

047 平板式大面积放电射频激励 CO₂ 激光器小信号增益分布测试及分析

张向苏 刘 守

(厦门大学物理学系, 厦门 361005)

摘要: 此研究结果表明这类激光器的小信号增益分布与气体流速有关。在静止气体或非常慢速流动下, 小信号增益分布取决于气体温度的分布; 而当气体流速增加到一定数值后, 小信号增益分布则取决于气体速度在放电管内的分布。

关键词: 射频激励 CO₂ 激光器, 大面积放电, 小信号增益分布, 气体流速

Measurement and analysis of small signal gain distribution in a planar, large area discharge, RF excited CO₂ laser

Zhang Xiangsu Liu Shou

(Dept. of Physics, Xiamen Univ., Xiamen 361005)

Abstract: The distribution of small signal gain in a planar large area discharge, RF excited CO₂ laser was measured and analyzed. The results show that the small signal gain distribution of such laser is closely related to gas flow rate. Under static or very slow gas flow, small signal gain distribution depends on temperature distribution in the discharge channel. Whereas when the flow rate increases to a higher level, small signal gain distribution depends on gas velocity distribution.

Key words: RF excited CO₂ laser, large area discharge, small signal gain distribution, gas flow rate

1 引言

小信号增益是激光器最重要的参数之一。如果其它参数不变, 小信号增益直接决定了激光器输出功率的大小。所以当一种新型结构的激光器产生时, 知道它的小信号增益及分布特性对共振腔设计和激光器工作条件设置都是很有意义的。射频激励激光器允许大面积放电, 所以小信号增益的横向分布是个重要参数。到目前为止, 对射频激励 CO₂ 激光器小信号增益分布的研究报导很少。其中最详细的一篇要数 Parazzoli 和 Chien^[1] 的文章。他们研究的是静止工作气体或气体流

动非常缓慢的情况, 并假设两电极之间的电子密度和输入功率的损耗都是均匀的。Sharp^[2] 也获得了相似的试验结果。他们都指出, 由于靠近两电极的地方温度最低, 所以小信号增益最大。

本文介绍对平板式、自由空间放电结构的射频激励 CO₂ 激光器小信号增益分布的测试方法, 并对测试结果进行了分析。研究表明, 参考文献 1、2 中报导的研究结果对于两电极距离较远且气体流动速度相对较快的射频激励 CO₂ 激光器是不适用的。

2 激光器放电管结构及输出情况

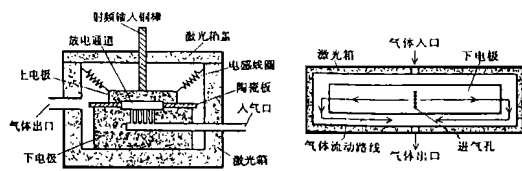


图1 激光器截面图

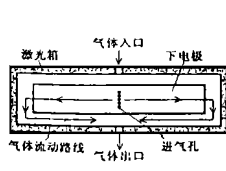


图2 气体在激光箱内流动方向

图1为激光器放电管的截面图。放电管为矩形结构, 两电极为长条铝块, 上下放置。两侧管壁为陶瓷板, 激光器外箱体为铝材料, 下电极固定在箱底部并通水冷却。工作气体从箱体一侧进入下电极中部, 通过5个小孔向上进入放电管。气体在放电管及激光箱内的行走路线如图2中箭头所示: 气体从放电管中心进入, 流向两侧直至放电管两端, 然后从激光箱的另一侧排出。放电区体积为长×宽×高=890mm×40mm×7.5mm, 共振腔长度为1m。激光器电源提供49MHz射频, 最高功率可达5KW。实验结果证明本激光器的最

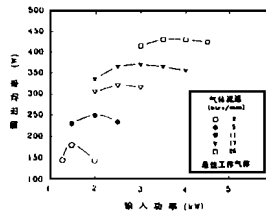


图3 输出功率随输入功

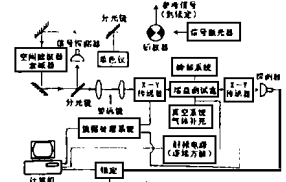


图4 增益测试系统图

率和气体流速的变化

佳工作气压为 $4 \times 10^3 \text{ Pa}$, 此数值不随其它工作条件的改变而改变。在同一输入功率下, 激光器的输出功率随工作气体流速的增大而增大。气体流速不同, 最佳气体配比也不同; 流速越大, CO₂ 的比例越小。图3是激光器输出功率相对输入功率的变化情况, 图中每条曲线代表不同的最佳气体配比。知道小信号增益分布情况有助于理解激光器输出功率的变化特性。

