

用于高功率 CO₂ 激光器反射镜的研究*

李晓平 周凤晴 卢宏 王金华 陈清明

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074)

李翱

(华中理工大学化学系, 武汉, 430074)

摘要: 本文讨论了一种用于高功率 CO₂ 激光器反射镜的设计、制备、测试及冷却, 比较了反射镜基底材料的优劣。应用表明: 这种反射镜远优于铜基底镀金的反射镜。

关键词: 高功率 CO₂ 激光器 反射镜 薄膜 冷却

A study on the reflector for high power CO₂ laser

*Li Xiaoping, Zhou Fengqing, Lu Hong,
Wang Jinhua, Chen Qingming*

(National Laboratory of Laser Technology, HUST)

Li Ao

(Department of Chemistry, HUST)

Abstract: The method of design, measuring, preparation and cooling techniques, which were used for the high power CO₂ reflector, have been discussed. The influence of the different substrate materials on the reflector has been compared. The result of applications demonstrated that the reflectance of the reflector is higher, the hardness of the coating film is larger and the heat deformation is smaller than those of the reflectors which adopt copper as substrates and are coated by gold film. In addition, the dirty of this kind reflector can be cleaned by the organic solvent.

Key: high-power CO₂ laser reflector coating cooling

一、引言

反射镜对高功率 CO₂ 激光器而言, 是非常重要的光学元件。反射镜的性能, 如: 反射率高

* 湖北省自然科学基金、激光技术国家重点实验室开放项目资助。

低、形变的大小、传热的快慢、能否较长时间保持其光学特性等,是影响激光器光束质量、输出功率的重要因素。若反射率不够高,用作多次折叠光腔的反射元件时,折叠次数多,衰减就越大,增益达不到阈值,激光器不能出光;折叠次数少,模式达不到要求;作为普通光腔内外的反射元件时,也有光功率损耗大的问题。

美国、日本及西方发达国家,高功率 CO₂ 激光器反射镜采用硅(Si)基底 + 金属 + 介质膜的结构,而国内的绝大多数 CO₂ 激光器还在采用铜(Cu)基底镀金的反射镜。前者的硅基底与后者的铜基底比较,激光器工作时反射镜的形变小(包括热形变与腔内外气压差引起的形变,以下提及形变如不特别指出,均含这两种形变),加之反射率达 99.5% 以上,而新镀金膜的反射率仅为 98%,使用一段时间后还要降低,且膜软污染后不能被清洗,所以,同一台激光器,仅换用不同的反射镜,在同样条件下,输出光功率和光束质量是明显不同的。前者远优于后者。好的光束质量,对激光切割、焊接是不可缺少的条件^[1,2]。

本文叙述了一种硅基底 + 金属 + 介质膜结构的反射镜,分析了硅基底与铜基底的导热和形变情况,指出了在激光器上应用时应采用的冷却方法,设计了膜层与制备工艺。此种反射镜的反射率、膜层的强度、热稳定性优于铜基底的镀金镜,实验表明:装在 2kW 至 10kW 的激光器上工作,激光器输出光的质量、功率,在同样条件下,比用铜基底的镀金镜有较大提高。

二、基底的选择与冷却

基底的优劣,一般应从材料的导热、热形变等因素来考虑,也就是说,应选择导热快、热形变小,加工容易的材料。制造高功率 CO₂ 激光器反射镜的基底有铜、钼、硅、锆。下面仅就铜、硅基底的优劣做一比较^[3],见附表。

纯铜具有高的导热性,吸收的激光能量容易导出,并因其廉价而得到广泛的应用。但是,纯铜的热膨胀系数大,经验告诉我们:对高功率 CO₂ 激光器反射镜来说,由于形变(热形变与腔内外气压差引起的形变)大,光束质量的提高是在大大牺牲输出光功率

为前提的;另外,纯铜很软,不易进行光学抛光。如用研磨抛光法制造反射镜,常在粗磨后的铜镜上镀镍(或铬)层,再在镍层上精细抛光以求得到所要求的精度和光洁度,然后在镍层上镀金。这是目前国内制造铜镜的常用方法。

