

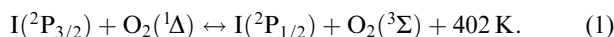
Эжекторный кислородно-иодный лазер с центробежным барботажным генератором синглетного кислорода

М.В.Загидуллин, В.Д.Николаев, М.И.Свистун, Н.А.Хватов

Показано, что если сверхзвуковой эжекторный кислородно-иодный лазер запитывать синглетным кислородом от центробежного барботажного генератора, работающего при центробежном ускорении $\sim 400g$, то при расходе щелочного раствора перекиси водорода $208 \text{ см}^3/\text{с}$ и удельной нагрузке по хлору 1.34 ммоль/с на 1 см^2 барботажного слоя выходная мощность лазера достигает 1264 Вт при химической эффективности 24.6% .

Ключевые слова: синглетный кислород, кислородно-иодный лазер.

Источником энергии в проточном кислородно-иодном лазере (КИЛ) является синглетный кислород $\text{O}_2(^1\Delta)$. Первичный поток газа, содержащего $\text{O}_2(^1\Delta)$, образуется в генераторе синглетного кислорода (ГСК), работающем на основе реакции хлора с щелочным раствором перекиси водорода. При подмешивании молекул иода в первичный поток газа происходит их диссоциация на атомы в цепочке реакций, детальный механизм которых до сих пор окончательно не выяснен. Усиление в активной среде КИЛа возникает на переходе тонкой структуры атома иода в результате передачи энергии в реакции



Первый ГСК для КИЛа был создан на основе барботажного массообменного аппарата [1], в котором хлор в виде пузырьков пропускается через слой щелочного раствора перекиси водорода. Молекулы $\text{O}_2(^1\Delta)$ образуются в тонком приповерхностном слое раствора в результате реакции $\text{Cl}_2 + 2\text{HO}_2^- \rightarrow 2\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2(^1\Delta)$ и поступают внутрь пузырьков. По мере подъема пузырька хлор утилизируется и пузырек заполняется кислородом. В условиях земного притяжения оптимальная удельная нагрузка m_c барботажных ГСК составляет 0.1 ммоль/с хлора на 1 см^2 барботажного слоя при давлении кислорода над слоем раствора несколько Тор . [2]. Дальнейшее увеличение m_c и давления сопровождается ухудшением утилизации хлора, падением доли $\text{O}_2(^1\Delta)$ или сильным выносом аэрозоля раствора [2]. Из-за низкого давления кислорода барботажные ГСК не нашли широкого применения для накачки сверхзвуковых КИЛов.

Значительно большее распространение для этой цели получил противоточный, или поперечный струйно-капельный ГСК [3, 4]. Однако известно, что удельная производительность барботажных массообменных аппаратов существенно возрастает, когда барботажный слой находится в поле сильных центробежных ускорений ($G \sim$

$10^3 - 10^4 \text{ м/с}^2$) [5]. При этом следует ожидать существенного уменьшения диаметра генерируемых пузырьков, значительного увеличения скорости их всплытия, интенсификации массопереноса, уменьшения выноса аэрозоля раствора [6]. Эти обстоятельства особенно благоприятствуют созданию высокоэффективных и высокопроизводительных ГСК. В настоящей работе продемонстрирована потенциальная возможность использования центробежных барботажных ГСК (ЦБГСК) для питания энергией сверхзвукового КИЛа с сопловым блоком эжекторного типа.

