

ХАРАКТЕРИСТИКИ СО-ЛАЗЕРА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ГОРЕНИЕ СМЕСЕЙ СЕРОУГЛЕРОДА С ВОЗДУХОМ

В. А. Дудкин, В. Б. Рухин, Г. О. Еременко

(Москва)

В работе [1] показано, что СО-лазер на основе сероуглеродного пламени может генерировать излучение при замене кислорода, используемого в качестве окислителя, на осушенный атмосферный воздух. Ниже описаны результаты дальнейших экспериментов с лазером такого типа, проводимых с целью выяснения возможности улучшения его энергетических характеристик за счет увеличения длины активной среды до 300 см, оптимизации состава рабочей смеси и давления в резонаторе.

Эксперименты проводили на установке, описанной в [2]. Активная среда возникла в зоне химической реакции сероуглеродного пламени над горелками шириной 17 мм. Установка содержала три секции, в каждой длина горелки составляла 100 см. Оптический резонатор длиной 400 см состоял из двух зеркал (радиусы кривизны по 500 см) с многослойным диэлектрическим покрытием на подложках из флюорита. Коэффициенты пропускающих зеркал составляли 2,5 и 0,5%, так что излучение выводилось с двух сторон оптического резонатора. Мощность генерации измеряли двумя приемниками ИМО-2Н с ослабителями. В качестве окислителя использовали воздух, который подавали через редуктор от технологической магистрали высокого давления (100—150 атм) без какой-либо дополнительной очистки. Продукты сгорания откачивали из камеры двумя насосами ВН-6.

Максимальная мощность генерации на смеси CS_2 — воздух при расходах соответственно 1,6 и 44 ммоль/с составила 12 Вт при давлении рабочей среды в резонаторе $p \approx 16$ торр, удельный энергозъем на 1 г реакционной смеси ~ 8 Дж. Полученные величины значительно уступают энергетическим характеристикам, достигнутым на той же установке при использовании смеси CS_2 — N_2O — O_2 (120 Вт, 40 Дж/г) [2].

Полученное в настоящих экспериментах оптимальное значение $p \approx 16$ торр для пламени CS_2 — воздух примерно вдвое меньше, чем в работе [1], где использовался более короткий оптический резонатор. Это объясняется тем, что в [1] характерные поперечные размеры мод лазерного излучения, генерируемые в более коротком оптическом резонаторе (≈ 176 см), как это следует из теории оптических резонаторов [3], примерно в 1,5 раза меньше, чем в использованном в последних экспериментах четырехметровом резонаторе. Чтобы сохранить в длинном резонаторе примерно те же дифракционные потери, что и в коротком, нужно увеличить размеры активной среды. Такое увеличение достигается сжижением p .

Сходное уменьшение оптимального давления рабочей среды при увеличении длины оптического резонатора наблюдалось ранее для смеси CS_2 — N_2O — O_2 [2]. Таким образом, для лазера на свободном горении сероуглерода оптимальное давление активной среды является величиной, зависящей не только от состава рабочей смеси, но и от параметров оптического резонатора.

Во многих работах (см., например, [1—3]) отмечалось, что добавка закиси азота повышает мощность генерации сероуглеродного лазера, поэтому проведены более детальные исследования влияния добавки N_2O на излучение лазера с использованием смеси CS_2 — воздух. В первых экспериментах использовалась одна секция с горелкой длиной 100 см. Результаты представлены на рис. 1, 1, где по оси абсцисс отложена мощность генерации, а по оси ординат — мольное содержание N_2O в смеси с воздухом. Видно, что оптимальный состав окислителя соответствует содержанию 5% N_2O . Последующие эксперименты, проведенные при большей (до 300 см) длине активной среды, показали, что измене-

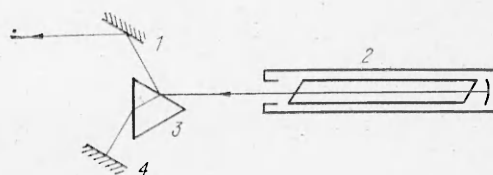
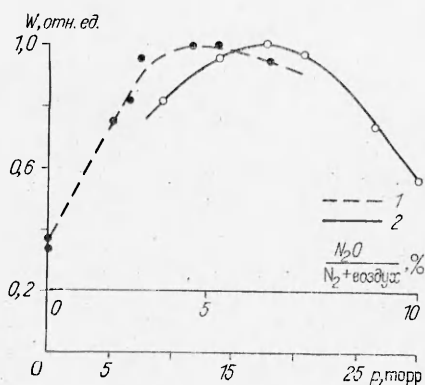


Рис. 2. Схема лазера с селективным резонатором.

1 — выходное зеркало; 2 — электроразрядный СО-лазер; 3 — призма; 4 — зеркало оптического резонатора.

Рис. 1. Зависимость мощности лазерного излучения от содержания закиси азота в рабочей смеси (1) и от давления среды (2).

ние длины активной среды и параметров оптического резонатора практически не влияют на ход зависимости, показанной на рис. 1.

Полученное оптимальное относительное мольное содержание N_2O в рабочей среде лазера на основе пламени $CS_2 - N_2O - \text{воздух}$ примерно в 3 раза меньше, чем в лазере, использующем смесь $CS_2 - N_2O - O_2$ [4]. Положительное влияние N_2O на активную среду сероуглеродного СО-лазера обусловлено увеличением неравновесности колебательного распределения молекул СО на нижних колебательных уровнях [3]. Тот факт, что для улучшения свойств активной среды в пламенах $CS_2 - \text{воздух}$ требуется значительно меньше N_2O , чем для смеси $CS_2 - O_2$, может быть объяснен влиянием на колебательное распределение СО соударений с молекулами азота, содержащимися в пламени $CS_2 - \text{воздух}$ в большом количестве. Сходные закономерности при соударениях $CO - N_2$ наблюдались экспериментально [5].