硅用作高功率 CO₂ 激光器反射镜的基材是因为它的热膨胀系数很小(只有铜的 15%)。因而硅的热稳定性远比铜好,镜面不易受热畸变。这对改善光束质量,提高输出光功率是非常重要的。另外,硅的硬度很好,便于光学抛光。综合考虑,用硅作基底优于铜基底。

Table The comparison of different reflector substrate materials

performance	material	
	copper	silicon
thermal conductivity (W·cm ⁻¹ K ⁻¹)	3.94	1.4
hardness(kg/mm ²)	160	1150
coefficient of expansion (K ⁻¹) × 10 ⁶	16.5	2.5

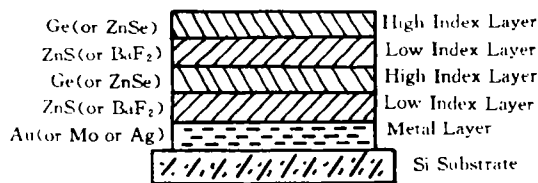


Fig. 1 Schematic diagram of silicon mirror

高功率 CO₂ 激光器用反射镜不管选用那一种材料,都需要进行冷却的,否则激光器难以

正常工作。硅不容易被机械加工,不能像在钢材上那样开冷却水道和加工安装螺孔,因此,应采用以下方法来解决,2kW以上的光束,应采用贴水冷套来解决,具体见图1。对于2kW以下的光束,可采用镜片与金属间加导热胶的办法来解决。

三、膜层设计、制备、测试

1. 膜层设计

本文的计算公式与符号约定均参见文献[4]。叙述的反射镜,是在光学抛光的(光圈数 $N \leq 1$, 不平整度 $\Delta N \leq 0.1$, 光洁度 = I)硅表面镀以如图2所示结构的高反射膜,使光在 $10.6\mu\text{m}$ 处的反射率达到 99.5% 以上。金属层可采用金、银、钼等材料,介质层可采用的材料有:硒化锌与氟化钡,锗与硫化锌。硒化锌或锗是高折射率材料,其折射率 n 分别为 2.4, 4.0, 硫化锌或氟化钡是低折射率材料,其折射率 n 分别为 2.2, 1.4。

金属的复折射率 $n - ik$, 在空气中垂直入射时,其反射率为:

$$R = \frac{1 - [2n/(1 + n^2 + k^2)]}{1 + [2n/(1 + n^2 + k^2)]}$$

计算和实验表明:金属膜镀得太厚时(大块板)对 $10.6\mu\text{m}$ 也达不到 99%, 如:金膜厚度 400\AA 时反射率就超过了 98%。因此,太厚的金膜不是必要的,特别是金这样的贵金属。

如果在金属膜上镀以折射率为 n_1 和 n_2 的四层 $\lambda_0/4$ 厚度的介质膜,并且以 n_2 紧贴金属,那末垂直入射时,波长 λ 的导纳为:

$$Y = \left(\frac{n_1}{n_2} \right) (n - ik)$$

其反射率为:

$$R = \left(\frac{1 - Y}{1 + Y} \right) \left(\frac{1 - Y}{1 + Y} \right)^*$$

对于硒化锌与氟化钡,锗与硫化锌,均满足 $(n_1/n_2) > 1$ 的条件。

计算表明:结构为硅基底 + 金属 + 介质的反射镜,即结构为 Si/金属/BaF₂/ZnSe/BaF₂/ZnSe/空气或 Si/金属/ZnS/Ge/ZnS/Ge/空气,其中金属为金或银或钼,反射率均大于 99.5%。

2. 膜层制备

膜层制备是在国产 DMDE-450 镀膜机上进行的,金、银采用电子枪蒸发,钼采用自制的直流磁控溅射装置制备;膜厚的控制采用光学与石英晶振结合的方法进行控制,金属层的控制直接用石英晶振仪监控,对于介质层,事先用光学高级次法对进行石英晶振仪校正^[5],制备反射镜时再按校正好的值镀制。