Принципиальная схема КИЛа с эжекторным сопловым блоком и ЦБГСК представлена на рис.1. ЦБГСК состоит из ротора 1, представляющего собой перфорированный цилиндр с внутренним диаметром 93 мм , который помещен в корпус 2. Вращение ротора осуществлялось с помощью электродвигателя. Щелочной раствор перекиси водорода подавался на внутреннюю поверхность ротора через канал 3. Раствор сливался через сис-

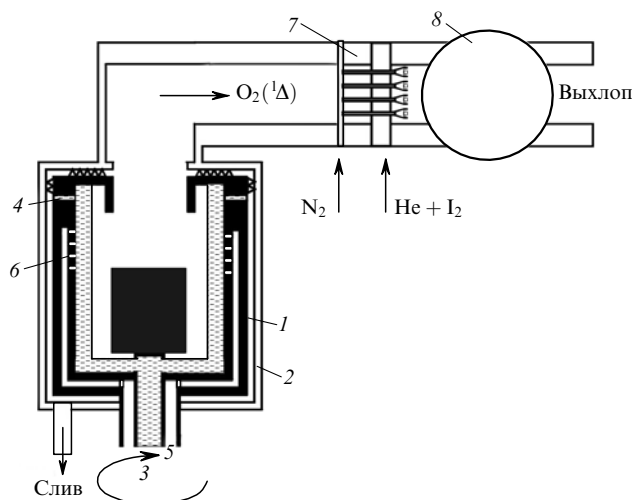


Рис.1. Принципиальная схема эжекторного КИЛа с центробежным барботажным генератором синглетного кислорода:
1 – ротор; 2 – корпус; 3 – канал ввода раствора; 4 – отверстия отвода раствора; 5 – канал ввода газа; 6 – сопла подачи газа; 7 – сопловый блок; 8 – оптический резонатор.

М.В.Загидуллин, В.Д.Николаев, М.И.Свистун, Н.А.Хватов. Самарский филиал Физического института им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 443011 Самара, ул. Новосадовая 221; e-mail: marsel@fian.smr.ru

Поступила в редакцию 30 июня 2005 г.

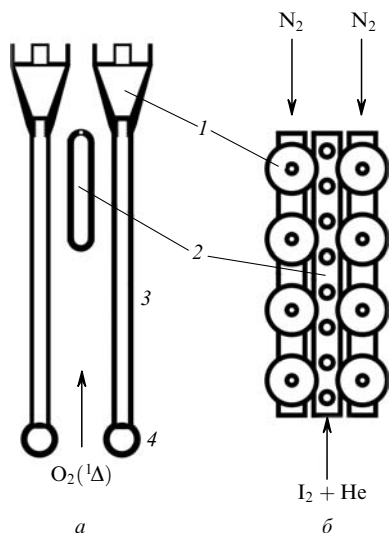


Рис.2. Вид сверху (а) и со стороны камеры смешения (б) сегмента соплового блока:

1 – конические сопла для эжектирующего газа; 2 – сопла для гелия с молекулярным иодом; 3 – соединительные трубки; 4 – коллектор.

тему отверстий 4 и откачивался в приемный бак. Смесь хлора с гелием подавалась в канал 5 и через сопла 6 в боковой стенке ротора барботировалась сквозь слой раствора. Площадь поверхности, занятая газовыми соплами, составляла 42 см². Образующийся при барботаже поток синглетного кислорода в смеси с гелием поступал к эжекторному сопловому блоку 7 через газопроточный канал прямоугольного сечения; объем канала был равен 100 см³. В экспериментах использовался сопловый блок, конструкция которого детально описана в работе [7].

Сегмент соплового блока представлен на рис.2. Высоконапорный азотный поток формировался 52 коническими соплами (13 рядов по 4 сопла в каждом). Расстояние между осями сопел равнялось 4 мм. Начальный диаметр конического сопла составлял 0.55 мм, выходной диаметр – 2.6. мм. Длина расширяющейся части сопла была равна 3.3 мм. Поток гелия с молекулярным иодом подмешивался к потоку газа через отверстия, сделанные в 12 прямоугольных трубках, расположенных между коническими соплами. Срез конических сопел находился на 5 мм ниже по потоку от иодного инжектора. Газовый поток из ЦБГСК вытекал через зазоры между соплами для иодсодержащего и эжектирующего газов. Формирующийся сопловым блоком сверхзвуковой поток втекал в камеру смешения, продолжением которой являлась активная зона резонатора (высота 20 мм, длина 52 мм) вдоль оптической оси. Оптический резонатор длиной 113 см был образован зеркалами с радиусами кривизны 2 м и коэффициентами пропускания $T_1 \approx T_2 \approx 1.5\%$. Оптическая ось резонатора располагалась на расстоянии 48 мм от среза конических сопел.

