

文章编号: 1001—4322(2001)03—0257—04

方列管型射流式 $O_2(^1\Delta)$ 发生器的 CO L 出光研究

刘万发, 韩新民, 赵 彤, 桑凤亭

(中国科学院 大连化学物理研究所, 大连 116023)

摘 要: 方列管型射流式 $O_2(^1\Delta)$ 发生器是一种新型高效的氧碘化学激光器(CO L)化学能源供给装置。描述了采用该发生器在 CO L 上所做的一系列出光实验, 这些实验着重于考察该发生器的性能参数及相应的 CO L 化学效率。结果在 C_{I_2} 流量为 0.25mol/s 、无冷阱、稳定腔条件下获得化学效率高达 26%。

关键词: 氧碘化学激光(CO L); $O_2(^1\Delta)$ 发生器(SOG); 射流式(jet-type); 方列管型(square pipe-array)

中图分类号: TN 248.5

文献标识码: A

近年来, 用于氧碘化学激光(CO L)上的射流式 $O_2(^1\Delta)$ 发生器(JSOG)在国际上有长足的发展^[1-3]。JSOG 具有效率高、体积小、不用分离器和冷阱等优点。我们通过大量的研究, 发现传统的孔板式 JSOG 存在许多缺陷: 由于反应是在射流表面进行, 所以碱性过氧化氢(BHP)溶液的利用效率不高; 由于在反应区内要形成较光滑的射流, 对射流板的加工工艺要求较为苛刻, 并要有足够大的液体驱动压力; 如果采用挤压式, 就需要很大的液体流量; 如果采用泵循环方式, 对泵的要求将十分苛刻, 且泵的电机功率会特别大。另外, 如果要提高氯的利用率, 就需要增大射流板的比表面积, 这会对 JSOG 的稳定性产生较大的影响; 如果增大反应区的长度以提高氯的利用率, 射流将会雾化, 光腔的损耗将增大, 这对光束质量和功率都很不利。因此我们试图寻找一种既保留传统 JSOG 的优点又对工艺要求不苛刻、且 BHP 液体利用效率高的发生器。

方列管型射流式 $O_2(^1\Delta)$ 发生器(SPJSOG)是继圆列管型射流式 $O_2(^1\Delta)$ 发生器(PJSOG)^[4]之后, 我们又研制出的一种新型射流式发生器。与 PJSOG 相比, SPJSOG 加工与组装精度更容易得到保证, 其射流的均匀性、平行度、光滑度更高, BHP 进液结构更简单, 放大性能更好; 更关键的是可以提高射流的比表面积, 缩短反应区的长度, 提高单重态氧的产率。我们通过调节碘量及其穿透系数, 从实验中获得的最高化学效率为 26%。方列管型射流式 $O_2(^1\Delta)$ 发生器属我国首创, 在国际上未见报导, 具有较大的创新性。这一发生器尚有很大潜力, 我们仍在继续对其进行优化。

1 $O_2(^1\Delta)$ 发生器的原理

我们对 SPJSOG 做了比较深入的理论研究, 并通过实验验证了其可靠性^[5]。 $O_2(^1\Delta)$ 发生器中 C_{I_2} 的利用率、 $O_2(^1\Delta)$ 产率可以表示为

$$\eta = 1 - c_{I_2} \quad (1)$$

$$c_{I_2} = \frac{A}{n} \exp(-a^2 \alpha^2 l) \cos(\omega r) \quad (2)$$

$$\beta_n \tan(\beta_n) = k_q d / m_H D_g \quad (3)$$

其中, η 为 C_{I_2} 的利用率; c_{I_2} 为 C_{I_2} 的气相浓度(出口平均值), 且是归一化的; $A = \frac{2}{d} \int_0^d \cos(\omega r) dr$ 为归一化常数; k_q 为射流柱内的液相传质系数; m_H 为 Henry 常数; d 为相界面到相邻射流柱之间气相中心的等

收稿日期: 2001-04-02; 修订日期: 2001-04-17

基金项目: 国家 863 激光技术领域资助课题(863-410-4-1)

作者简介: 刘万发(1962-), 男, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为化学激光; 大连 110 信箱 7 室, E-mail: wfliu@dicp.ac.cn

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

效距离; β_n 为本征方程的解

$$\omega = \beta_n/d \quad (4)$$

$$a^2 = D_g/v_g \quad (5)$$

D_g 为气相扩散系数; v_g 为气体流速。

发生器出口的 $O_2(^1\Delta)$ 产率 Y 可写为

$$Y = \frac{1}{1 + \frac{k_4}{k_1^{(0)}} \frac{\eta}{1 - \eta} + \eta k_p P_{Cl_2} \frac{d}{k_g}} \quad (6)$$

