

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0512-03

超薄水冷多层镜在万瓦激光打靶实验中的应用*

余文峰 程祖海 张耀宁 龚志伟 周小火

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

李清源 吴军 余君才 王庆盛 李晓民

(中国航天科技集团第 702 所, 北京 100076)

摘要 在研究飞行器对激光器的防破坏能力要求试验用激光器的功率及模式在实验过程中保持稳定, 尤其是输出光斑功率的均匀性。采用超薄水冷多层镜以有效减小镜面变形, 改善光束质量和输出光斑均匀性。试验用超薄水冷多层镜物理直径为 $\phi 68$ mm, 镜面厚度小于 1 mm, 在相同条件下热吸收变形仅为普通铜镜的 1/40。

关键词 光束质量, 激光对抗, 超薄水冷多层镜

中图分类号 TN243 **文献标识码** A

Multi-layer Mirror Used in 10 kW CW CO₂ Laser Destroying Experiment

YU Wen-feng CHENG Zu-hai ZHANG Yao-ning GONG Zhi-wei ZHOU Xiao-huo

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

LI Qing-yuan WU Jun YU Jun-cai WANG Qing-sheng LI Xiao-min

(Beijing Institute of Structure and Environment Engineering, Beijing 100076)

Abstract In the laser destroying experiment, the mode of laser should be constant, especially of output beam power. The multi-layer mirror is used in order to keep the thermal deformation small. Under the same condition, the deformation of multi-layer is only 1/40 of normal copper mirror's.

Key words beam quality, laser destroying, multi-layer mirror

1 引言

作为定向能武器之一的激光具有单色性和单向性, 最大特点是定向增益高, 其能量可集中在很小的立体角内。另外, 激光能在大气中传输, 而且反应时间非常短。

美国激光武器系统的攻击目标选择处于助推上升阶段的弹道导弹的贮箱^[1]。用连续波激光对处于助推上升段的弹道导弹进行拦截要比再入段拦截有许多优点。助推段上升速度慢, 更容易被击中; 助推器贮箱壳体与再入体(如多弹头)相比, 数量少; 贮箱壳体比再入体壳体脆弱, 更容易被破坏或击毁, 一旦在助推段将贮箱击毁, 弹道导弹携带的有效载荷(如

核弹头、生物或化学弹头)会坠落本土, 造成灾难性后果。因此, 对处于助推上升段的弹道导弹的助推器贮箱进行攻击是十分合算的。

到目前为止, CW 激光对板材的破坏机理有熔融穿孔、热或温度升高引起的材料机械性能降低及温度分布不均匀引起的热应力等, 应开展贮箱缩比结构模型和 1:1 贮箱结构的静态激光打靶演示试验, 在实验过程中要求试验用激光器的功率及模式保持稳定, 尤其是输出光斑功率的均匀性。

中国航天科技集团第 702 所于 2000 年 6 月在我室开展了万瓦 CW CO₂ 激光打靶实验。本实验室万瓦横流 CO₂ 激光器腔镜通常采用水冷铜镜结构, 在几秒有效作用时间内难以达到热平衡状态, 因而镜面热变形大, 输出光斑功率密度分布不均匀。为满足飞行器激光破坏试验的基本要求, 在实验过程中, 采用了超薄水冷多层镜以有效减小镜面变形,

* 国家 863 激光技术领域(410-04-08)、国家自然科学基金(69878008)、教育部博士后基金和激光实验室开放基金资助课题。

改善光束质量和输出光斑均匀性。

2 超薄水冷多层镜的工作原理^[2]

高功率激光器中的腔镜和反射镜的面形在激光器运行中,将产生热变形,影响了工作的稳定性。一般认为要保证输出激光束的光束质量,需要将腔镜的变形控制在工作波长的1/10以下。通常的水冷铜镜满足不了这个要求。本文研究的超薄多层镜提供了一条解决镜面变形的有效途径。

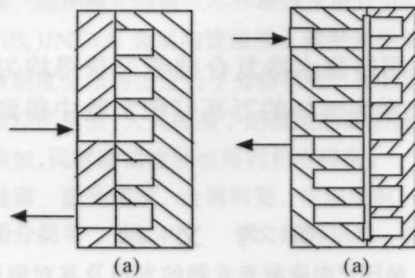


图1 普通铜镜与超薄多层镜结构原理图。(a)普通铜镜:一进一出单一水流通道;槽宽8~10 mm;镜面厚度5~8 mm;(b)超薄多层镜:中间设置缓冲隔板,板厚与镜面相近;镜面圆周分布多孔进水;槽宽3~4 mm;镜面厚度0.5~1 mm

Fig.1 The structure of normal copper mirror and super-thin multi-layer mirror. Normal copper mirror: (a) one input and one output water access; tank width: 8~10 mm; mirror thickness: 5~8 mm; (b) insulation panel is installed in middle and the thickness is similar to mirror; tank width: 3~3 mm; mirror thickness: 0.5~1 mm

由圆形薄板的挠应变理论可知,通常的水冷铜镜的压力变形与镜面的刚度成反比关系。热变形由镜面吸收激光后热应力引起的变形和温升产生的轴向不均匀膨胀组成。由于镜面前后及中心边缘的温度和镜面的厚度成正比,镜面愈厚,热变形愈严重。因此,尽可能采用薄的镜面和大刚度的镜子。然而,随着镜面厚度的降低,反射镜的通水冷却压力变形加剧。超薄多层镜由薄的镜面、通水的多层特殊结构的热交换层、镜座三部分焊成一体,提高了镜面刚度。