3 小信号增益测试

我们做了一个与激光器放电管一模一样但放电长度仅为100mm的测试放电盒, 将其放进测试系统中, 并

使其在与激光器相同的工作条件下放电。放电盒两端窗口用 ZnSe 材料, 以让一微弱的 CO₂ 激光束作为测试信号通过。放电极射频电源由 0.4 Hz 的方波调制, 以使放电盒在放电和不放电两种状态下变换。测出放电盒在放电及不放电情况下通过的信号激光功率并作比较, 就能获得小信号增益。测试系统如图 4 所示。信号激光为 300mW, 光斑直径 1mm, 来自于一个谱线可调、稳频并稳振幅的连续波 CO₂ 激光器。可变衰减器用来选择合适的探测光功率, 空间滤波器用于提供好的光斑分布。X-Y 传送器将信号光准确地对准在放电盒中的测试点位置。从放电盒出来的光由一探测器接收并送到计

算机, 所有对增益的计算及系统控制均由计算机完成。

由于放电管是左右对称的, 所以小信号增益的测试点在整个放电截面上只分布在一半的范围内, 测试结果适用于另一半。在两陶瓷壁之间(即水平方向)取了 5 个测试点(见图 5), 最靠近壁的点离壁 6.5mm, 点与点之间均间隔 4.2mm。在两电极之间(即垂直方向)只取了两个点, 一个在两电极中间(离电极 3.75mm), 另一个离下电极 1.9mm。在测试过程中, 工作气体的配比和气压都固定在 6CO₂: 18N₂: 76He 和 4 × 10³Pa。测试中的变量是输入功率和气体流速。

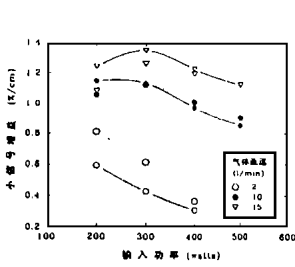


图 5 放电管中测试点的位置

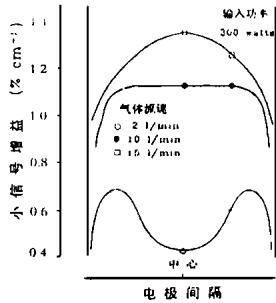


图 6 不同测试位置的小信号增益随输入功率和气体流速的变化。(测试位置: 实线—两电极中心, 虚线—离下电极 1.9mm)

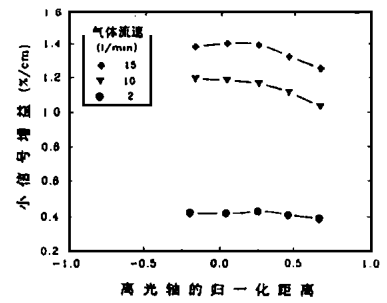


图 7 小信号增益在两电极之间的分布(输入功率 300W, 不同气体流速)

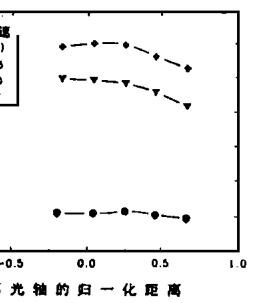


图 8 小信号增益在两陶瓷壁之间的分布(输入功率 300W, 不同气体流速)

