

# 连续波化学氧碘激光器的小信号增益 和腔内损耗

多丽萍 杨柏龄

(中国科学院大连化学物理研究所, 大连 116023)

**摘要** 本文用变耦合率方法和平行板转动最大损耗法分别测出小信号增益为  $1.60 \times 10^{-3} \text{cm}^{-1}$  和  $1.75 \times 10^{-3} \text{cm}^{-1}$ , 腔内损耗为 12.0%, 获得了饱和参量为  $3.00 \text{ kW/cm}^2$ , 并将所得结果与其它报道作了比较。

**关键词** 小信号增益, 腔内损耗

## Small-signal gain and intracavity loss of a CW chemical oxygen-iodine laser

*DUO Liping, YANG Bailing*

(Dalian Institute of Chemical Physics, Academia Sinica, Dalian 116023)

**Abstract** This paper first connects rotational plate method with variable output coupling method and gets small-signal gain of  $1.60 \times 10^{-3}$  and  $1.75 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ , intracavity loss of 12.0%. Saturation parameter of  $3.00 \text{ kW/cm}^2$ . A comparison of these results with the published data of other COIL systems is also presented.

**Key words** small-signal gain, intracavity loss

## 1 引言

为提高连续波氧碘化学激光器(COIL)的输出功率,研究其增益和损耗特性已成为重要课题之一。日本 Watanabe 等人用极大损耗法研究了小信号增益和饱和参量<sup>[1]</sup>。捷克 Josef 等人用可变耦合率方法研究了增益和输出耦合特性<sup>[2]</sup>。本文是用可变耦合率方法和平行板转动最大损耗法测出小信号增益系数、腔内损耗和饱和参量。

## 2 实验装置

实验装置如图 1 所示。由单态氧分子发生器、去水气冷阱、激光腔、 $I_2$  发生系统和真空系

统等部分组成。

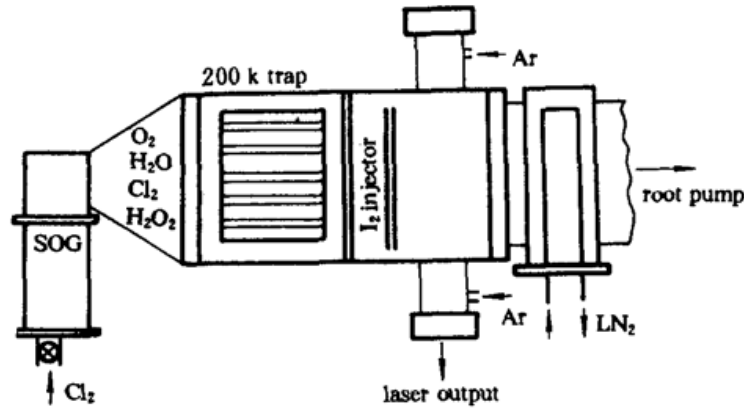


Fig. 1 Experimental setup of COIL

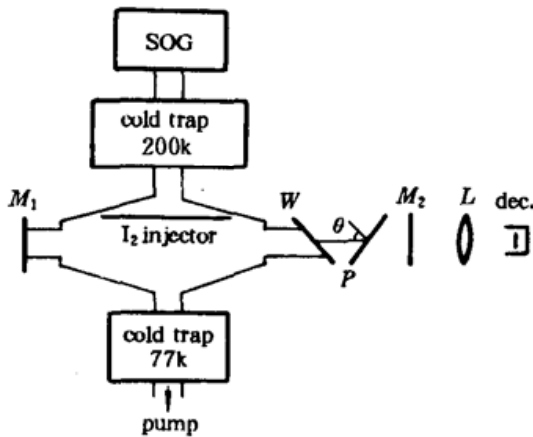


Fig. 2 Measurement diagram

图 2 为平行板转动最大损耗法的测试装置。变耦合率方法仅是把平行板拿掉,不断更换输出耦合镜而已,其它完全一样,其中  $M_1$  为全反镜; $M_2$  为输出镜,  $T = 1.70\%$ ;  $W$  为布儒斯特窗;  $P$  为平行转板;  $L$  为聚光镜。

