

超音速氧碘化学激光实验研究

桑凤亭 陈 方 杨柏岭 孙以珠
金玉奇 逢景科 顾成洲 王 麟 庄 琦

(中国科学院大连化物所, 大连110信箱, 116023)

摘 要 在一台5kW 超音速氧碘化学激光器装置上采用转网式单重态氧发生器, 在 C_{12} 流量为150mmol/s 时输出功率已超过1kW, 提出了简化预混的超音速氧碘化学激光理论模型。

关键词 超音速 氧碘化学激光

ABSTRACT A 5kW supersonic chemical oxygen-iodine laser (COIL) has been constructed. A rotating mesh type singlet-delta oxygen generator (SOG) is used that appears to be simpler, lighter in weight and more efficient than the rotating disk SOG. An output power of 1kW from this supersonic COIL has been achieved by using the rotating mesh SOG at a C_{12} flow rate of 150mmol/s. Theoretical modeling of supersonic COIL based on a simplified premixed model is given.

KEY WORDS Supersonic, chemical oxygen-iodine laser

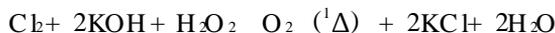
0 引 言

1978年M. Demott 首先演示成功连续波超音速氧碘化学激光器(COIL)^[1], 接着在一些国家获得进一步发展^[2~6]。不过对于连续波超音速COIL 研究的报导较少, 在超音速COIL 研究中其关键技术是如何获得高分压同时高浓度的单重态氧 $O_2(^1\Delta)$, 文献中报导过两种单态氧发生器(SOG), 即转盘式^[7]和喷射式^[8]。本文提出了一种新型的转网式SOG, 它兼有前述转盘式及喷射式SOG的优点, 不仅结构简单和重量轻, 而且能产生较高分压和浓度的单重态氧而水蒸汽含量又低, 在我们连续波超音速COIL 实验中采用了电加热式碘蒸汽发生器和简单的二维喷管和稳定谐振腔, 在 C_{12} 流量为150mmol/s 时输出功率超过1kW。

1 实 验

1.1 转网式 SOG

单重态氧 $O_2(^1\Delta)$ 是通过 C_{12} 气和碱性过氧化氢(BHP) 溶液按以下反应式发生的:



在SOG中, C_{12} 通过扩散进入液相与BHP反应, 反应产生的单重态氧再扩散离开气液界面返回气流中。

在设计高效的SOG时必须考虑并解决以下几个问题:

(1) 单重态氧BHP液体中的寿命约 $5\mu s$, 所以设计SOG时必须特别注意单重态氧在液相中的快速猝灭过程。

1995年7月13日收到原稿, 1996年1月29日收到修改稿。

(2) 气体反应物向液相的扩散过程和产物离开气液相界面的扩散过程都较慢, 所以高效的 SOG 必须具有足够大的 BHP 反应表面。

(3) 单重态氧在气相中的猝灭也较快, 其主要猝灭通道是通过下列过程:



其中 $\text{O}_2 (^1\Sigma)$ 是 O_2 的更高的电子激发态; $\text{O}_2 (^3\Sigma)$ 是 O_2 的基态。该过程的速率常数 $k = 2.7 \times 10^{-17} (\text{cm}^3/\text{mol}\cdot\text{s})$ 。

对于上述双分子过程可以求得

$$P^* \tau = \text{常数}$$

其中 P^* 为单重氧 $\text{O}_2 (^1\Delta)$ 的分压, τ 是 $\text{O}_2 (^1\Delta)$ 在气相中停留的时间。即意味着如要获得高的 $\text{O}_2 (^1\Delta)$ 分压 P^* , 则 $\text{O}_2 (^1\Delta)$ 在气相中停留时间必须极短, 也即在 SOG 中产生的 $\text{O}_2 (^1\Delta)$ 必须尽可能快地进入喷管与 I 混合。

(4) 在谐振腔中, 水蒸汽对激发态碘原子的猝灭极快。



其速率常数 $k = 2 \times 10^{-12} (\text{cm}^3/\text{mol}\cdot\text{s})$ 。

上述过程的严重性在于放出的大量热将形成热堵塞, 使腔压明显升高甚至使激光停止。所以在设计 SOG 时必须使 BHP 能保持在低温, 在保证 BHP 不凝固的条件下使 $\text{O}_2 (^1\Delta)$ 气流中含水蒸汽最少。