4 测试结果

图 6 是小信号增益在三种气体流速下随输入功率的变化曲线。图中实线和虚线代表在放电管垂直方向测试的不同位置—实线为两电极的中心, 虚线为靠近下电极 1.9mm 处, 而图中所示的小信号增益数值是水平方向上 5 个测试点的平均值(参考图 5)。图 6 显示出: 气体流速低时, 小信号增益在靠近电极的地方较大, 在中心部位较小; 随着气体流速的不断提高, 两位置的小信号增益先是变得越来越接近, 然后变成在两电极中心较大, 在靠近电极处较小。利用图 6 中对应输入功率为 300W 时的增益数值作出的小信号增益在不同气体流速下在两电极之间的分布曲线, 示于图 7。图 7 中曲线 A 的情况是在流速仅为 2l/min 时测得的, 此结果与 Parazzo 和 Chien 的结果是一致的。增加流速至 10l/min, 小信号增益在两电极之间基本是均匀分布(曲线 B)。当气体流速加到 15l/min 时, 小信号增益变成中间比两边更大(曲线 C)。图 7 表明, 在静止气体或非常慢速流动气体情况下测得的小信号增益分布和在较快速流动气体测得的情况是大不相同的。这一结果可以用来解释不同光斑模式的产生原因: 在静止气体情况下, 靠近电极的高增益容易产生高阶横模, 所以在类似放电管结构的射频激励 CO₂ 波导激光器的输出光斑上下两端常常会有两个卫星式的亮点。增大气体

5 分析

对比图 3 和图 6 可以看出, 激光器输出功率和小信号增益相对气体流速的变化情况相同, 表明输出的变化源自于小信号增益的变化。在气体静止或非常慢速流动的情况下, 小信号增益在放电管内的横向分布取决于温度在管内的分布。由于电极用水冷却, 放电温度分布为中间高、两边低, 所以小信号增益在电极之间的分布如图 7 中曲线 A。由于陶瓷没有通水冷却, 温度比电极高, 加上两陶瓷壁之间的间隔较大, 所以增益分布在两壁之间的变化较小(参考图 8)。随着气体流速的增加, 小信号增益不断提高, 但这并不是因为气体温度下降。我们的计算表明, 即使在我们所用的最大气体流速(26l/min)下, 从该放电管带出的热量只有 2.5W。(下转第 23 页)

流速会改进激光模式。图 8 中的三条曲线表示在不同气体流速下, 在放电管两陶瓷壁之间(水平方向)的 5 个点的测试结果(参考图 5)。5 个点都是在上下两电极的中心, 输入功率固定在 300W。对比小信号增益在两电极之间的分布(图 7)可以看出, 气体流速较大时, 两陶瓷壁之间的小信号增益分布虽然也是在中间较高, 但曲线变化率较小。当气体流速很低时, 小信号增益在水平方向的很大范围内几乎相同。

对比图 3 和图 6 可以看出, 激光器输出功率和小信号增益相对气体流速的变化情况相同, 表明输出的变化源自于小信号增益的变化。在气体静止或非常慢速流动的情况下, 小信号增益在放电管内的横向分布取决于温度在管内的分布。由于电极用水冷却, 放电温度分布为中间高、两边低, 所以小信号增益在电极之间的分布如图 7 中曲线 A。由于陶瓷没有通水冷却, 温度比电极高, 加上两陶瓷壁之间的间隔较大, 所以增益分布在两壁之间的变化较小(参考图 8)。随着气体流速的增加, 小信号增益不断提高, 但这并不是因为气体温度下降。我们的计算表明, 即使在我们所用的最大气体流速(26l/min)下, 从该放电管带出的热量只有 2.5W。(下转第 23 页)

等诸多因素的综合效果。这就使得自体荧光法诊断结

肠肿瘤的研究进展得颇为艰难。

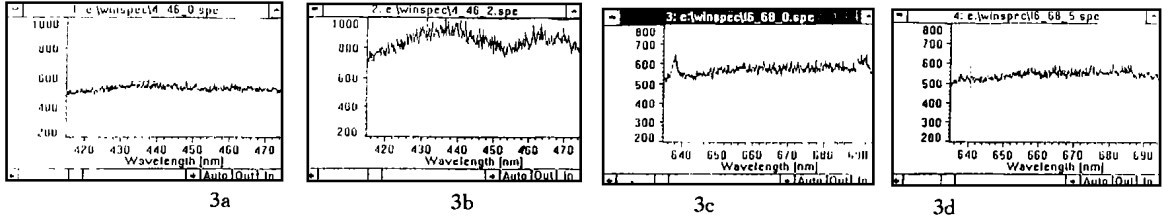


图3 结肠正常组织与癌变组织的自体荧光光谱

对自体荧光的物质来源目前尚无统一认识, 各种研究报道的荧光光谱特征也没有一致的结果。尤其是对在体标本, 各种报道的敏感性、特异性和阳性预期值都不高。因此, 结肠组织自体荧光特征峰及自体荧光物质来源尚有待于进一步的研究而得以充分认识。

