были опубликованы первые результаты экспериментов с СО-лазером, использующим горение смеси CS_2-O_2 . В работах [3, 4] исследования проводились в импульсном режиме с фотоиницированием. В работах [2, 5, 6] показано, что добавление N_2O в качестве третьего компонента реакционной смеси улучшает свойства активной среды, поэтому в настоящих экспериментах активная среда лазера также создавалась при горении смеси $CS_2-N_2O-O_2$. Полученные экспериментальные данные касаются оптимальных условий работы такого лазера при различных составах и давлениях рабочей среды.

Эксперименты проводились на установке, описанной в работе [7]. Отличие заключалось в том, что реагенты смешивались не в реакционном объеме, а во внутренней полости горелки, из которой по многочисленным каналам (1900 каналов диаметром 1 мм) смесь подавалась в реакционный объем. Горелка такого типа описана в [5]. Горение инициировалось с помощью разряда, который затем выключался. Над поверхностью горелки для стабилизации пламени помещалась стальная сетка. Длина горелки составляла 20 см, что вдвое меньше соответствующих размеров горелок [5, 6]. На торцевых окнах камеры крепились зеркала, одно из которых радиусом $R=300$ см имело плотное золотое покрытие, у другого, через которое выводилось индуцированное излучение, на подложке из флюорита нанесено диэлектрическое покрытие. Пропускание этого зеркала в области 5–5,5 мкм составляло менее одного процента. Работы по оптимизации коэффициента отражения выходного зеркала не проводились. Действующий диаметр зеркал не превышал 30 мм. Смесь N_2O-O_2 готовилась предварительно в отдельном объеме. При работе данная смесь и CS_2 подавались по отдельным трубопроводам во внутреннюю полость горелки, и затем получившаяся смесь попадала в реакционный объем. Расходы реагентов менялись в пределах: $CS_2-0,5 \div 1,5$ ммоль/с, $N_2O-2 \div 5$ ммоль/с, $O_2-10 \div 20$ ммоль/с.

При нахождении областей существования генерации изменялся расход CS_2 при неизменной расходе смеси N_2O-O_2 . Полученные области изображены на рис. 1, где по оси абсцисс отложено давление среды в реакционном объеме, а по оси ординат — отношение молярных расходов окислителя и сероуглерода. На нижнем пределе давления размеры пламени сравнимы с поперечным размером камеры, а на верхнем пределе генерация нестабильна. Данные рис. 1 показывают, что с ростом давления в реакционном объеме для создания инверсии

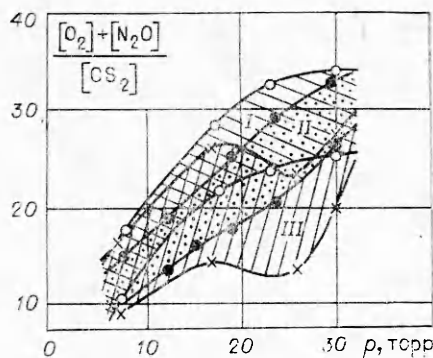


Рис. 1. Области существования непрерывной генерации СО-лазера при различном относительном содержании реагентов.
 I — $[\text{N}_2\text{O}] : [\text{O}_2] = 1 : 7$; II — $[\text{NO}_2] : [\text{O}_2] = 1 : 5$;
 III — $[\text{N}_2\text{O}] : [\text{O}_2] = 1 : 3$.

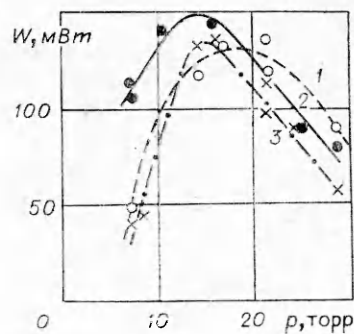


Рис. 2. Зависимость мощности генерации СО-лазера от давления рабочей среды.
 1 — $[\text{N}_2\text{O}] : [\text{O}_2] = 1 : 7$; 2 — $[\text{N}_2\text{O}] : [\text{O}_2] = 1 : 5$; 3 — $[\text{N}_2\text{O}] : [\text{O}_2] = 1 : 3$.

необходимо повышать относительное содержание окислителя. Это свидетельствует о том, что N_2O и O_2 слабо влияют на тушение генерации в исследуемой области. Уменьшение относительной концентрации N_2O вызывает необходимость добавочного увеличения относительного содержания окислителя в горючей смеси, что подтверждается данными работы [2], где показано, что при отсутствии N_2O верхний предел отношения расходов реагентов составляет $G_{\text{O}_2}/G_{\text{CS}_2} = 34 \pm 4$. В присутствии N_2O это отношение уменьшается до $15 \div 25$. Уменьшение относительного содержания окислителя при $p \sim 10$ торр связано с увеличением расхода CS_2 до величины более 1 ммоль/с.

