

文章编号: 1001—4322(1999)04—0385—04

转镜扫描测量超音速氧碘化学 激光器二维增益分布*

多丽萍, 闵祥德, 孙以珠, 桑凤亭, 王 麟, 杨柏龄, 庄 琦

(中科院大连化学物理研究所, 大连 110 信箱, 116023)

摘 要: 首次用二维多面体扫描镜测量了超音速氧碘化学激光器的二维增益分布, 测得增益区沿气流方向较长, 沿光腔高度方向靠近壁面的两侧存在明显的边界层效应, 并且边界层的厚度随着远离喷管出口平面距离的增大而增加。

关键词: 氧碘化学激光器; 转镜扫描; 增益分布

中图分类号: TN 248.5 **文献标识码:** A

随着氧碘化学激光器的不断发展, 功率水平的提高, 改善光速质量就成为首要问题。除了腔型及光学元件对光速质量的影响外, 激活介质是影响光速质量的重要因素。小信号增益系数是表达激活介质微观统计状态的物理量, 又是激光器宏观性质的一个重要参数, 它的大小直接决定着腔型的选取。而小信号增益的二维空间分布, 不仅是光腔设计的基础, 而且也是改善光速质量的重要依据。通常研究小信号增益的实验方法有: 无探测光源下的衰减法^[1]和变耦合率法^[2,3], 有探测光源的放大法^[4]。它们都是对氧碘激光器平均小信号增益的研究。相比之下, 对氧碘化学激光器增益分布的测量比较少。到目前为止, 完成氧碘激光器二维增益测量的有美国 Phillips 实验室的 R. F. Tate 等人^[7], 利用二极管激光器做探测光源, 用光纤移动的方法对氧碘激光的二维增益进行了测量, 但它并非一次实验扫描的结果。还有我们先前做的工作, 采用氧碘激光器做探测光源, 逐点测量了氧碘化学激光器的二维空间增益分布^[6]。但由于化学激光本身特性, 决定了激光器每次实验的工作状态不可能完全一致, 使得逐点测量得到的增益分布存在着非人为误差。因此寻求在单次实验中快速扫描的途径显得格外重要。我们设计安装了旋转多面体扫描镜, 用它来完成激光二维空间的快速扫描, 采用稳频二极管激光器做探测光源, 对氧碘化学激光器二维增益进行了测量, 并对小信号增益分布进行了讨论。

1 实验布置

二维扫描转镜示意图如图 1, 由于柱面镜的八个侧面与柱体的轴线成不同微小的角度, 光入射到旋转的柱面上, 反射的八条光线并不重合, 而是分布在空间一个面上。因此用一个八侧面的柱面镜即可完成空间二维扫描。由于反射的八条光线从空间的一点出发, 具有角分布, 它们并不平行, 为使扫描的光线相线平行, 采用一曲率半径为 2 米的凹面全反镜, 将柱面镜镜面上入射光点放在凹面镜的焦点上, 经柱面镜反射的八条光线再线过凹面全反镜的反射后, 八条光线就成为互相平行的光线了。同样再由一个曲率半径为 2 米的凹面全反射镜将信号光会聚于放有 Ge 探头的该镜的焦点上。该柱面扫描镜扫描周期为 12Hz。采用该扫描镜测量增益,

* 国家 863 激光技术领域资助课题
1998 年 12 月 3 日收到原稿, 1999 年 6 月 28 日收到修改稿。
多丽萍, 1968 年 3 月出生, 博士, 副研

在 100ms 内, 即可完成 60mm × 110mm 的二维扫描。它在光腔高度方向为连续扫描, 气流方向扫描了七个不同的位置(其中一个面作为起始点的标志), 扫描的轨迹如图 2。