我们设计使用的转网式 SOG 兼有湿壁式和喷射式 SOG 的优点, 旋转的多层网转过 BHP 液池在网上形成湿壁式反应表面, 而循环的 BHP 液体喷射下来与多层网碰撞后形成细 BHP 液滴, 增加了大量的 BHP 与 Cl_2 反应的表面, 所以转网式 SOG 的结构可以提供大的反应表面, 同时使 $\text{O}_2 (^1\Delta)$ 停留时间很短。

转网式 SOG 的结构非常简单, 它由一个不锈钢壳体 and 螺旋式安装的不锈钢网以及一台 BHP 循环泵组成, 壳全的直径为 450mm、长 500mm, 是一个横卧的圆筒, 内装可沿圆周方向旋转的不锈钢网, 网依螺旋式卷成多层 (一般为六层), 每层之间约为 25mm, 网丝直径为 0.5mm, 网目为 20 目。图 1 为转网式 SOG 示意图, 转网 SOG 的最佳转速为

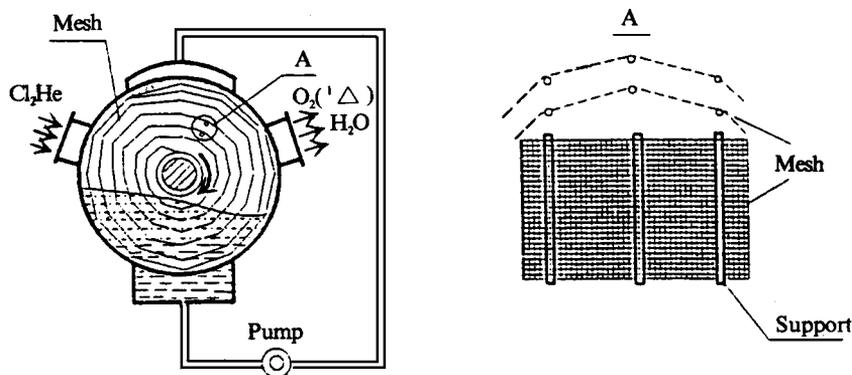


Fig 1 Rotating mesh SOG

图 1 转网式单重态氧发生器

40~60rpm。BHP 组成为35% H_2O_2 和35% KOH 溶液,按1:1比例,总体积为30L。BHP 保持在-10 以下使水蒸汽压力最低,在 SOG 运转时保持BHP 不断循环。

在 SOG 之后装有一冷阱以减少气流中水蒸汽的含量,从 Cl_2 气进口处到 $\text{O}_2(^1\Delta)$ 浓度测试窗口处的孔空间约55L。用电致冷锗探测器记录 $1.27\mu\text{m}$ 信号强度来测量 $\text{O}_2(^1\Delta)$ 的相对浓度,用红外辐射量热法测定 $\text{O}_2(^1\Delta)$ 的绝对浓度, $\text{O}_2(^1\Delta)$ 气流中水蒸汽含量用光谱法测量并对文献中的方法作了改进,这里列出转网式 SOG 的实验结果,并与转盘式 SOG 的结果作了对比。

	转网式 SOG ($\Phi 450\text{mm}$)	转盘式 SOG ($\Phi 350\text{mm}$)
Cl_2 流量/ $\text{mmol} \cdot \text{s}^{-1}$	480	600
O_2 分压/133Pa	10.6	8
$\text{O}_2(^1\Delta)$ 浓度/%	40	45
$\text{O}_2(^1\Delta)$ 分压/133Pa	4.2	3.6
H_2O 分压/133Pa	0.8	0.5
Cl_2 利用率/%	90	96

