

# 连续波 HF 化学激光器小信号增益的测量

黄瑞平 孙以珠 桑凤亭 袁启年 庄琦

(中国科学院大连化学物理研究所)

**提要:** 描述了测量连续波 HF 化学激光器小信号增益空间分布的装置。给出了 CL-9 喷管的几个跃迁增益分布的测量结果并对实验结果及误差作了简单讨论。

## Small signal gain measurement of CW HF chemical lasers

Huang Ruiping, Sun Yizhu, Sang Fengting, Yuan Qianian, Zhuang Qi

(Dalian Institute of Chemical Physics, Academia Sinica)

**Abstract:** An apparatus for measuring the spatially resolved small-signal gain of CW HF chemical lasers is described. The gain distribution of several transitions for nozzle CL-9 are obtained. A brief discussion on the experimental results and the relevant errors is given.

连续波 HF(DF)化学激光器是目前最重要的大功率连续激光器之一。为了提高它的性能,要进行各种参数的测量,其中包括小信号增益的测量。增益测量为评价喷管、设计光腔和改进激光器的性能提供重要的数据,也为理论模型计算和实验结果的比较提供判据。在这方面,已有不少文献报导<sup>[1~3]</sup>。我们用小功率连续波 HF 激光作光源测量了燃烧驱动 HF 化学激光器的小信号增益的分布。

中心的增益。

增益测量的光路如图 1 所示。探测光束通过 2 毫米直径的光阑后,由凹面镜  $M_1$  ( $R=3$  米)反射到半透镜  $M_2$  ( $\text{CaF}_2$  片上镀薄层铝);  $M_3$  为平面全反射镜,它由马达和凸轮控制作左右转动,每秒往返一次;  $M_4$  为凹面镜 ( $R=800$  毫米),转镜  $M_3$  置于  $M_4$  的焦点处,  $M_3$  转动时,光束经  $M_4$  反射后平行于喷管出口平面,在增益区扫描。光束穿过增益

## 一、实验装置

探测光源是本实验室研制的小型连续波 HF 化学激光器<sup>[4]</sup>。激光器增益区长 15 厘米。光腔由镀金全反镜和光栅组成,以光栅零级衍射耦合输出激光。腔长 35 厘米,输出是单纵模。在全反镜处用压电陶瓷调节腔长,能使激光稳定在谱线中心,从而得到谱线

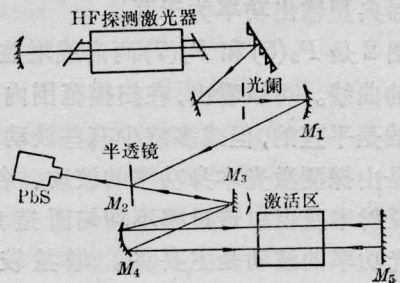


图1 增益测量装置示意图

收稿日期: 1983年5月17日。

区后由平面镜  $M_5$  反射,按原路返回,再次穿过增益区。光束通过半透镜  $M_2$  后,用 PbS 红外探测器接收。信号经 SF-72 型直流放大器放大后,用 SC-14 型振子示波器记录。仔细调节各镜的位置,可使扫描时探测器上的光斑不移动,输出信号稳定。调整  $M_1$  和  $M_4$  的间距使之共焦,这样可缩小光束的直径并减小光束在增益区中的发散度,扫描的空间分辨率可小于 2 毫米。探测光束两次通过增益区,可提高测量的灵敏度。此外,这种光路还可以有效地避免增益区中强的红外辐射的干扰。

测量时,首先作空白扫描,然后令被测量激光器起动,探测光束对增益区扫描。将两次扫描的曲线相比较,即可由下式计算增益:

$$\alpha = \frac{1}{l} \ln \frac{I}{I_0}$$

式中  $\alpha$  为增益系数,  $l$  为增益区长度,  $I_0$  为空白扫描光强,  $I$  为有增益(或吸收)时的光强。

## 二、实验结果和讨论

我们用上述装置测量了燃烧驱动连续波 HF 化学激光器的小信号增益。该激光器利用  $F_2$  和  $D_2$  在  $H_2O$  稀释下在燃烧室里燃烧产生高温,使过量的  $F_2$  解离成 F 原子。含 F 原子的高温气体从喷管高速喷出,在喷管出口处喷入  $H_2$ ,  $H_2$  和 F 原子迅速混合反应,产生振动激发的 HF 分子,造成粒子数反转。激光器典型输出功率为千瓦。

图 2 是  $P_2(5)$  和  $P_1(7)$  两谱线增益测量记录的曲线。可以看出,在扫描范围内,空白扫描线是平直的,但或多或少有些波动,这些波动是由探测激光本身功率的波动、各反射镜的反射率及窗口透过率不均匀而造成的,而激光功率的波动是主要的。增益较小的  $V=1 \rightarrow V=0$  的各谱线波动更大些。由于这些波动而造成的增益测量的误差,对于波动小的强线约为  $\pm 3\%$ ,而对波动大的弱线则