### 3 结果和讨论

为测得小信号增益系数,仅仅是平行板转动极大损耗法还不能得到确实的数据。从增益损耗平衡方程<sup>[3]</sup>可以看出

$$2\alpha_0 l = L_M + 2T - L_S + L_P(\theta_0) \quad (1)$$

这里  $\alpha_0$  为小信号增益系数,  $l$  为激活介质长度,  $L_M$  是除透射损耗之外的其它腔内损耗,  $L_S$  是所有镜子的散射、吸收损耗,  $2T$  为两腔镜的总透射率,  $L_P(\theta_0)$  是转板转至输出功率为零时的反射损耗。极大损耗法仅能测出  $L_P(\theta_0)$ ,  $T, l$  为已知,至于  $L_M, L_S$  只能假设或估计,因此我们首次将极大损耗法与可变耦合率方法结合起来,从实验上给出较合理的结果。

可变耦合率方法所得实验数据如表 1。

Table 1

$T(\%)$	1.30	1.40	1.70	2.10	2.50
$P(W)$	95.0	150.0	178.0	151.0	75.3

输出功率与耦合率的关系<sup>[4]</sup>

$$P = S \cdot T \cdot I_s \cdot \left[ \left( \frac{2\alpha_0 l}{T + \delta_0} \right)^2 - 1 \right] \quad (2)$$

$S$  为输出光束的有效截面积  $9.70 \text{ cm}^2$ ,  $T$  为输出耦合率,  $I_s$  为饱和参量,  $\delta_0$  为腔内损耗,  $P$  为输出功率。且  $\delta_0 = L_S + L_M$ , 在不同耦合率条件下可视为不变。因为不同耦合镜引入的散射、吸收的变化非常小 ( $\ll 0.1\%$ )。我们可利用  $P \sim T$  的实验数据,用非线性方程组模拟算出小信号增益系数、腔内损耗和饱和参量。考虑到误差传递,对(2)式微分并除以原式,得

$$\frac{dP}{P} = \frac{dS}{S} + \frac{dT}{T} + \frac{dI_s}{I_s} + \frac{dA}{A}, \quad A = \left( \frac{2d_0l}{T + \delta_0} \right)^2 - 1$$

$$\frac{dA}{A} = \frac{2BdB}{A} = \frac{2B^2 dB}{A B}, \quad B = \frac{2d_0l}{T + \delta_0}$$

$$\frac{dB}{B} = \frac{d\alpha_0}{\alpha_0} + \frac{d\delta_0}{\delta_0 + T}$$

而  $dl = 0, dT = 0$ , 故

$$\frac{dP}{P} = \frac{dS}{S} + \frac{dI_s}{I_s} + \frac{2B^2}{A} \left( \frac{d\alpha_0}{\alpha_0} + \frac{d\delta_0}{\delta_0 + T} \right)$$

$$\frac{dP}{P} = \frac{0.1W}{\bar{P}} = \frac{0.1W}{129.9W} \approx 0.08\%$$

$$\frac{dS}{S} = \frac{2dr}{r} = \frac{2 \times 0.1 \text{ mm}}{17.6 \text{ mm}} \approx 1\%$$

$$\frac{dI_s}{I_s} \approx \frac{dP}{P} + \frac{dS}{S} \approx 1\%$$

$$\frac{d\alpha_0}{\alpha_0} \approx \frac{[2\alpha_0l/(T + \delta_0)]^2 - 1}{2[2\alpha_0l/(T + \delta_0)]^2} \left( \frac{dP}{P} + \frac{dS}{S} \right) \approx 1\%$$

$$\frac{d\delta_0}{\delta_0} \approx \frac{A}{2B^2} \frac{dS}{S} < \frac{dS}{S} \approx 1\%$$

由此我们确定计算结果的截止相对误差为  $10^{-2}$ , 得到  $\alpha_0$  为  $1.60 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ , 腔内损耗为  $1.20 \times 10^{-1}$ , 饱和参量  $I_s$  为  $3.01 \text{ kW/cm}^2$ .

平行板转动极大损耗法测得  $\theta_0$  为  $41^\circ 20'$  时为临界出光点,  $d\theta_0$  为  $\pm 10'$ . 由(1)式看误差传递

$$2\alpha_0 l = \delta_0 + T + L_p(\theta_0)$$

$$\frac{d\alpha_0}{\alpha_0} = \frac{d\delta_0}{\delta_0 + T + L_p(\theta_0)} + \frac{dL_p(\theta_0)}{L(\theta) + \delta_0 + T} \quad (\text{注 } dl = 0, dT = 0)$$

由马祖光的《激光实验方法》中可知

$$L_p(\theta) = 1 - \left[ \frac{1 - R(\theta)}{1 + R(\theta)} \right]^2, \quad R(\theta) = \frac{\text{tg}^2[\theta - \arcsin(1/n \sin\theta)]}{\text{tg}^2[\theta + \arcsin(1/n \sin\theta)]}$$