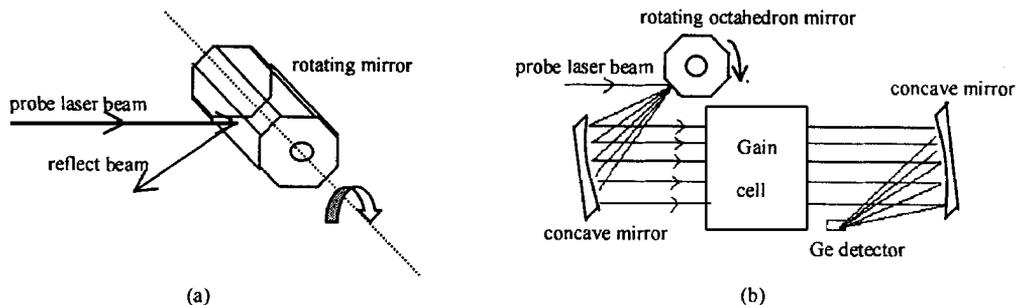


Fig 1 The schematic of a two- dimensional scanning mirror system

图 1 二维柱面扫描镜示意图。(a) 旋转的八侧面柱面扫描镜。(b) 平行的探测光束

图 3 为二维增益分布扫描测量的实验装置图。图中双线代表激光光速经过的路线, 单线表示信号线间的连接。虚方框内为二极管激光器的稳频系统及监测系统。为使二极管激光器工作波长控制在氧碘激光器的工作波长, 我们采用碘吸收池监测并控制二极管激光波长工作在 $I(^2P_{1/2})F = 3 \rightarrow I(^2P_{3/2})F = 4$ 的精细跃迁谱线上。光束高度调节器使得探测光不但可以自由升降, 还可以自由转向。七条平行的光线经过氧碘化学激光器的