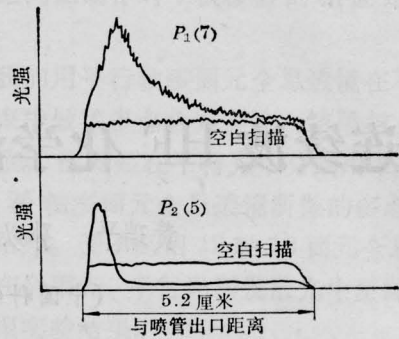


图 2 增益扫描记录曲线

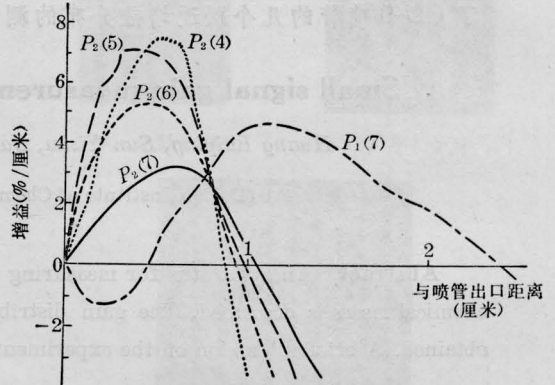


图 3 CL-9 喷管的增益分布

可达  $\pm 10\%$ 。

图 3 是对 CL-9 三维轴对称喷管进行增益测量的结果。实验是在相同的条件下进行的。

从图 3 可看出,在喷管出口附近,  $P_2(J)$  各支的增益很快达到极大值,然后很快下降,在 1 厘米附近即出现吸收,而  $P_1(7)$  跃迁的增益则上升缓慢,峰值较低,增益区比  $P_2(J)$  各支长得多。这种现象与动力学研究结果是一致的。研究表明,泵浦反应优先泵浦  $V=2$  的能级,速率为  $V=1$  的能级的三倍,所以  $P_2(J)$  各支增益较高,且先达到极大值。 $V=1$  能级的泵浦速率小,而且有相当部分是从  $V=2$  能级上转移过来的,所以增益上升缓慢,峰值也低。研究结果还表明,  $V=2$  能级的弛豫要比  $V=1$  能级快得多,因而前者的增益很快下降直到吸收,而后下降缓慢,

(下转第 289 页)

正弦调制下, 取  $I_b=62.5\sim 70$  毫安,  $I_m=37.5\sim 30$  毫安较为合适。具体计算如下: 从图 9 中, 得  $P-I$  线性范围为  $I=5\sim 100$  毫安,  $V-I$  线性范围为  $I=25\sim 100$  毫安, 综合考虑取  $I=25\sim 100$  毫安, 根据下式

$$\begin{cases} I_b + \frac{1}{2} I_{m(p\sim p)} = 100 \text{ 毫安} \\ I_b - \frac{1}{2} I_{m(p\sim p)} = 25\sim 40 \text{ 毫安} \end{cases}$$

得:  $I_b=62.5\sim 70$  毫安,  $I_m=37.5\sim 30$  毫安。在这个工作点下, 即使在正弦电流的负半周, 器件截止频率  $f_c$  仍可达 15 兆赫。

如增加  $I_b$ , 减少  $I_m$ , 则从图 9 可见, 器件工作的动态范围将减少, 由此造成工作状态不稳定; 反之, 减少  $I_b$ , 增加  $I_m$ , 即提高调制度  $M$ , 则当  $I_b - I_m < 25$  毫安时, 器件工作点将进入  $V-I$  曲线的非线性区, 由此将造成在正弦负半周时的波形畸变的输出光功率明显下降。

### 5. $t_r$ 和 $f_c$ 的换算

绝大多数器件用(10)式换算出来的  $f_c$

值与小信号正弦调制下测到的  $f_c$  值有些差别。例如 GF211-A 20#  $I_p=50$  毫安时,  $t_r=20$  毫微秒, 即  $f_c=17.5$  兆赫;  $I_p=100$  毫安时,  $t_r=14$  毫微秒, 即  $f_c=25$  兆赫。在正弦调制中, 取  $I_b=50$  毫安,  $I_m=25$  毫安时,  $f_c=17.4$  兆赫;  $I_b=100$  毫安,  $I_m=25$  毫安时,  $f_c=19$  兆赫。后者与脉冲调制法相差 6 兆赫, 这可能是大幅度脉冲注入使耗尽的载流子很快填满, 从而使器件的辐射复合寿命  $\tau_r$  缩短之故。

### 参 考 文 献

- [1] Henry Kressel, J. K. Butler; "Semiconductor Lasers and Heterojunction LEDES", 1977, p. 488, p. 71.
- [2] Kenji Ikeda; IEEE Transactions on Electron Devices, 1977, ED-24, NU7, p. 1001.
- [3] Alan Chappell; "Optoelectronics, Theory and Practice", 1976, p. 217~128.
- [4] Tien Pei Lee et al.; IEEE J. Quant. Electr., 1978, QE-14, No. 3, 150~158.
- [5] [美]无线电公司编, 史斯, 伍琐译校; 《电光学手册》, 国防工业出版社出版, 1978 年, p. 139.

(上接第 282 页)

其增益区比前者要长得多。

图 3 中  $P_2(J)$  各谱线的增益区长约 1 厘米, 这说明喷管出口下游  $H_2$  和 F 原子两股气流混合速度是很快的。根据气动力学计算, 喷管出口处气流速度可达 2000 米/秒, 可见, 气流的混合在 5 微秒内即已基本完成。

增益测量结果表明, CL-9 喷管的混合速度快, 增益高, 预期会有大的激光功率输出。这已被实验所证实。

增益测量结果是检验理论模型计算正确与否的重要数据, 有关的计算正在进行。

参加工作的还有逢景科、闵祥德、李明盛、桓长青等同志。崔铁基同志在信号测量工作中曾给予不少帮助, 特表谢意。

### 参 考 文 献

- [1] R. A. Chodzko et al.; IEEE J. Quant. Electr., 1973, QE-9, 550.
- [2] R. A. Chodzko et al.; IEEE J. Quant. Electr., 1976, QE-12, 660.
- [3] T. Yauo, H. M. Botitch; IEEE J. Quant. Electr., 1978, QE-14, 12.
- [4] 黄瑞平, 孙以珠; 《中国激光》, 1983, 10, 250.