

文章编号: 1001-3806(2006)04-0409-03

# 直角内圆锥面全反镜折叠腔激光器的输出特性

李宏棋, 程祖海\*

(华中科技大学 激光技术与工程研究院, 武汉 430074)

**摘要:** 为简化高功率激光器谐振腔结构, 提高激光谐振腔的稳定性特别是热稳定性, 增加基模体积, 改善光束质量, 采用直角内圆锥面反射镜作为全反镜, 平行平面镜作为输出镜组成新型激光谐振腔。实验结果表明, 在圆锥全反镜失调角小于  $37.3^\circ$  时, 圆锥折叠腔激光器的单脉冲输出能量下降小于 5%, 且近场输出光斑没有明显变化; 经模式仪分析表明, 圆锥折叠腔激光近场光强分布均匀。圆锥反射镜折叠具有非常强的抗失调能力, 结构简单, 便于安装调整, 特别适合于恶劣环境下的强激光系统应用。

**关键词:** 激光器; 直角内圆锥面全反镜; 折叠腔; 抗失调稳定性

**中图分类号:** TN248.4      **文献标识码:** A

## Output characteristics of right-angle-cone mirror folded cavity laser

LI Hong-qi, CHENG Zu-hai

(Institute of Laser Technology and Engineering HUST, Wuhan 430074, China)

**Abstract** For the purpose of simplifying the cavity structure, enhancing the stability especially on the hot stability, enlarging the basic mode volume, improving the beam quality of the high power lasers, a right angle cone mirror laser cavity with a right angle cone mirror as the totally reflecting mirror and a parallel flat partially reflecting mirror as the output mirror is introduced. The results of the experiments show that when the misalignment angle of the cone mirror turns to  $37.2^\circ$ , the decrease of the single pulse output energy of the plane cone folded cavity laser is less than 5% and the near field beam patterns have little change, the analytical results of the mode instrument show that the near field beam intensity distribution of the plane cone mirror folded cavity laser is uniform. The right angle cone mirror folded cavity has the great advantage in the anti-misalignment stability. With the simple structure, it is easy to install and adjust especially apply to the high power laser system in a bad condition.

**Key words** lasers; right-angle-cone mirror folded cavity; anti-misalignment stability

## 引 言

常用的激光谐振腔主要有平行平面腔、稳定腔、非稳腔和棱镜腔。稳定腔基模体积小, 工作物质利用系数低。平-平腔和非稳腔容易失调, 非稳腔近场输出圆环光束, 远场光能不够集中<sup>[1]</sup>。棱镜腔<sup>[2-5]</sup>热稳定性低, 难以用于高能激光。为简化高功率激光器谐振腔结构, 提高激光谐振腔的稳定性特别是热稳定性, 增加基模体积, 提高激光器工作物质利用系数, 改善光束质量, 作者采用直角内圆锥面反射镜作为全反镜, 平行平面镜作为输出镜组成新型激光谐振腔<sup>[6]</sup>。由于圆锥反射镜是镜面反射且可以水冷, 避免了棱镜光学材料对强激光的吸收热变形, 因此, 水冷圆锥全反镜腔可以用于高能激光器中。本文中研究了直角内圆锥面全反

镜折叠谐振腔脉冲气体流动二氧化碳激光器的输出特性, 并与平-凹腔脉冲气体激光器进行了对比。

## 1 实验装置

直角内圆锥面全反镜反射面为内圆锥面, 锥顶角为直角, 通光口径  $\varnothing 50\text{mm}$ , 谐振腔腔长  $4.8\text{m}$ , 窗口是 GaAs 平面镜, 透过率为 70%, 放电区长  $3.4\text{m}$ , 放电极板间距  $45\text{mm}$ , 放电电压  $28\text{kV}$ 。过圆锥反射镜顶点的平面输出镜的法线为谐振腔光轴。光强分布测量仪器使用北京光电技术研究所生产的阵列式脉冲激光光束光强分布测试仪, 测量光路如图 1 所示, 激光器输出光束照射在漫反射屏上形成近场光强分布图, 红外 CCD 摄像机将图像输入计算机, 显示器显示光斑的活动图像和计算机采集的光斑图像, 计算机进行光斑图像处理, 得到数字化光强分布图。漫反射屏距离输出镜  $3000\text{mm}$ 。失调性质实验时调节输出镜或圆锥镜的偏转角度, 并用 HeNe 激光检测失调偏转角, 由于激光器失调, 其单脉冲输出能量和输出光斑的形状会发生

