

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0218-03

## 旋转晶体窗口的实验研究\*

王寿增 余文峰 程祖海 龚志伟

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

**提要** 根据高功率激光器输出光束光强分布不均匀的特点, 研制成功了旋转晶体窗口的创新结构, 解决了窗口动密封的问题。在 2 kW CO<sub>2</sub> 激光器上进行了联机实验, 利用计算机图象处理技术对静止、旋转情况下的烧灼光斑进行了对比。实验结果表明, 这种结构有利于均化窗口的热应力分布, 可以提高窗口的破坏阈值, 延长窗口的使用寿命。

**关键词** 强激光, 旋转窗口, 动密封, 光斑模式

**中图分类号** TN243 **文献标识码** A

### Experimental Investigation of Rotating Crystal Window on Stable Resonator

WANG Shou-zeng YU Wen-feng CHENG Zu-hai GONG Zhi-wei

(State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** According to the asymmetrical distribution of high-power laser beam, the idea of rotating crystal window is put forward to successfully solve the problem of airproof. Experiment on a 2 kW CO<sub>2</sub> laser system proves that it works well. The result indicates that this structure can make the heat stress distribution of the window to homogenize.

**Key words** high power laser, rotating windows, mode of beam, moving sealing

## 1 引 言

横向快速流动的高功率 CO<sub>2</sub> 激光器, 增益沿气流方向分布的不均匀性使得输出光束在横向上分布不均匀, 图 1 所示为横流 CO<sub>2</sub> 激光器输出光斑的干涉图样。这种不均匀的光束作用在窗口上, 导致热应力分布的不均匀, 在没有达到热平衡之前, 即激光器工作的前几秒内, 很容易造成窗口的炸裂, 限制了激光器功率的进一步提高。同时这种热应力分布的不均匀性还会使窗口的折射率分布不均匀, 导致激光束通过窗口后其波阵面发生畸变, 光束发散角增大, 光轴中心漂移, 严重影响了激光的光束质量和传输特性<sup>[1]</sup>。

采用气动窗口<sup>[2]</sup>可以解决输出光束不均匀带来的不利影响, 但其系统庞大, 实用性较差。将相变致冷技术应用于晶体窗口中, 结构简单, 冷却温度恒定, 可长期反复使用, 是一种非常好的方法<sup>[3]</sup>, 但是

相变致冷窗口仍未从根本上解决输出光束不均匀带来的热应力破坏的不利影响。针对这一问题, 我们提出了旋转晶体窗口的思想。

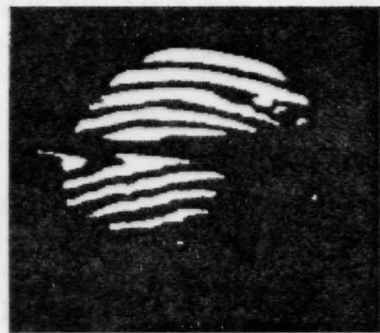


图 1 横流 CO<sub>2</sub> 激光器窗口热变形干涉图案

Fig. 1 Interference pattern of thermal distortion of transversely flow CO<sub>2</sub> laser