Исследована зависимость мощности генерации лазера на пламени $CS_2 - N_2O - \text{воздух}$ от давления рабочей среды. Результаты представлены на рис. 1, 2. Максимум достигался при $p = 15 \div 20$ торр, как и в экспериментах со смесью $CS_2 - \text{воздух}$ в отсутствие закиси азота. Максимальная мощность генерации на пламени $CS_2 - N_2O - \text{воздух}$ составила 33 Вт и получена при расходах реагентов: CS_2 , N_2O и воздух соответственно 1,5, 2 и 39 ммоль/с (давление в резонаторе 16 торр). Удельный энергоотъем в этих условиях составил ~ 25 Дж/г, что уступает примерно вдвое максимальному энергоотъему, полученному на той же установке при работе со смесью $CS_2 - N_2O - O_2$. При этом, однако, следует учесть, что из общего расхода реагентов, равного 1,32 г/с, в случае состава $CS_2 - N_2O - \text{воздух}$ около 80% приходится на атмосферный воздух.

В ходе экспериментов получены спектры генерации СО-лазера с использованием горения смесей сероуглерода с воздухом при длине активной среды 200 см и оценены величины коэффициента усиления на отдельных колебательно-вращательных переходах. Спектры генерации получены по ранее описанной методике [5] и отличались от ранее зарегистрированных спектров. Основное отличие заключается в том, что с увеличением длины активной среды в спектре появились более коротковолновые колебательные переходы $v = 6 \rightarrow v = 5$ и $v = 5 \rightarrow v = 4$. Наблюдавшиеся переходы приведены ниже (значения J относятся к нижнему уровню).

$v \rightarrow v - 1$	12-11	11-10	10-9	9-8	8-7	7-6	6-5	5-4
J	17,18	18,19	19,19-23	18-20	18-20, 22	18-21	19, 21, 22	20-22

Для определения коэффициента усиления использовали просвечивание активной среды зондирующим лазером с селективным резонатором, выделяющим исследуемый колебательно-вращательный переход. Селекция спектральной области генерации осуществлялась с помощью призмы из BaF_2 с преломляющим углом 69° , помещенной внутри оптического резонатора СО-лазера, созданного на базе прибора промышленного

производства ИЛГП-704. Выходное зеркало лазера убрали, а для вывода излучения использовали приставку (рис. 2).

Мощность выводимого излучения обычно не превышала 0,5 мВт. Спектральный состав выводящего излучения контролировали монохроматором *SPM-2*, в котором диспергирующим элементом являлась реплика дифракционной решетки 100 штр/мм, работавшая во втором порядке. На выходе монохроматора излучение регистрировали приемником БСГ-2. Эксперименты показали, что при высокой добротности резонатора в спектре наблюдаются 2—4 колебательно-вращательных перехода в спектральном интервале 10—15 см⁻¹. Диафрагмированием луча лазера и дополнительной подъюстировкой призмы и зеркала 4 излучение удавалось селективировать с выделением одной из исследуемых линий генерации. Стабильность излучения была высокой, так что отклонения от средней величины сигнала не превышали 2—3%.

Применимость электроразрядного лазера для диагностики сероуглеродного пламени как лазероактивной среды ограничивается различием полос усиления для этих сред. Для сравнения полос приведен полученный нами спектр генерации электроразрядного СО-лазера с селективным резонатором:

$\nu \rightarrow \nu - 1$	14—13	13—12	12—11	11—10	10—9	9—8	8—7
J	15,16	16—18	16—18	16—18	15,17	16—18	17,18

Схема экспериментальной установки по измерению коэффициента усиления практически идентична схеме с опорным сигналом [6]. Использовалось двукратное прохождение зондирующего луча через среду длиной 200 см. Для компенсации расходимости луча применялось сферическое зеркало, отражавшее луч после однократного прохода через пламя. Для учета возможного смещения луча вследствие градиента показателя преломления в пламени делались контрольные измерения с дополнительной юстировкой луча по максимуму сигнала. Усредненные по колебательным переходам результаты измерений приведены ниже.

$\nu \rightarrow \nu - 1$	14—13	13—12	12—11	11—10	10—9	9—8
$\alpha \cdot 10^3, \text{см}^{-1}$	-0,4	-0,15	0,10	0,40	0,48	0,58

Полученные значения α существенно ниже ($2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$) усредненного коэффициента усиления для пламени $\text{CS}_2 - \text{N}_2\text{O} - \text{O}_2$ [6]. Возможно, это связано с тем, что измерения проводили на коротковолновом краю полосы усиления химического СО-лазера, так что колебательно-вращательные переходы с $J = 19 \div 21$ могут иметь больший коэффициент усиления.

Поступила в редакцию 23/1 1985

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Дудкин, В. Б. Рухин. Письма ЖТФ, 1978, 4, 1220.
2. В. А. Дудкин, В. Б. Рухин. Квантовая электроника, 1984, 11, 1883.
3. Химические лазеры/Под ред. Р. Гросса, Дж. Ботта. М.: Мир, 1980.
4. В. А. Дудкин, В. Б. Либрович, В. Б. Рухин.— В кн.: Химическая физика процессов горения и взрыва. Кинетика химических реакций. Черноголовка, 1977.
5. К. D. Foster, G. H. Kimbell. J. Chem. Phys., 1970, 53, 2539.
6. В. А. Дудкин, А. Ю. Кедров, В. Б. Рухин и др. ФГВ, 1981, 17, 1, 99.