3. 膜层测试

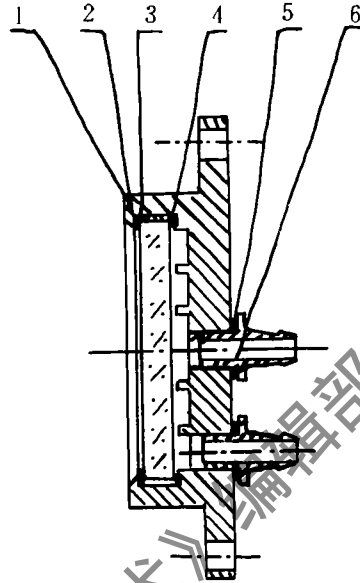


Fig. 2 - Schematic diagram of cooling for silicon mirror

1 - mirror mount 2 - wear washer 3 - silicon mirror 4 - seal of rubber 5 - waterpipe of cooling 6 - seal of rubber

膜层的测试分光学性能和机械强度两部分。

制备的硅基底 + 金 + 介质(ZnS/Ge/ZnS/Ge)的反射镜,我们在日本日立 260-50 型分光光度仪上比较了金膜和此种膜的反射率,在 10.6 μm 处,该仪器的附件(银膜)反射率定标为 100%,测得金膜反射率为 99.4%,此种膜为 103.5%,比银还好。

另外,用 SMC-1 型膜层实验机对上述反射镜与镀金铜镜进行强度比较,以正压力 200g,转速 500rpm 进行测试,金膜在 20 转后就有肉眼可看到的划痕,表面被灰尘或油迹污染后,不能用棉球或沙布蘸有机溶剂清除,而硅镜上的膜则 600 转后,肉眼仍看不出任何变化,用放大镜观察,可发现极细微的划痕;直到 6000 转,仍未发现明显被破坏的痕迹,表面被灰尘或油迹污染后,完全可用棉球或沙布蘸丙酮擦去,对镜面无损,这是这种反射镜的优点之一。

四、应用与结果

制备的硅基底 + 金 + 介质(ZnS/Ge/ZnS/Ge)的反射镜的优点是:反射率高,形变小,膜层的机械强度大,表面被灰尘或油迹污染后,完全可用棉球或沙布蘸丙酮擦去,对镜面无损。我们将它装在普通 2kW 的 CO₂ 激光器上,激光器仅将一片镀金铜镜换下,其它条件不变,出光的最大功率由原来的 2.2kW 升至 2.8kW,光束质量明显改善;此外,我们已将此种反射镜推广全国数十家单位,也获得较好的效益。

参 考 文 献

- 1 Olsen F O. Cutting with polarized laser beam. 1st Ed. Lyngby/Denmark: DVS, 1980:1997~2000
- 2 丘军林. 激光技术, 1994, 18(2):86~91
- 3 李力均. 现代激光加工及其装备. 北京:北京理工大学出版社, 1993:44
- 4 Macleod H A. Thin film optical filter. 2nd Ed. New York:1986:18~30
- 5 陈清明,周凤晴,李晓平 *et al.* 激光技术, 1992;16(4):193~196

作者简介:李晓平,男,1962年4月出生。工程师。现从事光学薄膜与激光技术的研究工作。

收稿日期:1994-06-12

·产品简讯·

Nd:YAG 激光切割系统

美国加利福尼亚州 New Wave Research 公司生产的 LCS-III 型 Nd:YAG 激光切割系统输出 1064nm, 532nm 和 355nm 三种波长。用于设计检验,故障分析,液晶显示器修理,以及其它半导体应用。红外光用来除去金属线,但不会破坏硅基片,绿光用来切割金属和清除氧化物,紫外光用来清除聚酰亚胺而不影响下面的材料。使用 50 \times 物镜,系统可进行断面为 50 μm \times 50 μm 的均匀和可重复的切割。

张贤义,刘建卿 供稿