1.2 连续波超音速 CO L 实验

我们建立了一套5kW 连续波超音速 CO L 装置,图2是该装置的示意图。

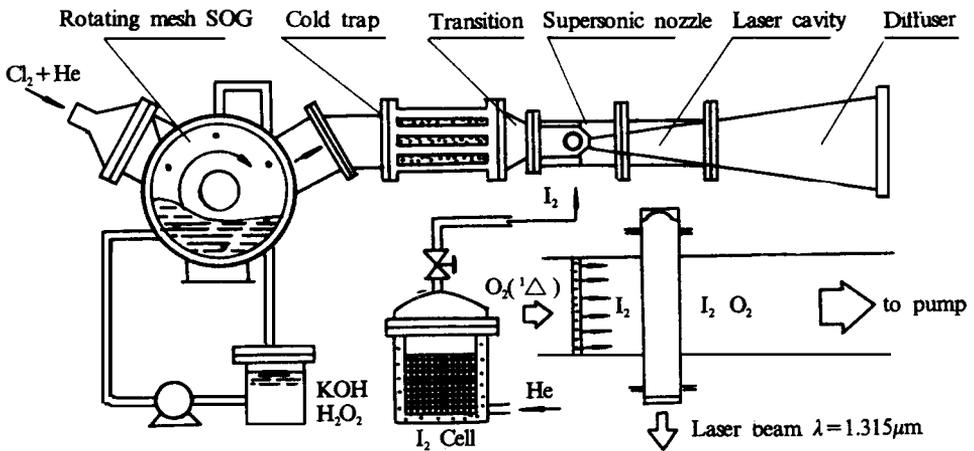


Fig. 2 Schematic of a 5kW CW supersonic CO L setup

图2 5kW 超音速 CO L 装置示意图

采用前述转网式 SOG 获得了流量大、分压高的 $\text{O}_2(^1\Delta)$ 经冷阱除水蒸汽后进入 $\text{O}_2(^1\Delta)$ 与 I_2 混合的二维超音速喷管如图3所示, I_2 蒸汽流由一个电加热碘蒸发器产生,在喷管的亚音速区与通过一根开有一系列细孔的碘喷管喷出的碘蒸汽混合,然后通过截面为 $1\text{cm} \times 50\text{cm}$ 的喉道后形成超音速 $\text{O}_2(^1\Delta)$ 与 I_2 的混合气流进入谐振腔,目前使用的是稳定谐振腔,稳定腔由两块直径为70mm 的石英镜组成,其中一块为透过率约5% 的平面输出镜,另一块为反射率大于99.5% 的球面全反镜,两镜间的距离为1m。