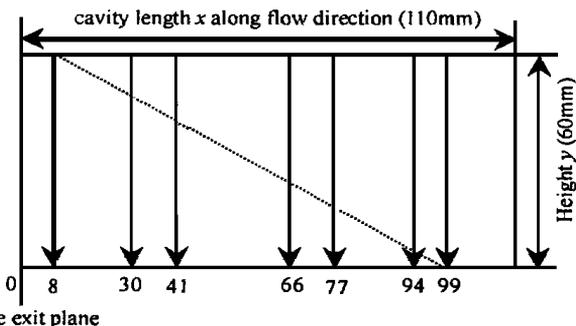


Fig 2 The scanning trace of the two- dimensional mirror

图 2 二维扫描轨迹

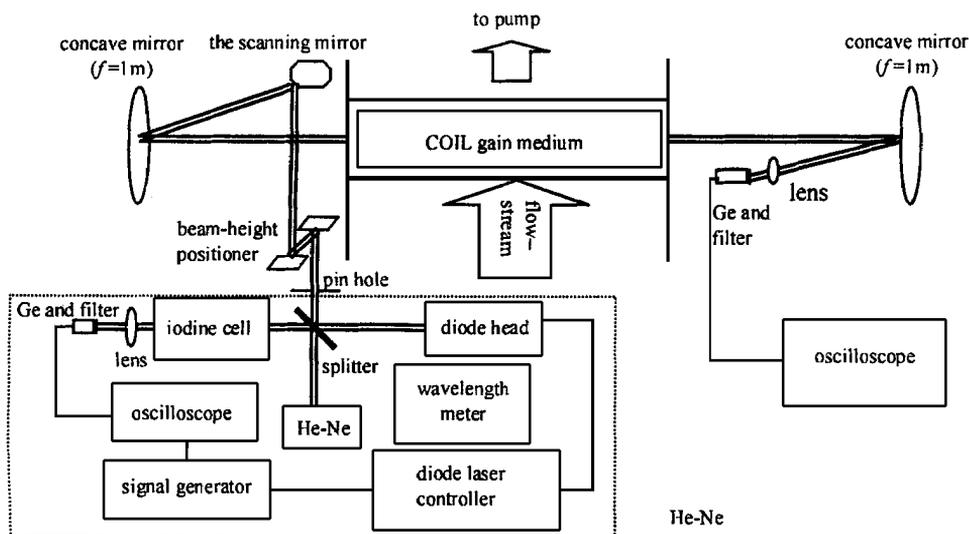


Fig 3 The schematic of gain distribution measurement by a 2D scanning mirror

图 3 转镜扫描测量二维增益分布装置示意图

增益区后, 同样由一个曲率半径 2 米的全反凹面镜收集, 收集信号的 Ge 探头放置在凹面镜的焦点上, 因此一个探头即可承担空间二维扫描光信号的接收任务。分束镜的透过率为 45%。二极管激光器输出功率为 1mW 时, 测量了氧碘激光器的增益分布。

2 实验结果与讨论

图 4 为转镜扫描测得的氧碘化学激光器二维增益分布。x 为气流方向距喷管出口平面的距离(单位: mm), y 为光腔高度方向(60mm), 对应图中 y 轴显示的值为数据点数, 大约有 100 个。由图中可见, 氧碘激光器光腔高度方向, 中心区域增益比较均匀, 两侧下降, 下降厚度约为 4~ 8mm。沿气流方向增益区比较长, 为气流方向折叠腔的实现提供了条件。测得的氧碘激光器小信号增益的最大值为 0.006cm^{-1} , 与我们先前用氧碘激光器做探测光源测量超音速氧碘化学激光器小信号增益分布^[6]所得的最大值相比, 有些偏小。这是因为旋转柱面镜的占空比较小(约 7.6%), 光腔高度方向扫描的线速度高达 150m/s , 而探测器的响应度随调制频率的提高而衰减。因此高速扫描测量的小信号增益系数偏小。探求占空比较大、扫描速度稍慢的扫描系统是我们今后要探索的研究工作。

