

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРА $O_2(^1\Delta)$ НА РАБОТУ ИМПУЛЬСНОГО ХИМИЧЕСКОГО КИСЛОРОДНО-ЙОДНОГО ЛАЗЕРА

Н.Ф. Балан, Р.М. Гизатуллин, М.В. Загидуллин, В.А. Катулин, А.Ю. Куров,
В.Д. Николаев, А.Л. Петров, В.М. Пичкасов, М.И. Свистун

Предложена методика расчета параметров барботажного генератора синглетного кислорода (ГСК). На ее основе разработан ГСК, использование которого в импульсном химическом кислородно-йодном лазере позволило достигнуть удельного энергосъема $\cong 3$ Дж/л при оптимальном давлении кислорода $\cong 5$ торр. Донором атомарного йода в этих экспериментах служил CH_3I .

В химических кислородно-йодных лазерах (ХКЛ) для получения синглетного кислорода $O_2(^1\Delta)$ используют реакцию хлорирования щелочного раствора перекиси водорода /1/. Наиболее часто в конструкциях ХКЛ источником $O_2(^1\Delta)$ служит химический реактор барботажного типа /2—4/. Основное требование к генератору синглетного кислорода (ГСК) состоит в том, чтобы хлор в нем наиболее полно вступал в реакцию, а доля $O_2(^1\Delta)$ существенно превышала 15% от полного содержания кислорода. Присутствие хлора в газовой смеси на выходе ГСК не должно приводить к существенному уменьшению доли извлекаемой из синглетного кислорода энергии. Эти требования должны быть положены в основу при разработке любых типов ГСК.

Покажем, к чему приводит необходимость выполнения этих условий для барботажного ГСК. Основные особенности работы барботажного генератора могут быть рассмотрены в рамках простой модели пузырькового режима барботажа хлора. Пусть на выходе барботажного ГСК необходимо получить кислород при давлении P с достаточно высокой долей синглетного кислорода. Тогда время движения газовой фазы через раствор должно удовлетворять неравенству $\tau \leq 1/P$ (где τ измеряется в секундах, а P в торр), если считать, что $O_2(^1\Delta)$ дезактивируется в основном в процессе реакции $O_2(^1\Delta) + O_2(^1\Delta) \rightarrow O_2(^1\Sigma) + O_2(^3\Sigma)$ с константой скорости $2 \cdot 10^{-17}$ см³/с. С другой стороны, радиус пузырька газа R_0 должен быть достаточно малым, чтобы за время τ была достигнута необходимая степень участия хлора в реакции, удовлетворяющая неравенству $R_0 < C(D\tau)^{1/2}$, где D (см²/с) $\cong 70/P$ (торр) — коэффициент диффузии хлора. Константа C зависит от необходимой степени участия хлора в реакции и от характера укрупнения пузырьков в процессе их всплытия. Она может различаться для непрерывных и импульсных ХКЛ. Таким образом, одновременное выполнение двух основных условий в барботажных ГСК приводит к ограничению размеров барботируемых пузырьков

$$R_0 < 8C/P. \quad (1)$$

В режиме барботирования цепочки пузырьков их радиус отрыва R_0 и объемный расход газа через отдельное отверстие барботера q связаны соотношением /5/

$$q \cong Ag^{1/2}R_0^{5/2}, \quad (2)$$

или, с учетом (1),

$$q < Ag^{1/2}(8C/P)^{5/2}, \quad (3)$$

где $A \cong 20$ — константа, g — ускорение свободного падения (см/с²). При объемном расходе газа над раствором ГСК, равном Q , необходимое для выполнения условия (1) число отверстий в барботере должно удовлетворять требованию

$$N = QP/q(P + \rho gh), \quad (4)$$

где ρ — плотность раствора, h — высота слоя раствора. Видно, что если необходимо повысить давление кислорода в два раза, число отверстий должно быть увеличено более чем в 5 раз.

Для достаточно высокого содержания синглетного кислорода высота раствора над барботером должна удовлетворять условию $h \cong ut < u/P$, где u — скорость всплытия пузырьков. Известно /5/, что скорость всплытия пузырька слабо зависит от его диаметра d и в диапазоне $d = 0,05 - 1$ см составляет величину 20–40 см/с.

Барботаж пузырьков необходимого радиуса R_0 будет устойчивым, если расход газа q через отдельное отверстие барботера ограничен в соответствии с (3) и не претерпевает значительных колебаний. Для этого необходимо, чтобы перепад давлений на барботере ΔP значительно превышал возможные флуктуации давления в растущих пузырьках, т.е. $\Delta P \gg \rho gh + 2\sigma/r$, где σ — коэффициент поверхностного натяжения раствора и r — радиус отверстий барботера. На практике это достигается соответствующим увеличением газодинамического сопротивления отдельного канала барботера за счет увеличения толщины барботажной пластины и уменьшения диаметра отверстий в ней.