Области существования генерации при заданной длине активной среды зависят и от свойств резонатора: при повышении его добротности можно ожидать некоторого расширения границ существования и сужения — при уменьшении добротности.

Полученные данные позволяют оценить оптимальные соотношения расходов реагентов при различных давлениях в рабочей камере. Например, при $p = 10$ торр получим расходы $\text{CS}_2 : \text{N}_2\text{O} : \text{O}_2 = 1 : 2,5 : 12,5$, а при $p = 20$ торр — $1 : 4 : 19$.

Зависимость мощности лазерного излучения от давления вещества в реакционном объеме приведена на рис. 2. При исследовании этой зависимости положение реакционной зоны относительно оси резонатора варьировалось вертикальным перемещением горелки для получения максимального сигнала. Максимальные мощности порядка 150 мВт получены при давлении в камере 15–20 торр. Вид зависимостей примерно одинаков для всех исследованных смесей. При отношении расходов $\text{O}_2 : \text{N}_2\text{O} > 10$ мощность генерации снижалась, а в отсутствие N_2O генерация не достигалась.

Таким образом, полученные экспериментальные данные позволяют найти оптимальные по составу и давлению режимы работы СО-лазера непрерывного действия на пламени сероуглерода. Оптимизация параметров выходного зеркала, совершенствование газодинамических условий и увеличение расходов реагентов, по-видимому, позволят улучшить энергетические характеристики лазерной системы.

Поступила в редакцию 11/VI 1976,
 после доработки — 19/VIII 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. H. S. Pilloff, S. K. Searles, N. Djeu. Appl. Phys. Lett., 1971, 19, 9.
2. S. K. Searles, N. Djeu. Chem. Phys. Lett., 1971, 12, 53.
3. Е. Б. Гордон, В. С. Павленко и др. ЖЭТФ, 1972, 63, 1159.
4. Е. Б. Гордон, Ю. Л. Москвин и др. Квантовая электроника, 1975, 2, 397.
5. M. J. Linevsky, R. A. Carabetta. Appl. Phys. Lett., 1973, 22, 238.
6. K. D. Foster, G. H. Kimbell, D. R. Snelling. IEEE J. Quant. El., 1975, QE-11, 6, 253.
7. В. А. Дудкин, В. Б. Либрович, В. Б. Рухин. ФГВ, 1975, 11, 6, 953.

УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРЕНИЯ ПОРОХОВОГО КАНАЛА

А. Д. Марголин, В. М. Волохов

(Москва)

В экспериментах по горению пористых зарядов показано, что горение проникает в поры заряда. Неустойчивости такого рода можно дать естественное объяснение, если вспомнить о неустойчивости симметричного горения порохового канала [1]. Действительно, в разветвленной системе пор и трещин горящего образца всегда найдутся поры, начинающиеся и оканчивающиеся на горячей поверхности, т. е. представляющие симметрично горящий с двух концов канал. Как экспериментально показано в [1], такое горение канала неустойчиво, процесс развивается несимметрично и горение проникает в канал.

В настоящей работе проведено исследование устойчивости симметричного горения канала по отношению к малым возмущениям.

Постановка задачи

Рассмотрим стационарный режим симметричного горения порохового канала длиной L и радиусом r . Горение проникло в канал с обоих концов на глубину l , достаточно малую, чтобы вытекающий из канала газ можно считать несжимаемым. Для этого величина l должна удовлетворять следующей оценке:

$$l/r \ll \sqrt{\mu\gamma/RT_r} \cdot p^{1-\nu} \cdot (\rho_n \cdot B)^{-1},$$

где μ — молекулярный вес газа; γ — показатель адиабаты; R — универсальная газовая постоянная; T_r — температура горячего газа; ρ_n — плотность пороха; ν и B — постоянные.

В диапазоне $Re \ll 1,5 \cdot 10^3$ трение в канале можно учитывать в форме закона Дарси [2]. В зонах горения канала I и III (см. рисунок) стационарные уравнения движения газа в поре имеют вид

$$v_{i0} \cdot dv_{i0}/dx = -1/\rho_r \cdot dp_{i0}/dx - 1/\rho_r \cdot \eta_r/k \cdot v_{i0}, \quad i=1, 3, \quad (1)$$

$$dv_{i0}/dx = 2 \cdot u/r \cdot \rho_n/\rho_r, \quad (2)$$

где v — скорость газа; η_r — вязкость горячего газа; k — газопроницаемость; u — скорость нормального горения пороха; индекс i — номер зоны, 0 — стационарное движение. В соотношении (2) справа находится член, описывающий выделение газа при горении стенок поры в единицу времени на единицу объема.

В зоне II в силу симметрии течения скорость газа равна нулю, а давление

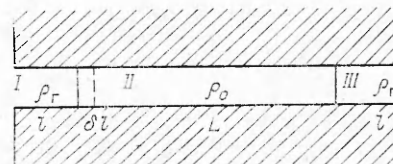


Рис. 1.