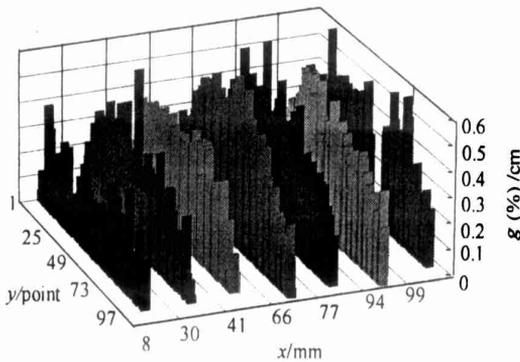


Fig 4 SSG distribution measured by a 2D rotating mirror

图 4 扫描转镜测得二维增益分布结果

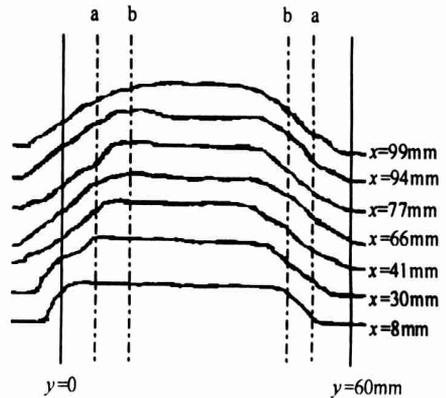


Fig 5 The gain signal at different positions

图 5 沿气流方向不同位置的增益信号

图 5 给出在不同气流位置, 增益信号沿光腔高度方向的分布。由于光腔高度方向为连续扫描, 设 $y = 0\text{mm}$ 为光腔下壁壁面位置, $y = 60\text{mm}$ 为光腔上壁壁面位置。实际是 $x = 8\text{mm}$ 的位置, 光腔高度 $y < 60\text{mm}$, $x = 99\text{mm}$ 时 $y > 60\text{mm}$, 从图 5 的增益信号可以看到这点。另外, 从图中可以看到氧碘激光器光腔高度方向, 中心区域增益信号比较均匀, 上下两侧靠近壁面的区域增益信号下降, 这是因为壁面边界层效应所引起的。由流体力学的边界层理论^[8], 边界层厚度为: $\delta = 4.92L / \sqrt{Re}$, L 为特征长度, 取光腔高度 6cm ; Re 为雷诺数。对被测氧碘激光器光腔内气流速度和介质而言, $Re = 2248$, 得边界层厚度约为 0.6cm 。它是指粘性流体流速小于 $0.99v_{\text{max}}$ 到壁面 ($v_{\text{wall}} = 0$) 的距离。可见边界层中气流速度均小于 v_{max} 。由于马赫数 M 定义与流体速度成正比, 又 $T_0/T = 1 + M^2(\gamma - 1)/2$, T_0 为满滞止温度, γ 为比热比, 因为边界层内速度减小, 温度上升, 而小信号增益系数和温度的开方成正比。因此边界层效应引起靠近壁面区域的小信号增益下降。扫描速度可视为是均匀的, 按线性比例关系可以得到靠近上或下壁面增益信号下降的厚度平均约为 8mm , 这恰好和边界层厚度 6mm 的量级相吻合。同时, 我们还看到

距喷管出口平面越远, 即 x 越大, 增益信号靠近壁面下降的厚度在增大, 图中虚线 a 为 $x = 8\text{mm}$ 时增益信号下降的厚度, 虚线 b 为 $x = 94\text{mm}$ 增益信号下降的厚度。说明边界层的影响随着 x 的增大而增大。这和可压缩流体力学的边界层理论是相一致的, 随着流体在长管中的流动, 直到整个管道为边界所占有。也与美国 D. A. Copeland 等人所做的超音速氧碘化学激光器小信号增益的理论计算^[7]结果相近。边界层影响小信号增益的定量结果对光腔设计和功率的有效提取无疑是非常重要的。

3 小 结

1. 用旋转的柱面镜对超音速氧碘化学激光器二维增益分布实现快速扫描测量, 证明是可行的, 也是方便和快捷的。

2. 超音速氧碘激光器小信号增益在光腔高度方向, 中心区域的小信号增益比较均匀, 两侧下降; 沿气流方向的增益区比较长。

参考文献

- 1 Kazuhiro Watanabe, Shigeru Kashiwabara, Kiyokaw Sawai, et al *IEEE J Quant Electr*, 1983, **QE- 19**(11): 1699
- 2 Josef Schmiedberger, Jamilya Kodymova, Otona Spalek, et al *IEEE J Quant Electr*, 1991, **QE- 27**(6): 1265
- 3 多丽萍, 杨柏龄. 中国激光, 1993, **A20**(10): 33
- 4 Lebiushi E, Bamashenko B D, Elor A, et al *IEEE J Quant Electr*, 1995, **31**(5): 903
- 5 Tate R F, Hunt B S, Helms C A, et al *IEEE J Quant Electr*, 1995, **31**(9): 1632
- 6 Liping Duo, Bailing Yang, Fengting Sang, et al *IEEE J Quant Electr*, 1998, **34**(7): 1065
- 7 Copeland D A and Yang T T. *SPIE*, **2989**
- 8 潘文全主编. 流体力学基础. 北京: 机械工业出版社, 1986, 206

STUDY OF 2D SMALL - SIGNAL GAIN FOR A SUPERSONIC COL BY A SCANNING MIRROR

DUO Li-ping, M N Xiang-de, SUN Yi-zhu, SANG Feng-ting, WANG Lin, YANG Bai-ling, ZHUANG Qi
Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 110, Dalian 116023, China

ABSTRACT 2D small-signal gain of a supersonic COL by a scanning polyhedron mirror was got firstly in our laboratory. The small signal gain along flow direction changes very slowly and drops in the near of upper and lower wall. The boundary layer is thicker with the distance from the nozzle exit plane and the average thickness is about 4~8mm.

KEY WORDS COL; small-signal gain distribution; a scanning mirror