在 Cl_2 流量为 150mmol/s 时,输出功率可超过1kW,图4是超音速 CO L 实验的典

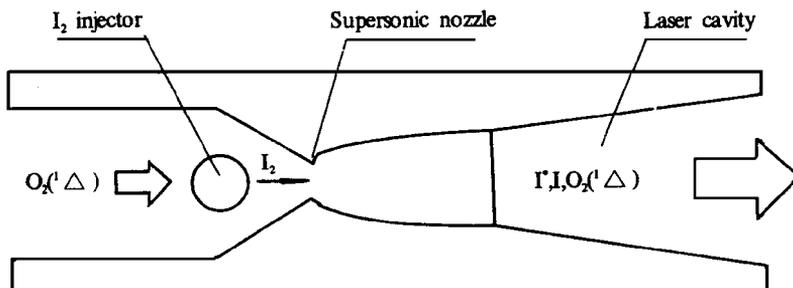


Fig. 3 Supersonic O₂-I₂ mixing nozzle

图3 超音速O₂-I₂混合喷管

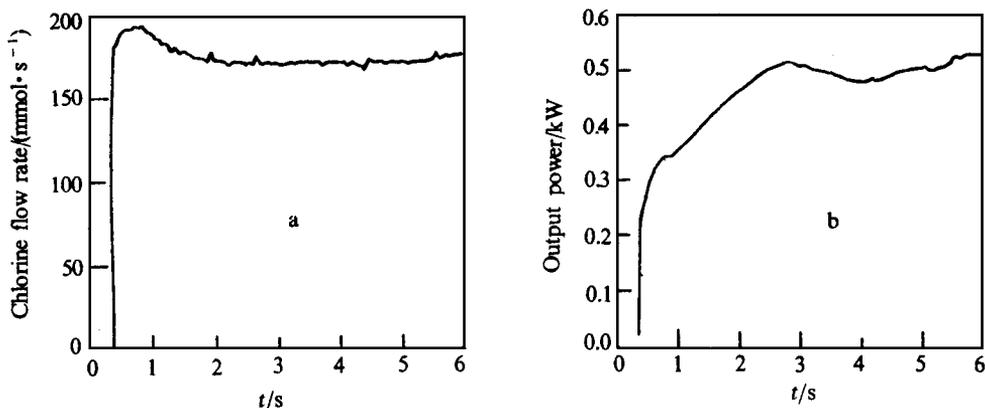


Fig. 4 (a) Chlorine flow rate and (b) output power

图4 (a) 氯流量及 (b) 输出功率

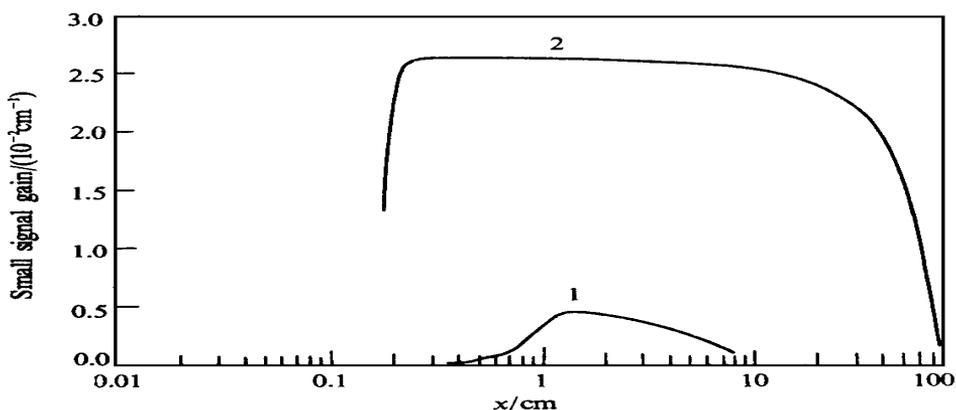


Fig. 5 Small signal gain. 1. O₂(¹Δ) · O₂ · I₂ · H₂O · Cl₂ · He = 45 · 45 · 2 · 10 · 10 · 400, v = 50m/s;

2. O₂(¹Δ) · O₂ · I₂ · H₂O · Cl₂ · He = 45 · 45 · 2 · 10 · 10 · 400, A_e/A_t = 2, p_c/P_e = 12.9, M_a = 2.32, v = 850m/s

图5 小信号增益的理论计算值

型数据。

还进行了超音速 CO L 预混一维模型计算, 由模型算得超音速 CO L 的小信号增益系数在 $1 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$ 量级, 并与亚音速 CO L 的小信号增益系数作了比较, 见图5。小信号增益系数的数值很重要, 因为只有当它达到一定值时才有可能采用非稳定谐振腔。

致 谢: 该项目由陈方领导的课题组完成。

参考文献

- 1 McDermott WE, Pchelkin NR, Benards DJ, Bousek RR. An electronic Transition Chemical Laser *Appl Phys Lett*, 1978, **32**: 469
- 2 Bachar J and Rosenwaks S *Appl Phys Lett*, 1982, **41**: 16
- 3 Yoshida S, Fujii H, Sawano T, Endo M, Fujioka T. *Appl Phys Lett*, 1987, **51**: 1490
- 4 Pigache D, Georges E and Louret Y. 9th International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers *SPIE*, 1992, **1810**: 528
- 5 Sang F, Gu E, Li F *et al* CLEO 93
- 6 Kryukov PG 25th AIAA Plasmadynamics and Lasers Conference, AIAA-94-2420, June 1994
- 7 Harpole GM, English WD, Berg JG and Miller DJ. 23th AIAA Plasmadynamics and Lasers Conference, AIAA-92-3006, July 1992
- 8 Zagidullin MV, Yu Kurov A *et al* *Sov J Quant Electr*, 1991, **21**: 747
- 9 宋雪琴等. 用红外辐射-量热法测定 O_2 ($^1\Delta$) 绝对浓度的研究 分析仪器, 1987, (4): 1

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON SUPERSONIC CO L

Sang Fengting, Chen Fang, Yang Bailing, Sun Yizhu, Jin Yuqi, Pun Jingke,
Gu chengzhou, Wang Ling, and Zhuang Qi

Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian, 116023

A 5kW supersonic chemical oxygen-iodine laser (CO L) has been constructed, in which a rotating mesh type singlet-delta oxygen generator (SOG) is used. The rotating mesh type SOG combines the advantages of the rotating disk and jet types. It is not only simpler in structure and lighter in weight, but also produces singlet delta oxygen with both higher partial pressure and higher mole fraction, as well as lower water vapor content. In our CW supersonic CO L experiments, an electrically heated iodine generator and a simple two dimensional nozzle bank incorporated with a stable resonator are employed along with the rotating mesh SOG. An output power of over 1kW has been achieved at a Cl_2 flow rate of 150 mmol/s .