其中, $k_1 = 3.07 \times 10^6 \text{ cm}^3/(\text{mole} \cdot \text{s})$; $k_4 = 5.5 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$; $c_{HO_2}^{(0)}$ 为 HO_2^{\cdot} 的初始浓度; k_p 为脱活速率; k_g 为气相传质系数。(相关参数值参见文献[6, 7, 8])。

2 实验装置

方列管型射流式 $O_2(^1\Delta)$ 发生器(SPJSOG)的外部结构与圆列管型射流式 $O_2(^1\Delta)$ 发生器(PJSOG)基本相同(参见文献[4])。但内部的方管阵列与圆管阵列相比,可具有更多的射流孔,从而有更大的射流比表面积;加工组装精度更高,从而可获得更加规整的射流。该实验装置如图1所示。其中每根方管截面外径 $19\text{mm} \times 19\text{mm}$ 、壁厚 1mm ,底面有5排直径 0.8mm 的射流孔。

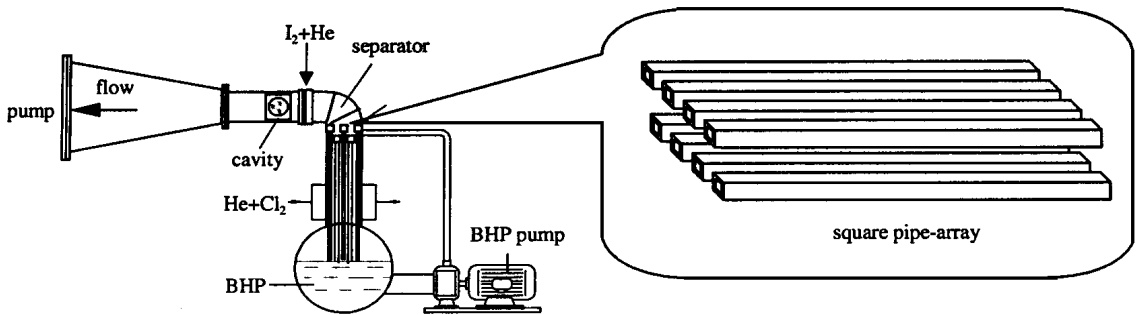


Fig. 1 The experimental setup of CO L with SPJSOG

图1 方列管型射流式 $O_2(^1\Delta)$ 发生器的 CO L 出光实验装置

3 实验结果

在一系列实验中,我们通过逐步调节 SPJSOG 的实验参数,改变进碘方式,调节输出镜的耦合率等,使 CO L 的化学效率得以提高。实验参数为:

Cl_2 流量 0.25mol/s ;	He 流量 1.125mol/s ;	SPJSOG 体积 2.5L ;
SPJSOG 总压 5.33kPa ;	射流比表面积 4cm^{-1} ;	BHP 配液温度 256K ;
BHP 流速 10m/s ;	气体流速 $20 \sim 40\text{m/s}$;	液相传质系数 12.3cm/s ;
HO_2^{\cdot} 浓度 6.7mol/L ;	Cl_2 利用率 $85\% \sim 91\%$;	$O_2(^1\Delta)$ 产率 $50\% \sim 57\%$ (相对)。

为深入细致地研究 CO L 各环节的参数及其规律,我们建起了一套实用的测试装置,在 CO L 出光实验过程中实时检测多种重要的参数波形,其中包括 SPJSOG 的 Cl_2 利用率、 $O_2(^1\Delta)$ 产率、出口 H_2O 蒸汽含量以及激光功率等随时间的变化(关于 CO L 参数测试请参见文献[8, 9, 10])。实验数据采集系统记录的典型实验数据结果如图2~图7。(注:图2中 Cl_2 的利用率曲线后段饱和,分析为 CO L 出光时黄色碘荧光对探测器干扰所致, $O_2(^1\Delta)$ 产率曲线为相对值,未做精确标定;图4中 H_2O 的饱和蒸汽压曲线也未做精确标定。)

实验中测得最高激光输出功率 5.894kW , 化学效率 26% 。从实验结果可看到激光功率波形在一段

时间之后有些下降, 分析是由于一些单元器件还不够稳定造成的。对于这种新型发生器, 我们在 CO L 上所做的出光实验次数还不多, 还有许多待完善之处。但目前的实验化学效率均在 24% ~ 26%。