作者简介: 李宏棋 (1963-), 男, 博士研究生, 讲师, 主要从事光学和激光技术的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: chengzuha@hust.edu.cn

收稿日期: 2005-07-22 收到修改稿日期: 2005-09-06

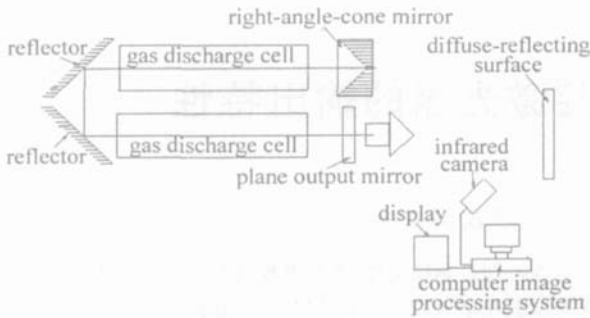


Fig 1 Right angle cone mirror folded cavity gas laser and beam-distribution measurement

改变,用能量计检测单脉冲输出能量,用热敏纸检测激光器近场光斑形状,能量计和热敏纸分别距输出镜800mm和520mm,能量计使用Gentec-EO公司生产的SOLO PE型能量计。激光器使用平凹腔时实验条件相同,测量中使用同一台激光系统,仅在谐振腔中改变全反镜分别构成直角内圆锥面全反镜-平面镜腔和凹面镜-平面镜腔。

## 2 实验结果和分析

### 2.1 输出镜抗失调稳定性实验

当放电电压为28kV时,不失调圆锥折叠腔和平凹折叠腔激光器的单脉冲输出能量分别为58J和56.3J。从实验数据(见图2)可以看出,在失调角为4.8'时,圆锥折叠腔单脉冲输出能量是52.3J,能量下降9.8%;在失调角为4.2'时,平凹折叠腔单脉冲输出能量是43.6J,能量急速下降22%,当失调角较小时,圆锥折叠腔激光器的抗失调能力超过平凹折叠腔很多。

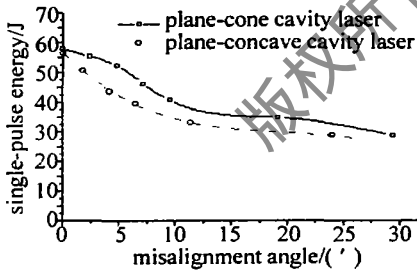


Fig 2 The relation between the output mirror misalignment angle and the single-pulse energy of the plane-concave folded cavity and the plane-cone folded cavity laser

### 2.2 激光器输出镜失调时的近场热敏纸光斑比较

实验中,在距离输出镜520mm处用热敏纸采集了标准和失调情况下激光器分别使用圆锥折叠腔和平凹折叠腔时的输出光斑(见图3),图3a和图3c分别为标准状态时圆锥腔和平凹腔激光器的输出光斑,它们的水平方向最大外径分别为5.13cm和5.27cm,图3b是圆锥折叠腔平面输出镜失调角为4.8'时的输出光斑,最大水平外直径为5.42cm,图3d是平凹折叠腔平面输出镜失调角为4.2'时的输出光斑,最大水平外直径为5.91cm。由于输出镜在水平方向失调,输出光斑