故  $dL_p(\theta_0) = 2AdA = 2A^2 \frac{dA}{A}$ , 其中  $A = \frac{1 - R(\theta_0)}{1 + R(\theta_0)}$

$$\frac{dA}{A} = \frac{dR(\theta)}{1 - R(\theta_0)} + \frac{dR(\theta)}{1 + R(\theta)} = \frac{2R(\theta)}{1 - R^2(\theta_0)} \frac{dR(\theta)}{R(\theta)}$$

$$\frac{dR(\theta)}{R(\theta)} = \frac{2d\text{tg}i_1}{\text{tg}i_1} + \frac{2d\text{tg}i_2}{\text{tg}i_2} = \frac{4di_1}{\sin 2i_1} + \frac{4di_2}{\sin 2i_2}$$

其中  $i_1 = \theta - \arcsin(1/n \sin\theta)$ ,  $i_2 = \theta + \arcsin(1/n \sin\theta)$

$$di_1 = d\theta + \frac{1/n \cos\theta}{[1 - (1/n \sin\theta)^2]^{1/2}} d\theta, \quad di_2 = d\theta + \frac{1/n \cos\theta}{[1 - (1/n \sin\theta)^2]^{1/2}} d\theta$$

$\theta_0$  为  $41^\circ 20'$  时,  $di_1 = di_2 \approx 2d\theta$

$$dL_p(\theta_0) = 2A^2 \cdot \frac{2R(\theta)}{1 - R^2(\theta_0)} \cdot \left( \frac{1}{\sin 2i_1} + \frac{1}{\sin 2i_2} \right) \cdot 8d\theta_0$$

对  $1.315 \mu\text{m}$  的石英玻璃平板  $n = 1.447$ ,  $\theta_0 = 41^\circ 20'$

$$i_1 = 14.1567^\circ, \quad i_2 = 68.5099^\circ, \quad R(\theta) = 9.86 \times 10^{-3} \approx 1\%$$

$$A = \frac{1 - R(\theta_0)}{1 + R(\theta_0)} \approx 1$$

$$\begin{aligned} \text{故} \quad dL_P(\theta_0) &= 0.32d\theta_0 \left( \frac{1}{\sin 2i_1} + \frac{1}{\sin 2i_2} \right) = 0.16 \times 2 \times 3.57d\theta_0 \approx d\theta_0 \\ \frac{dL_P(\theta_0)}{L_P(\theta_0) + \delta_0 + T} &\approx \frac{1}{3.75\% + 12\% + 1.70\%} \times \frac{10'}{60'} \times \frac{3.14}{180} \approx 2\% \\ \text{故} \quad \frac{d\alpha_0}{\alpha_0} &= \frac{d\delta_0}{\delta_0} + \frac{dL_P(\theta_0)}{L_P(\theta_0) + \delta_0 + T} \approx 1\% + 2\% \approx 3\% \end{aligned}$$

因此由(1)式得  $\alpha_0 = (1/2) \cdot l[\delta_0 + T + L_P(\theta_0)]$ ,  $\delta_0$  为 12.0%,  $T$  为 1.70%,  $L_P(\theta_0)$  计算得 3.75%,  $l = 50$  cm, 得  $\alpha_0$  为  $(1.75 \pm 0.05) \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ , 可见两种方法所得增益系数极为接近。

文献[2]中可变耦合率方法得到的  $\alpha_0$  为  $1.55 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ ,  $\delta_0$  为 9%, 它是在  $\text{Cl}_2$  流量为 11.8 mmol/s 的条件下, 我们  $\text{Cl}_2$  流量接近它的三倍为 30.0 mmol/s, 可以认为是增益增大的原故。而[1]中的极大损耗法  $\theta_0$  在  $45^\circ \sim 55^\circ$  之间, 虽然实验条件不同, 仅就所设  $L_M$  为 0.4%,  $L_S$  为 1.6% 而言, 差别就很大。

本文饱和光强和腔内损耗的拟合计算是在王成栋老师、詹际平老师的热心帮助下顺利完成的, 在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- 1 Kazuhiro Watanabe, Shigeru Kashiwabara *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-19**(11), 1699(1983)
- 2 Josef Schmiedberger, Jarmila Kodymova' *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-27**(6), 1265(1991)
- 3 J. Milewski, M. Brunne *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **33**(12), 1007~1009(1978)
- 4 W. W. Rigrod, *J. Appl. Phys.*, **34**(9), 2602~2609(1963)