

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0236-03

采用相变致冷技术的激光反射镜结构

陆宇灵 王翔 程祖海

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

提要 报道了一种采用相变致冷技术的激光反射镜新结构。这种结构的特点在于, 正支望远镜式虚共焦非稳腔凸镜的内部, 采用了螺旋状的冷却沟道, 填充以用于保持反射镜温度恒定的固-液相变物质。其结构简单, 可以和晶体输出窗口制成一体, 去掉了传统虚共焦非稳腔中用于输出耦合的 45° 刮刀镜, 获得高光束质量的激光同轴输出。

关键词 反射镜, 相变致冷, 热变形, 同轴输出

中图分类号 TN815 **文献标识码** A

Structure of Laser Reflecting Mirror Cooled by Phase-change

LU Yu-ling WANG Xiang CHENG Zu-hai

(National Leading Lab for Laser Technology, Hust, Wuhan 430074)

Abstract This paper reports an innovative structure of laser reflecting mirror cooled by phase-change. Cooling channels are built up in reflecting mirror of positive-branch virtually-confocal unstable resonator, stuffed solid-liquid phase-change materials for maintaining mirror's temperature at a comparatively constant point. This mirror, whose structure is simplistic, could be united with crystal output window, neglecting 45° plate scraper for output coupling, and then high quality output beam is available.

Key words reflecting mirror, phase-change cooled, thermal deformation, coaxial output

1 引言

长期以来, 正支望远镜虚共焦非稳腔由于具有模体积大、能量分布均匀、非涅耳数高、横模鉴别能力强和近乎理想的平面波输出等优点, 在高功率激光器上得到了广泛的应用。

高功率运转下的激光器, 需要良好的冷却措施对反射镜加以冷却, 以避免因镜面热吸收变形造成光束质量下降并限制输出功率进一步提高的问题^[1-3], 严重时甚至产生阈值破坏。传统的冷却方式有很多种, 较为有效也最为常见的是流体冷却方式^[10], 常用的冷却剂是水。但是水冷装置比较复杂, 且流道会暴露在通光口径之中, 容易造成激光器的损毁。传统的解决方法是在凸反射镜的前方光路上以 45° 斜角插入一片环状的刮刀镜, 获得与光轴正交的侧向输出。然而激光对于刮刀镜是 45° 的斜入射而非正入射, 因此膜层反射率要高于正入射的情况。鉴于当前的镀膜技术, 进一步提高膜层的反射率已经显得非常困难。因此必须要从冷却方式上有所创新, 去掉热变形极为严重的 45° 刮刀镜, 简

化激光器的结构, 提高反射镜本身的散热能力, 才有可能最终解决限制进一步提高激光器输出功率的技术难题。

本课题组针对军用高功率强激光连续工作时间短(小于 10 s), 发射间隔长(大于 10 min)和环形光束输出的工作特点, 将目前在航空航天工业中已成熟的相变贮能致冷技术运用于正支虚共焦非稳腔凸反射镜和晶体窗口中, 目的在于解决腔镜热变形和晶体窗口炸裂或热畸变影响光束质量的问题。

图 1 是传统虚共焦非稳腔与同轴输出相变致冷非稳腔比较的简单示意图。

2 变致冷镜的结构和工作原理

如图 1(b)所示, 相变致冷镜与晶体输出窗口能够紧密结合在一起, 去掉了 45° 刮刀镜, 从而也去掉了产生热吸收变形的重要因素, 同时又获得了理想的同轴输出光束。

相变致冷镜的内部结构如图 2 所示。

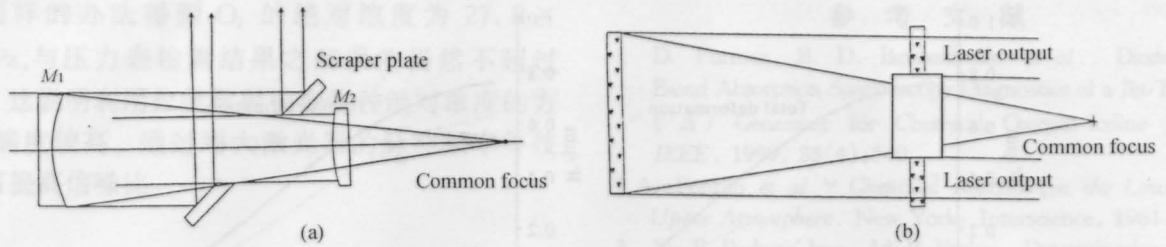


图1 传统虚共焦非稳腔(a)与同轴输出相变致冷非稳腔(b)的比较. (a) 传统虚共焦非稳腔; (b) 同轴输出相变致冷非稳腔
 Fig.1 The comparison of conventional virtually-confocal unstable resonator (a) vs. phase-change cooled virtually-confocal unstable resonator with coaxial output (b). (a) Conventional virtually-confocal unstable resonator; (b) Phase-change cooled virtually-confocal unstable resonator with coaxial output