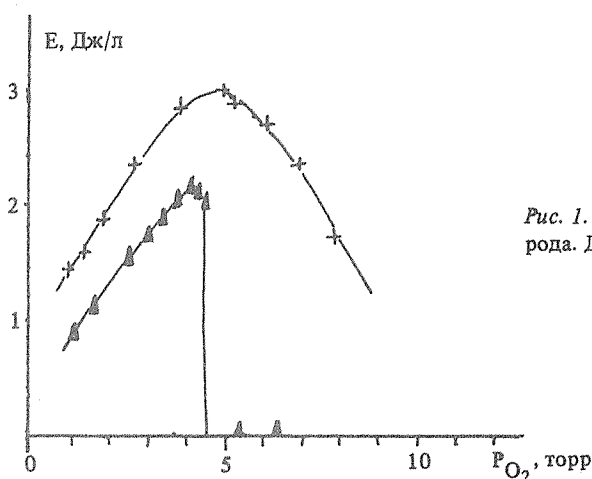


Рис. 1. Зависимость удельного энергозатрата от давления кислорода. Диаметр барботера 150 мм (+), 100 мм (Δ).

Очевидно, что расстояние между отдельными отверстиями барботера l должно удовлетворять неравенству $l > 2R_0$, что позволяет избежать слияния пузырьков на стадии их образования. Отметим, что при наиболее плотном размещении отверстий площадь барботера S удовлетворяет соотношению

$$S > N\pi R_0^2 > QP\pi/AR_0^{1/2} g^{1/2} (P + \rho gh). \quad (5)$$

Реализация этих простых принципов позволила создать импульсный ХКЛ с барботажным генератором синглетного кислорода, действующий в диапазоне давлений кислорода до 10 торр /4/. Барботажная пластина представляла собой тефлоновый диск диаметром 100 и толщиной 15 мм с 750 отверстиями диаметром 0,3 мм. Высота слоя раствора была ~ 5 см, а давление под барботером более 60 торр. Концентрация синглетного кислорода возрастала во всем диапазоне рабочих давлений вплоть до 10 торр, а удельная запасенная в $O_2(^1\Delta)$ энергия достигала величины $\cong 10$ Дж/л. На рис. 1 приведена зависимость удельного энергозатрата от давления кислорода при использовании CH_3I в качестве донора атомарного йода. Максимальный энергозатрат получен при давлении кислорода $\cong 4,2$ торр и составлял величину 2,2 Дж/л. При $P > 4,6$ торр генерация не наблюдалась. В /4/ сделано предположение, что срыв генерации обусловлен ухудшением выработки хлора в ГСК при больших давлениях. При подмешивании CH_3I это приводило к темновой наработке молекул ICl и I_2 , которые являются эффективными тушителями $O_2(^1\Delta)$ и $I(^2P_{1/2})$. Возможно, срыв генерации обусловлен также тепловым релаксационным взрывом, когда при некоторой концентрации Cl_2 наработка тушителя $O_2(^1\Delta)$ увеличивает температуру газовой смеси и скорость наработки самих тушителей в такой степени, что теплоотвод на стенки трубки не успевает стабилизировать этот процесс.

С целью улучшения выработки хлора в следующем варианте ГСК диаметр барботажной пластины был увеличен до 150 мм, а число отверстий до 2000. В этом случае генерация при подмешивании CH_3I наблюдалась во всем диапазоне давлений вплоть до 10 торр (рис. 1). Максимальный удельный энергосъем 3 Дж/л достигался при $P \approx 5$ торр. Доля извлекаемой из синглетного кислорода энергии при этом превышала 35%. Причина неполного энергосъема, по-видимому, та же — темновая наработка ICl и I_2 в присутствии хлора. Поэтому дальнейшее увеличение удельного энергосъема и доли извлекаемой из синглетного кислорода энергии возможно как за счет улучшения выработки хлора, так и сокращения времени темновой наработки тушителей. Последнее можно достигнуть, реализовав конструкцию импульсного ХКЛ с поперечной прокачкой активной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Held A. M., Halko D. J., Hurst J. K. J. Amer. Chem. Soc., **100**, 5732 (1978).
2. Venard D. J. et al. Appl. Phys. Lett., **34**, 40 (1979).
3. Басов Н. Г. и др. Квантовая электроника, **11**, 1893 (1894).
4. Балан Н. Ф. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 4, 40 (1988).
5. Кутателадзе С. С., Накоряков В. Е. Теплообмен и волны в газожидкостных системах. Новосибирск, Наука, 1984.

Поступила в редакцию 5 декабря 1988 г.