## 2 实验装置

我们设计制作了一套旋转晶体窗口的试验装置, 其主要组成部分如图 2 所示。其中旋转晶体窗口中还包括水冷系统, 密封系统, 我们使用的输出镜

\* 国家自然科学基金(69878008)、国家 863 激光技术领域(410-04-08)、教育部博士后点基金资助课题

材料是砷化镓。整个旋转晶体窗口用三顶三拉螺钉固定在激光器上,调激光器时先调三顶螺钉使输出

镜和全反镜平行,然后固定三拉螺钉。

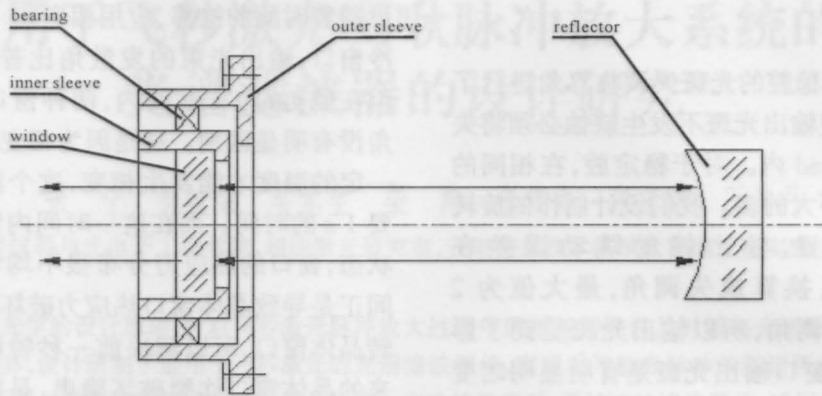


图2 旋转晶体窗口简图

Fig.2 Schematic diagram of rotating crystal windows

### 3 实验结果

为了考察旋转晶体窗口的综合性能,我们进行了密封性能、输出端端面跳动误差和出光试验,试验结果如下。

#### 3.1 密封性能实验

旋转晶体窗口的密封性能很重要,如果密封不好,谐振腔内漏入空气、水,都会影响放电,甚至导致无法出光。我们采用的是O型圈动密封,要想使得密封性能好,则密封圈的压缩量必须要大;而密封圈的压缩量大了以后,旋转窗口需要的力矩就会增大。因此这里有一个最佳压缩量的问题。我们在不通水、通水以及不同的水压下进行了大量的实验,实验结果表明在通3 kg压力冷却水的情况下,将密封圈的压缩量控制在0.15~0.18 mm之间可以保证窗口的密封,而且窗口可以旋转自如。另外,通水时冷却水除了可以带走密封圈与内外套筒摩擦产生的热量,还可以起到润滑的作用。

#### 3.2 跳动误差实验

窗口的跳动直接影响到谐振腔的损耗,必须将其控制在一个较小的范围内。窗口的跳动除受轴承径向跳动影响外,还受到其他零件形状误差、形位误差以及整个装置装配误差的影响。内套筒的外缘面和输出镜定位面的垂直度误差将直接影响到窗口的跳动,是一个很重要的因素。将输出镜的定位面选在出光的一边,不但可以方便拆卸,而且可以利用谐振腔内外的压力差直接将输出镜压到定位面上,保证输出镜与装带轮的外缘面同心。整个装置装配好了以后,检测镜面的跳动,结果调动量在

0.01~0.1 mm之间。

#### 3.3 出光实验

以上实验完成之后我们又将整个装置装到2 kW CO<sub>2</sub>激光器上进行联机实验,成功地获得了激光输出,并利用计算机图象处理技术对不同功率、旋转、不旋转情况下的烧灼光斑进行了对比,得出了烧

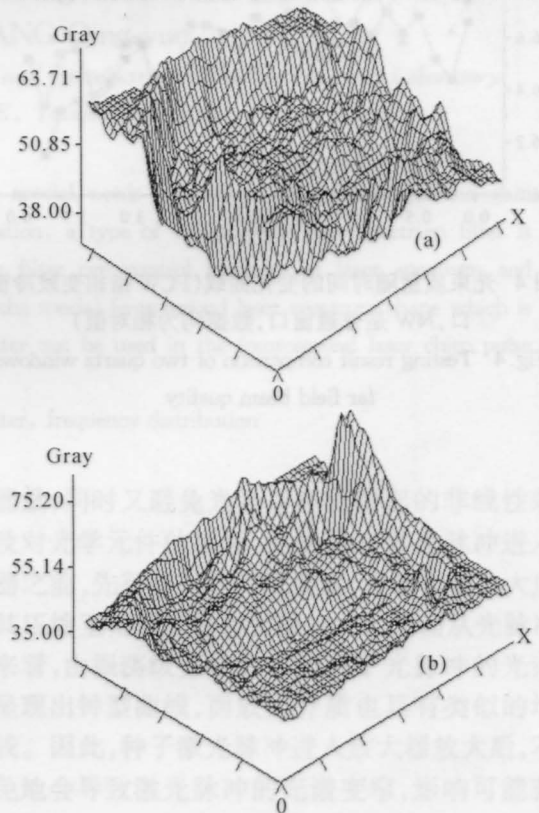


图3 静止(695 W)(a),旋转(425 W)(b)情况下的烧灼面形图

Fig.3 Contrast of cauterant surface figure between motionless (695 W) (a) and rotating 425 W (b)