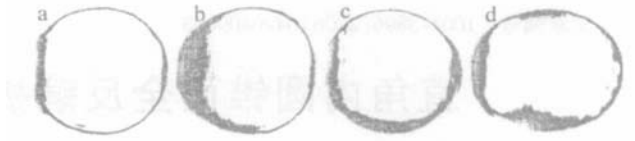


Fig 3 Beam patterns of the plane-cone folded cavity and the plane-concave folded cavity laser

在水平方向出现变形,或者说输出光斑在水平方向扩展,圆锥腔和平凹腔光斑水平直径分别增加5.6%和12.1%。圆锥折叠腔激光器输出镜失调角较大,但相对光斑变形较小,具有较强的抗输出镜失调能力。

### 2.3 全反镜抗失调稳定性实验

从实验数据(见图4)可以看出,在圆锥全反镜失

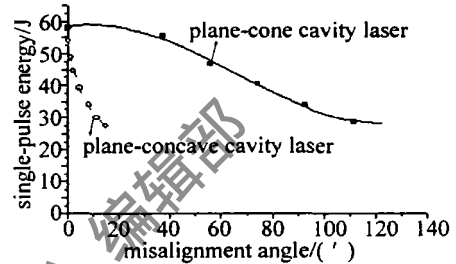
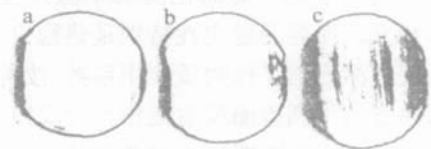


Fig 4 The relation between the totally reflecting mirror misalignment angle and the single-pulse energy of the plane-concave folded cavity and the plane-cone folded cavity laser

调角为37.2'时,圆锥腔激光器单脉冲能量输出55.5J,相对没有失调时的58.2J下降4.6%;当平凹腔激光器凹面镜失调角是1.2'时,激光器单脉冲输出能量是48.7J,相对没有失调时的54.1J下降10%;当凹面镜偏转15'时,平凹折叠腔激光器单脉冲输出能量为27.4J,下降50%。当全反镜失调时,平凹腔激光器输出能量迅速下降,圆锥全反镜腔激光器输出能量下降缓慢,并且在失调角不超过37.2'的范围内基本稳定。圆锥全反镜折叠腔的抗失调能力远远超过平凹折叠腔激光器。

### 2.4 全反镜失调时的近场热敏纸光斑图比较

圆锥全反镜在图4所示失调范围内时圆锥折叠腔激光器输出光斑形状如图5所示,其中,图5a是标准



光斑,其水平直径和垂直直径分别为5.16cm和5.05cm,图5b是失调角为55.8'时的光斑,其水平直径为5.03cm,减小2.3%,垂直直径为5.29cm,增加4.7%;图5c是失调角为111.6'时的光斑,其水平直径为4.83cm,减小6.3%,垂直直径为5.45cm,增加7.9%,圆锥全反镜失调角在一个相当大的范围内变化时,激光器输出近场光斑形状变化很小。当凹面镜失

调时, 激光器输出能量迅速下降, 光束发散。

## 2.5 圆锥折叠腔和平凹折叠腔激光器近场光斑光强分布对比

在不失调情况下的圆锥腔和平凹腔数字光强分布如图 6 所示。通过对比可以发现, 没有失调时圆锥折

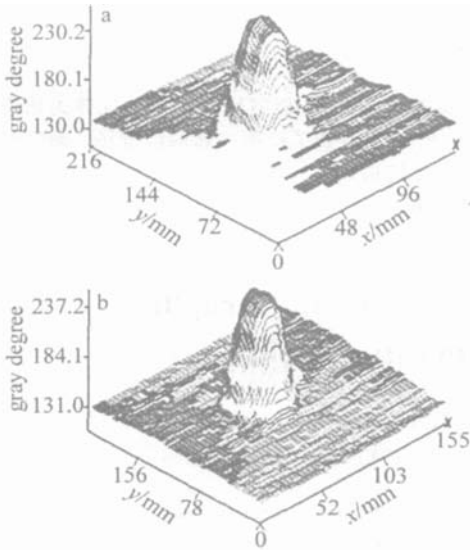


Fig 6 The beam distribution of the plane cone cavity and the plane concave cavity laser