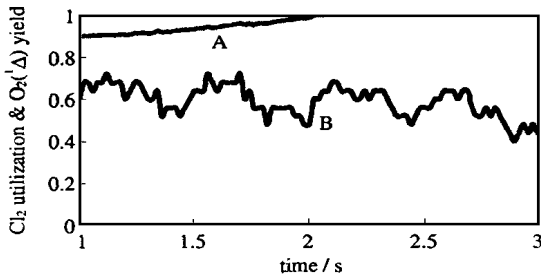


Fig. 2 The variation of Cl_2 utilization (A) and $O_2(^1\Delta)$ yield (B)
图 2 Cl_2 利用率(A)及 $O_2(^1\Delta)$ 产率(B) 随时间的变化

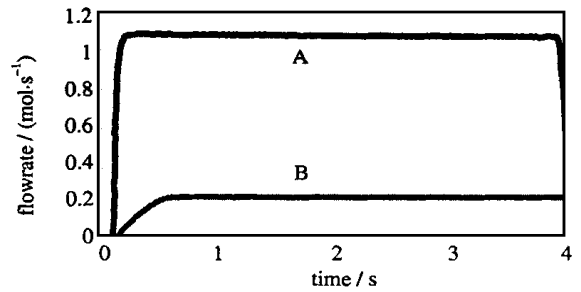


Fig. 3 The variation of He flow rate (A) and Cl_2 flow rate (B)
图 3 He 流率(A)及 Cl_2 流率(B) 随时间的变化

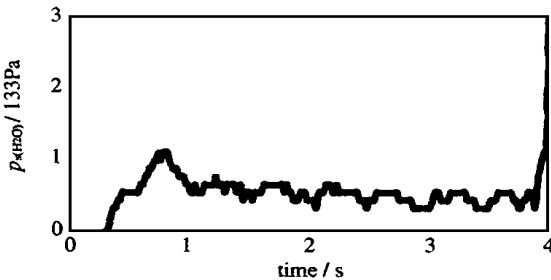


Fig. 4 The variation of the partial pressure of H_2O (saturation vapor) at the exit of the SPJSOG
图 4 SPJSOG 出口水的饱和蒸汽压随时间的变化

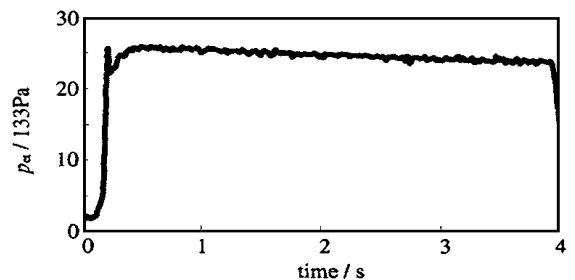


Fig. 5 The variation of the total pressure at the exit of the SPJSOG
图 5 SPJSOG 出口总压随时间的变化

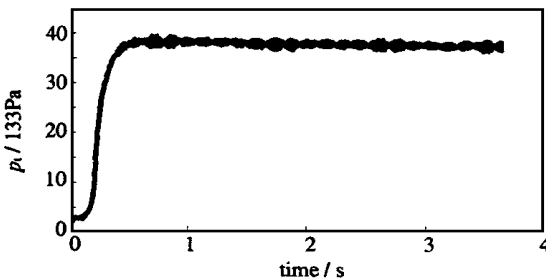


Fig. 6 The variation of the total pressure inside the SPJSOG
图 6 SPJSOG 内部总压随时间的变化

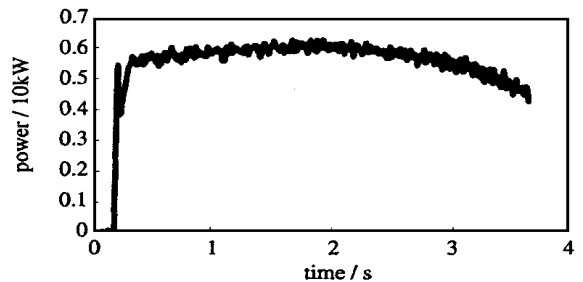


Fig. 7 The variation of the laser power
图 7 CO L 激光功率随时间的变化

4 结 论

在我们目前的实验条件下, 采用方列管型射流式 $O_2(^1\Delta)$ 发生器 (SPJSOG), 已经使 CO L 的化学效率达到 26%。从该发生器的设计加工到激光器的出光实验过程表明, SPJSOG 有不少可贵的优点: 加工容易, 组装精度容易保证; BHP 利用率高, 发生器稳定性好。我们对这一极具创新性的高效发生器充满信心, 相信通过对该发生器的进一步优化, 采用更匹配的超音速喷管, 增加出光区长度, 将可进一步提高 CO L 的化学效率。