本文首次使用 Cr: LiCAF 连续可调谐激光器作为激发光源, 选择多种波长进行实验, 找出了能诱导结肠正常组织与癌变组织产生最大荧光光谱差异的最佳激发波长。并对 31 组正常组织与病变组织标本进行测试, 观察到结肠癌组织与正常组织的自体荧光差异, 以 $Y = I_{690/440}$ 为判断依据, 可以较好地地区分组织类型。

自体荧光法诊断恶性肿瘤已经进行了近二十年的研究, 取得了初步成果, 虽然不尽完善, 但无疑为今后利用自体荧光法诊断早期恶性肿瘤的研究提供极有价值的实验数据和理论依据。

参考文献

[1] Day NE et al Human Gastric Cancer New York; Springer-Verlag, 1986, 7-16

[2] Stephen Lam et al. Use of Fluorescence Bronchoscope to Localize Pre-neoplastic Lesions for ChemoPrevention Trial in Lung Cancer; *Oncology*, 1993, 2(12)

[3] 骆清铭, 李再光等, 激光诱导心血管自体荧光光谱测量与分析, *应用激光*, 1995, 15(3): 138-140

[4] R. M. Cothren et al. Gastrointestinal Tissue Diagnosis by Laser-induced Fluorescence spectroscopy at Endoscope. *Gastrointestinal Endoscopy* 1990, 36(2): 105-111

[5] 吴思恩等, 激光肿瘤学, 广东科技出版社, 1993年7月第1版

[6] Enngels et al. Fluorescence Diagnosis and Photochemical Treatment of Diseased tissue using; part II, *Analytical Chemistry* 1990, 62: 19A

[17] Tj, J. Romer et al. Laser-induced Fluorescence Microscope of Normal Colon and Dysplasia in Colonic Adenomas: Implications for Spectroscopic diagnosis *Am J Gastroenterology*, 1995, 90(1): 81-87

作者简介: 谢洪波, 男, 1969年生, 讲师。1998年毕业于天津大学, 获博士学位。现从事激光在生物学中的应用及医学图象处理研究。

(上接第18页) 对气体的冷却作用几乎可忽略不计。可见小信号增益随气体流速增大并不是因为气体温度降低。合理的解释应该是随着气体流动速度的增加, 分解了的 CO₂ 被迅速带出放电管并由新鲜气体补充, 维持了管内的最佳气体配比所致。

本激光器在气体流速为 15l/min 时放电管在垂直和水平方向的雷诺数据^[3]分别为 200 和 1100, 表明本激光器放电管中气体的流动为层流状态。根据层流理论^[4], 在矩形腔体中流动速度分布是中间最高而靠近两壁最低。这样的流速分布使放电管靠中心部位迅速得到 CO₂ 补充, 而靠近电极和陶瓷壁的地方则有较多的 CO₂ 分解物(CO 和 O)聚集, 使该区域的工作气体配比偏离了最佳状态, 导致小信号增益分布显示出图 7 和图 8 的形式。由于气体平均速度为中心点最高速度的一半^[3], 所以气体流速越高, 小信号增益的总体水平也就越高, 这与我们的测试结果相符合。

6 结论

我们的研究表明, 射频激励 CO₂ 激光器的小信号增益分布与气体流速有密切关系。对于平板结构的放

电管, 在静止或非常慢速气体流动情况下, 小信号增益分布主要是受气体温度分布的影响, 呈现中间低两边高的特性。气体流速相对较快时, 小信号增益分布取决于气体速度在管内的分布情况。由于此类激光器的气体流动属层流范畴, 放电管中心的小信号增益不断随气体流速的增加而增大, 流速超过某一数值时, 增益呈现出中间高两边低的分布。

参考文献

[1] Parazzoli C. Chien K. Numerical Analysis of a CW RF Pumped CO₂ Waveguide Laser. *IEEE J. Ouan. Elec.*, 1986, QE-22(3): 479

[2] Sharp R. Measurements of transverse gain profiles in RF and DC-excited CO₂ gain cavities. *J. Appl. Phys.*, 1987, 61(11): 5184

[3] Zemansky M, Heat and Thermodynamics Chap. 5. McGraw-Hill Book Company, New York, 1957

[4] Shah R. London A. Laminar Flow Forced Convection in Ducts. Chap. 7. Academic Press, New York, 1978