叠腔 (见图 6a) 和平凹折叠腔 (见图 6b) 近场光斑光强分布均匀, 图中垂直轴为图像灰度值, 两水平轴为长度值, 单位是 mm。图 7 为两种激光器输出光束在 520mm 处 (见图 7a 和图 7b) 和 3m 处 (见图 7c 和图

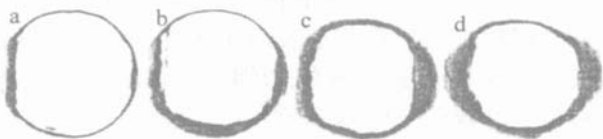


Fig 7 Beam patterns of the plane cone folded cavity and the plane concave cavity laser

7d) 的热敏纸光斑, 其中图 7a 和图 7c 是圆锥腔束斑, 图 7b 和图 7d 是平凹腔束斑。受腔内反射镜影响, 两种激光器输出光束在水平方向均有不规则发散, 其中平凹折叠腔激光器的发散较大 (见图 7d), 或者说平凹折叠腔对腔镜的调整要求高于圆锥折叠腔。

## 3 讨论与结论

实验表明: (1) 直角内圆锥面全反镜折叠谐振腔

具有较高的抗失调稳定性, 在全反镜失调使得平凹折叠腔激光器几乎没有能量输出时, 圆锥折叠腔激光器依然可以正常输出, 单脉冲输出能量没有明显下降, 近场光斑没有明显变化; (2) 圆锥全反镜折叠腔激光器输出平顶光束, 近场光斑光强分布均匀; (3) 圆锥折叠腔激光器单脉冲输出能量和平凹折叠腔接近, 但圆锥折叠腔的基模体积要大得多。

圆锥全反镜折叠谐振腔和直角内圆锥面反射镜的光学特性决定了圆锥全反镜折叠谐振腔激光器的以上输出特性。圆锥反射镜具有空间定向反射特性, 入射光束经直角内圆锥表面两次反射后, 出射光束将以与入射光束平行的方向反向射出圆锥反射镜, 不论入射光线方向如何改变, 出射光线的方向始终与入射光线方向保持一致, 或者说, 圆锥反射镜在空间的任意晃动均不改变输出光束的方向。根据这一性质, 圆锥全反镜折叠谐振腔具有高度抗失调稳定性。圆锥折叠腔内部震荡光线相互平行, 属于平面波光场。圆锥折叠腔具有大的基模体积, 近场光斑光强分布均匀和近似平面波输出。当圆锥全反镜底面与激光器光轴垂直时谐振腔具有最大模体积, 此时, 圆锥腔激光器具有最大能量输出。

## 参 考 文 献

- [1] LÜ B D. Laser optics [M]. 3rd ed, Beijing Higher Education Press 2003 322~327( in Chinese).
- [2] HODGSON N, WEBER H. Optical resonators [M]. London: Springer-Verlag Press 1997 485~494
- [3] WANG JH, CHENG J, WANG JY. Lasers with a peg top cone prism resonator [P]. China Patent ZL99816848.3 2004-08-11( in Chinese).
- [4] CHENG Y, MAO Sh Q, WANG Zh H *et al*. Avoidance adjust solid state laser [J]. Laser Technology, 1999, 23(2): 68~70( in Chinese).
- [5] WANG X B, SUN B, CHENG Y *et al*. Properties of flattened Gaussian beam in directional prism cavity [J]. Laser Technology, 2002 26(2): 117~118( in Chinese).
- [6] LIH Q, CHENG ZH. Right angle cone mirror laser resonators [P]. China Patent ZL200420017131.2 2005-02-23( in Chinese).