致 谢 感谢陈方、徐文刚、王科、徐增和、丛志强、王成栋先生为实验所做的大量工作和建议; 感谢大连化物所 704 组全体人员和仪器厂工人师傅们的热情支持; 感谢庄琦老师的关心和指导。

参考文献:



- [1] McDermott W E Singlet delta oxygen generator performance overview [A]. AIAA-92-3005 23th Plasmadynamics and Lasers Conference[C]. Nashville, TN, USA, July 6-8, 1992
- [2] Zagidullin M V, Kurov A Yu, Kupriyanov N L, et al High efficient jet $O_2(^1\Delta)$ generator[J]. *Sov J Quant Elect*, 1991, **21**(7): 747-753
- [3] McDermott W E, Stephens J C, Vetrovec J, et al Operating experience with a high throughput jet generator[A]. AIAA-97-2385 28th Plasmadynamics and Lasers Conference[C]. Atlanta, GA, USA, June 23-25, 1997.
- [4] Liu W, Chen F, Han X, et al Experimental investigation on CO L with pipe-array jet-type $O_2(^1\Delta)$ generator[A]. *Proc of SPIE*, **4184**: 128-131. 13th International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers and High-Power Laser Conference[C]. Florence, Italy: 2000
- [5] 刘万发, 桑凤亭, 等 射流式单重态氧发生器理论[J]. *量子电子学*, 1999, **24**(9): 298-301.
[Liu W F, Sang F T, et al The theory of jet-type singlet oxygen generator: *Chinese Quantum Electronics*, 1999, **24**(9): 298-301](in Chinese)
- [6] Yang T T, Copeland D A, Bauer A H, et al Chemical oxygen-iodine laser performance modeling[A]. AIAA-97-2384 28th Plasmadynamics and Lasers Conference[C]. Atlanta, GA, USA, June 23-25, 1997.
- [7] 拉姆 B M, 刘凤志, 等 气体吸收[M]. 北京: 化学工业出版社, 1985.
[PAMM B M. Gas absorption (Chinese version translated from Russian edition by Liu F, et al) [M]. Beijing: Chemical Engineering Press, 1985](in Chinese)
- [8] 庄琦, 桑凤亭, 周大正 短波长化学激光[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.
[Zhuang Q, Sang F T, Zhou D Z Short wavelength chemical lasers[M]. Beijing: Defense Industry Press, 1997](in Chinese)
- [9] Yang B. Latest advances in CO L at Dalian[A]. *Proc of SPIE*, **3574**: 281-289. 12th International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers and High-Power Laser Conference[C]. St. Petersburg, Russia, August 31-September 5, 1998
- [10] Duo L, Cui T, Wang Z, et al Measurement of absolute $O_2(^1\Delta)$ concentration in singlet oxygen generator by using the piston source method [A]. *Proc of SPIE*, **3931**: 92-98. Gas, Chemical, and Electrical Lasers and Intense Beam Control and Applications[C]. San Jose, CA, USA, January 24-25, 2000

Experimental investigation on CO L with a square pipe-array jet-type $O_2(^1\Delta)$ generator

L IU Wan-fa, HAN Xin-min, ZHAO Tong, SANG Feng-ting

(Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 110-7, Dalian 116023, China)

Abstract Square pipe-array jet-type singlet oxygen generator (SPJSOG), which is invented by the authors, is a new efficient chemical energy provider for a chemical oxygen iodine laser (CO L). This paper describes a series of laser output experiments performed on a CO L equipped with an SPJSOG. The experimental investigation emphasized on the parameters and performance of the SPJSOG, and the corresponding chemical efficiency of CO L. Benefits of the SPJSOG were shown in the processes of manufacturing, assembly and integrated tests. With regular jets and high utilization of BHP (basic hydrogen peroxide) solution, the SPJSOG generated a CO L with chemical efficiency of 26%, which had a Cl_2 flow rate of 0.25 mol/s, a stable resonator, and no cold-trap.

Key words: chemical oxygen iodine laser (CO L); $O_2(^1\Delta)$ generator (SOG); jet-type; square pipe-array