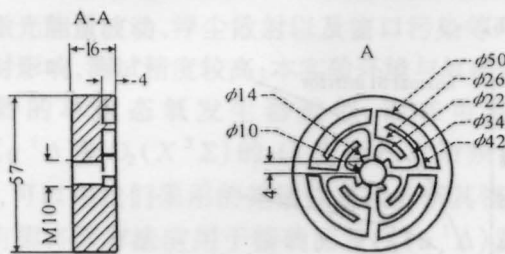


图2 相变致冷镜的结构图
 Fig.2 The structure of phase-change cooled reflecting mirror

在相变致冷镜的内部冷却沟道中填充相变致冷物质,并加以封装。当激光持续照射到反射镜反射面上时,有一部分激光能量被镜子吸收,于是镜子温度开始上升。由于接触传热,相变物质的温度也随着上升。当温度达到一定时,相变物质开始熔化,进一步吸收镜子的热量,在相变过程没有结束之前,相变物质的温度不再上升,从而使镜子温度恒定于一个很小的范围。当出光结束后,镜子表面温度开始下降,相变物质通过镜子散发热量并开始凝固,以备下一个周期循环使用。

本课题组对激光照射的光学元件热变形机理进行了大量研究^[2,4,6-9],建立了激光照射下激光反射镜热变形的物理模型。对圆板薄镜片和如图2的相变致冷硅镜片,在取镜片直径 $D = 60$ mm,厚 $h = 5$ mm,激光净吸收功率 100 W,光斑大于 $d = 40$ mm,时间步长 0.01 s 的情况下,采用有限元方法,选取 30 乘 20 网格点数,数值求解了它们的温度场分布和热变形分布,如图3,图4所示,其中 ω 是挠变形。

由图3,图4可见,采用相变致冷技术后,温度场分布有了很大变化,等温线向轴线弯曲。由于硅镜的热导率高,厚度小,冷却效果比较显著,局部最高温度由 44°减少到 33°。图3表明,虽然此时由热应力引起的变形很小,但由于轴向温度梯度大,挠变形仍然很大,热变形的改善不如温度场改善明显。

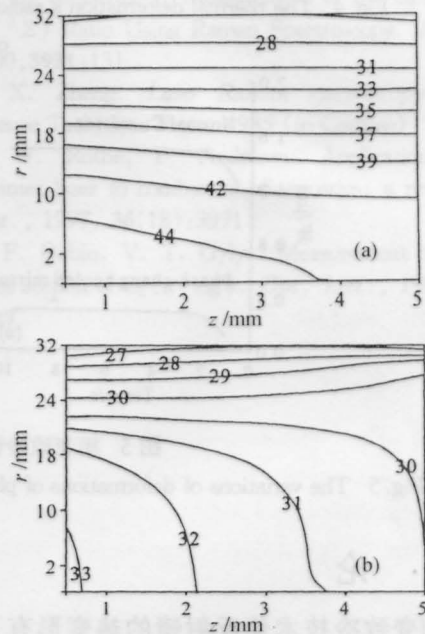


图3 普通硅镜(a)与相变致冷硅镜(b)温度场比较
 Fig.3 The comparison of thermal fields of normal silicon mirror(a)vs. phase-change cooled silicon mirror(b)

3 实验研究

我们使用泰曼-格林干涉仪测量和比较了相同条件下相变致冷反射镜和普通结构反射镜的热变形。入射光斑接近高斯分布,直径 25 mm,激光入射功率 1400 W,铜镜表面反射率 0.975,直径 68 mm,厚度 3 mm,硅镜净吸收功率 45 W,直径厚度与铜镜相同。所用的相变材料是镓-铟合金,得到的结果如图5所示。

从图5可见,铜镜的热弛豫时间比硅镜短,热变形在 2 s 内就接近最大值。相变致冷铜镜的最大热变形仅约为 0.27 μ m,比普通铜镜小得多。同样条件下,由于硅镜热导率低于铜,照射开始时相变致冷的改善效果不明显,但最大热变形仍有明显减小。