采用铜镜基体镀镍的光学抛光方法,可以降低铜镜表面粗糙度,使之达到 Ra 0.02 μm ,也满足除紫外激光器之外其他激光器的使用。

3 超薄水冷多层镜水压及热吸收变形试验

实验用超薄多层镜的主要参数为:镜面直径

68 mm,镜面厚度1 mm,镜座厚度15 mm,径厚比达68:1。在持续吸收激光86.9 W,冷却水压0.13 MPa时,总变形量0.10 μm ,约为同等条件下普通水冷铜镜总变形量的1/40。相比之下,硅镜吸收126 W激光,辐照时间仅4 s,变形量就达0.41 μm ,可见超薄多层镜在高功率激光作用下变形已小于硅镜。

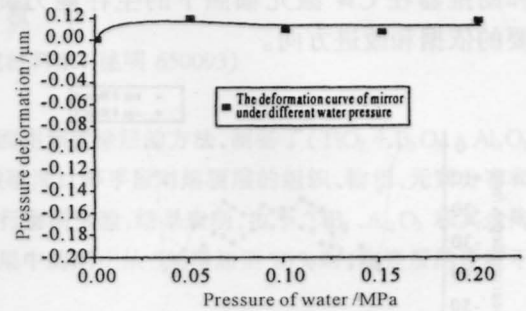


图2 复合硅镜水压变形实验曲线图

Fig.2 The deformation curve of super-thin multi-layer mirror under different water pressure

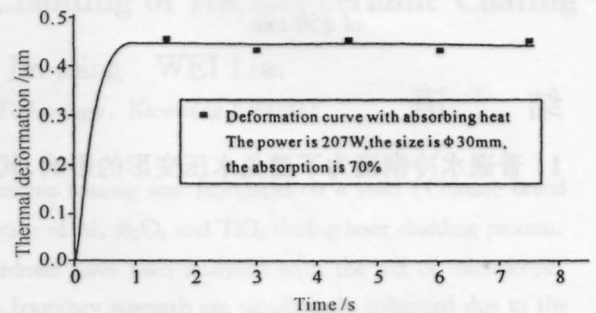


图3 复合硅镜热吸收变形实验曲线

Fig.3 The deformation curve of super-thin multi-layer mirror with different absorbing heat

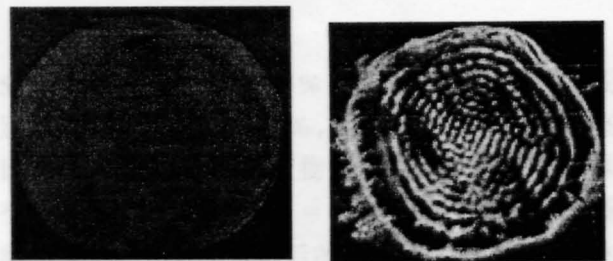


图4 万瓦CO₂激光器超薄水冷复合硅镜与普通铜镜输出光斑的比较

Fig.4 The comparison of output profile to normal mirror and super-thin multi-layer mirror with output power of 10 kW

4 超薄水冷多层镜在万瓦激光打靶中的应用

试验共进行了各种平板试件10炮、充压圆筒模

拟试件 8 炮。由于采用了“超薄激光多层不变形镜”专利技术,实验过程中确保了激光功率和输出模式的稳定性。特别是输出光斑功率密度均匀性比普通水冷镜有本质上的改进和提高,使实验所取得的数据和曲线准确可靠,特别是充压圆筒在 CW 激光作用下破坏过程的应力、温度分布规律曲线,为飞行器贮箱和助推器在 CW 激光辐照下的生存能力提供了重要的依据和改进方向。

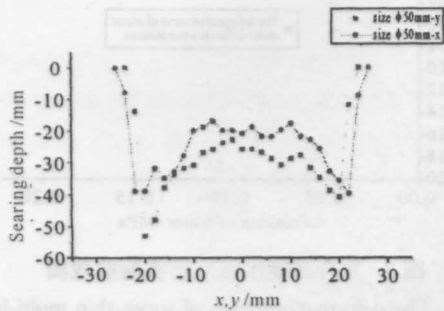


图 5 烧灼光斑 φ50 mm 时烧灼深度

Fig. 5 The searing depth of output light with size of φ50 mm

5 结 语

1) 普通水冷铜镜为了避免水压变形的影响,其

径厚比一般选取 6:1~8:1,因此热变形较严重。即使对于 10.6 μm 的 CO₂ 的激光波长,也大大超过了 (1/10)λ 的约定值,因而影响激光器的输出模式和光斑均匀性。

2) 超薄多层复合硅镜的特殊水冷结构,解决了压力变形和热变形对径厚比要求的矛盾。径厚比达 68:1 的超薄多层镜,在通水压力 0.13 MPa,净吸收激光功率 86.9 W 的条件下,总变形量仅为 0.1 μm,约为同等条件下普通水冷铜镜的 1/40,硅镜的 1/3,在高功率、高光束质量的激光系统中具有良好的应用前景。

3) 采用超薄水冷复合硅镜可获得均匀的输出光斑,在抗激光破坏的万瓦打靶实验中得到了很好的应用。

参 考 文 献

- 1 李清源. 美国定向能激光武器的发展及其对弹道导弹的威胁. 导弹与航天运载技术. 2000, (2):44~53
- 2 程祖海,张耀宁,杜泽明等. 回流式水冷超薄多层镜的研究. 强激光与粒子束, 1997, 9(3):418~422



中国科技期刊网 (http://www.cnki.net) 收录