灼光斑的面形图(图3)。

## 4 分析与讨论

1) 文献[4]对非稳腔的光斑失调临界角进行了研究,结果表明,为使输出光斑不发生缺蚀必须将失调角控制在  $0.19 \text{ mrad}$  内。对于稳定腔,在相同的情况下临界失调角要大的多。我们设计制作的旋转晶体窗口试验装置,输出镜的跳动误差在  $0.01 \sim 0.1 \text{ mm}$  之间,换算成失调角,最大值为  $2 \text{ mrad}$ ,略大于临界失调角,所以输出光斑受到了影响,实际上旋转晶体窗口输出光斑是有明显明暗变化的不稳定光斑。因此要想将旋转晶体窗口应用到稳定腔上,必须将窗口的失调角控制在临界失调角之内,重点解决轴承跳动和装配精度等技术问题。

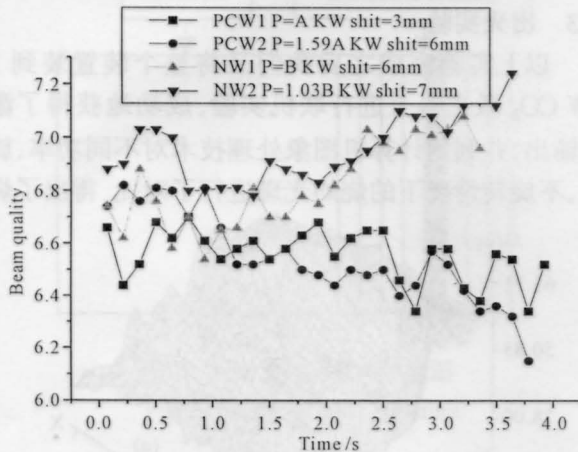


图4 光束质量随时间的变化曲线(PCW指相变致冷窗口,NW是普通窗口,数据均为相对值)

Fig.4 Testing result comparison of two quartz windows far field beam quality

2) 图4为高功率COIL激光器相变制冷窗口与普通窗口光束质量随时间变化的曲线。从图中可以看出随着时间的推移,应用相变致

冷窗口,输出光束的发散角比普通窗口明显减小。但在最初的  $1 \text{ s}$  时间内,两种窗口输出光束的发散角没有明显区别。这是因为相变物质必须先上升到一定的温度才能发生相变,这个温升的过程大约需要  $1 \text{ s}$  的时间。而在这一时间内窗口处于非热平衡状态,窗口的热应力分布很不均匀。这一非平衡时间正是导致晶体窗口热应力破坏的危险期。采用旋转晶体窗口,可以解决前一秒钟内热应力不均匀带来的晶体窗口炸裂破坏隐患,是提高晶体窗口阈值破坏功率和使用寿命的一项重大技术突破。

3) 图2、3的实验结果显示,试验用旋转晶体窗口对稳定腔的输出模式和功率有较明显的影响,其主要原因是试验用旋转晶体窗口结构和轴承精度比较粗糙,只要精心设计和安装调试,特别是选择高等级航空轴承,这一问题可以得到减轻或基本解决。但对于用刮刀镜输出的非稳腔而言,由于旋转窗口不参加振荡,所以窗口的跳动不会影响激光的模式。采用旋转晶体窗口将是一种均化窗口热应力,提高窗口破坏阈值,延长窗口使用寿命的创新方法。

## 参 考 文 献

- 1 C. A. Klein. Optical distortion of high power laser windows. *Opt. Eng.*, 1990, 29:343~350
- 2 朱松林,程祖海,库耕等. 引射式气动窗口的密封性能及光束质量. *中国激光*, 1997, 24(2):113~117
- 3 马毅勇. 相变致冷镜的研究. 硕士学位论文
- 4 程祖海. 腔镜镜面变形和角向偏折对共焦非稳腔输出特性的影响. *中国激光*, 1986, 13(8):470~474