Мощность выходящего через оба зеркала излучения лазера регистрировалась измерителями мощности Ophir-300 (с ослабителем) и Ophir-1500. Из камеры смешения газ поступал в газопроточную трубу диаметром 90 мм и откачивался в емкость объемом 15 м³, предварительно откачанную до давления менее 1 Тор. Расход хлора рассчитывался исходя из значений его конечного

и начального давлений в 80-литровой замкнутой емкости с газообразным хлором, из которой он подавался в ЦБГСК, и времени между началом и окончанием работы лазера.

Ниже приведены рабочие параметры, при которых осуществлялась генерация химического КИЛа. Эффективность утилизации хлора в ЦБГСК составляла примерно 95 %. Никаких следов выносимого газом аэрозоля из ЦБГСК визуально не наблюдалось.

| | |
|--|------|
| Частота вращения ротора (с ⁻¹) | 46 |
| Расход щелочного раствора перекиси водорода (см ³ /с) | 208 |
| Концентрация (моль/л) | |
| КОН | 6.5 |
| H ₂ O ₂ | 7.5 |
| Начальная температура раствора (°C) | -20 |
| Расход хлора через ЦБГСК (ммоль/с) | 56.5 |
| Расход гелия через ЦБГСК (ммоль/с) | 90 |
| Расход эжектирующего азота (ммоль/с) | 250 |
| Расход гелия через иодные сопла (ммоль/с) | 60 |
| Расход молекулярного иода (ммоль/с) | 1 |
| Высота слоя раствора на поверхности ротора (мм) | ~8 |
| Давление перед соплами барботера (Тор) | 538 |
| Давление перед сопловым блоком (Тор) | 26 |
| Пристеночное статическое давление | |
| в резонаторе (Тор) | 8.9. |

При частоте вращения ротора 46 с⁻¹ слой раствора находился под действием центробежного ускорения $3.88 \times 10^3 \text{ м/с}^2 \approx 396g$ и создавал на поверхности барботера давление ~300 Тор. Выходная мощность в течение 7 с работы лазера практически не изменялась (небольшое ее снижение было обусловлено падением давления хлора в емкости) и составляла на выходе зеркал 623 и 641 Вт. Суммарная мощность (1264 Вт) соответствовала химической эффективности лазера 24.6 %. Отношение расхода хлора и выходной мощности к расходу раствора составило соответственно 0.27 моль/л и 6.1 кВт·л⁻¹·с⁻¹. Удельная нагрузка ЦБГСК по расходу хлора на 1 см² рабочей поверхности барботера была равна 1.34 ммоль/с. Таким образом, ЦБГСК является эффективным источником синглетного кислорода высокого давления с высокой степенью утилизации хлора и низким содержанием аэрозоля раствора и может использоваться для накачки сверхзвуковых КИЛов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Европейского офиса аэрокосмических исследований и разработок (проект № 017041) и административной поддержке Международного научно-технического центра (грант № 2230P).

- McDermott W.E., Pchelkin N.R., Benard D.J., Bousek R.R. *Appl. Phys. Lett.*, **32**, 496 (1978).
- Azyazov V.N., Vagin N.P., Kuprianov N.L., Yuryshv N.N. *J. Sov. Laser Research*, **14**, 114 (1993).
- Загидуллин М.В., Николаев В.Д., Свистун М.И., Хватов Н.А., Уфимцев Н.И. *Квантовая электроника*, **24**, 201 (1997).
- McDermott W.E., Stephens J.C., Vetrovec J., Dickerson R.A. *AIAA Paper 97-2385* (1997).
- Сафонов А.И., Крылов В.С. *Журнал прикладной химии*, **50**, 2288 (1977).
- Сафонов А.И., Крылов В.С. *Теоретические основы химической технологии*, **6**, 51 (1972).