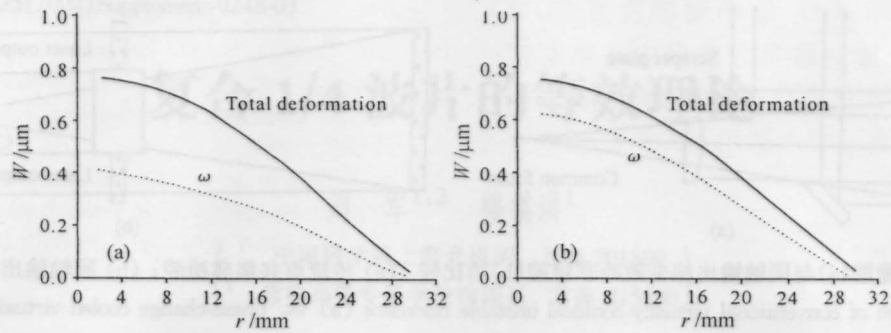


图4 普通硅镜(a)与相变致冷硅镜(b)热变形径向分布的比较

Fig. 4 The thermal deformation's radical distributions of normal silicon mirror (a) vs. phase-change cooled silicon mirror(b)

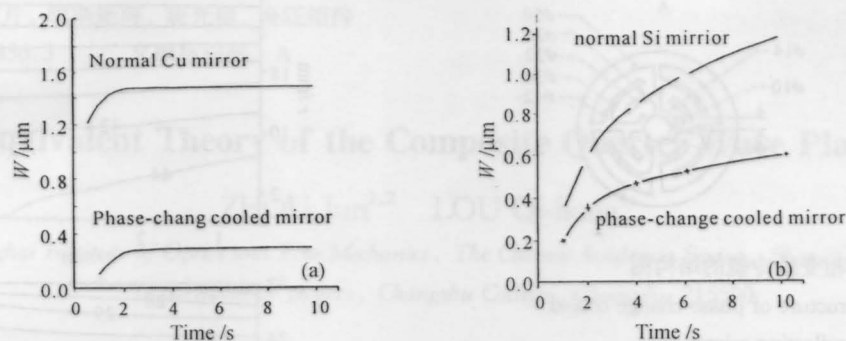


图5 相变致冷铜镜(a)和硅镜(b)变形随时间的变化

Fig. 5 The variations of deformations of phase-change copper mirror(a) and phase-change silicon (b) mirror with respect to time

4 结 论

1) 相变致冷技术使反射镜的热变形有了较大的改善。由于相变过程发生时相变材料的温度基本保持不变,而与之紧密接触的反射镜后表面温度,也得以维持恒定,因此整个反射镜的温度也基本上恒定在一个比较小的范围之内,反射镜的热变形有了明显的改善。

2) 用相变致冷技术冷却反射镜的方式与流体冷却方式相比,具有温度恒定,无水压变形,结构简单紧凑的优点,适用于连续工作时间较短,热流量较大的场合,具有很强的军事应用前景。

3) 相变致冷反射镜无须其他的辅助冷却设备,因此不存在冷却设备暴露在光路上的问题,因而可以去掉热变形最严重的45°刮刀镜,可以有效地改善光束质量。

4) 相变致冷反射镜可以与输出窗口紧密结合为一体,构成如图1所示的同轴输出相变致冷虚共焦非稳腔,简化了激光器的设计,提高其可靠性,实现高光束质量的激光同轴输出。

参 考 文 献

- 1 J. R. Palma. Continuous wave laser damage on optical components. *Opt. Engng.*, 1983, **22**(4):435~446
- 2 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):471~478
- 3 A. E. Siegman. Analysis of laser beam quality degradation caused by quadratic phase aberration. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(30):5893~6901
- 4 夏金安,张耀宁,程祖海等. 强激光系统中铜镜微变形实验研究. *中国激光*, 1996, **A23**(7):603~606
- 5 王光学等. CCD测量小位移的研究. *光电工程*, 1994, **21**(4):37~41
- 6 夏金安等. 强激光照射下硅镜形变的数值模拟和分析. *中国激光*, 1995, **4**(5):423~430
- 7 黄涛等. 强激光全反腔镜变形模型及计算. *强激光与粒子束*, 1995, **17**(3):375~361
- 8 库耕等. 腔镜变形条件下平凹非稳腔激光模式演变的数值研究. *强激光与粒子束*, 1997, **9**(3):447~450
- 9 马毅勇,程祖海,张耀宁. 高功率激光窗口热变形分析的有限元方法. *强激光与粒子束*, 1999, **11**(1):6~10
- 10 I. Miyamoto. Analysis of thermally induced optical distortion in lens surring focusing high power CO laser beam. *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Engng.*, 1990, **1278**:112~121