

高功率 CO₂ 激光器的增透膜

张宝仁 吴礼明 刘贵萍

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文介绍了 GaAs 表面的 ZnSe-BaF₂、ZnS-BaF₂ 和 As₂S₃-BaF₂ 等优质增透膜。它们具有承受 1000 瓦/厘米² 以上连续激光作用和有近 98% 的激光透过的特点。解决了现有 CO₂ 激光连续器件的窗口、透镜等表面膜层破坏问题,同时也相应提高了器件的输出功率,为 CO₂ 激光器的应用和发展创造了条件。

Anti-reflective coatings for high power CO₂ laser systems

Zhang Baoren Wu Liming Liu Guiping

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: In this paper high-quality anti-reflective coatings of ZnSe-BaF₂, ZnS-BaF₂ and As₂S₃-BaF₂ on Gallium Arsenide (GaAs) surface are described. They are characterized by an ability to withstand CW CO₂ laser power up to 1000W/cm² and a transmissivity of approximately 98% at CO₂ laser wavelength. The damage problem of the thin films on the surface of windows, lenses etc. for a CW CO₂ laser device has been solved and the output power of the device enhanced, thus creating condition for application and development of CO₂ laser systems.

目前,国内高功率 CO₂ 激光器的窗口和透镜是采用高阻砷化镓。由于 GaAs 单面反射为 26.6%,所以必须在 GaAs 两面镀增透膜。在所有的增透膜中,最简单的是单层增透膜。但是受基体和镀膜材料折射率的限制,在红外波段里这种限制更为突出。一般来说,单层增透膜达到的增透效果是有限的。考虑到好的增透效果和简单的工艺条件,我们选择了 $\frac{\lambda}{4}$ 系两层增透膜。

选择材料时,要注意到以下问题:

1. 膜层和基片的热膨胀系数相差太大,或者膜层本身内应力太大,在膜层受热的情况下,容易导致膜层龟裂、脱落。

2. 膜层或基片本身光吸收大,使样品温度过高,则引起膜层或基片烧坏。

3. 膜层或基片本身存在局部缺陷,会形成吸收中心,使光吸收迅速增加,以致膜层和基片烧毁或炸裂。

上述情况,随 CO₂ 激光功率的升高而越加明显。

一、制备工艺

镀膜设备: 本实验是在 19E7 镀膜机上进行的。为了方便,我们以 2.18 微米作控制波长,采用短波控制长波的多回转次数的方法。

收稿日期: 1979 年 7 月 12 日。

光电接收器是PbS, 调制频率为484周/秒^[1]。

控制方法: 采用通常的极值法。考虑到红外材料的折射率大多随波长而减小, 于是监控波长不是取2.12微米, 而用2.18微米, 以其五倍等效1.06微米的膜层。即在蒸镀中, 表头指针来回五次算一层。

工艺过程: 用脱脂纱布滴上丙酮等有机溶液擦拭基片, 然后放入真空室内烘烤加热。温度控制在100°C, 保持恒温至镀好为止。

蒸发时的真空度为 10^{-5} 托。蒸发时间均在10分钟左右。ZnSe淀积率为 $1123\text{\AA}/\text{分}$, As_2S_3 为 $1167\text{\AA}/\text{分}$, ZnS为 $1204\text{\AA}/\text{分}$, BaF_2 为 $1893\text{\AA}/\text{分}$ 。

镀好之后, 取出样品放进烘箱内烘烤, 烤到180°C左右, 恒温8小时以上, 自然冷却后取出。就能在GaAs上获得满意的ZnSe- BaF_2 , ZnS- BaF_2 和 As_2S_3 - BaF_2 双层增透膜。

二、结果与讨论

1. 样品的性能

对样品进行光谱测定和经受 CO_2 激光连续功率作用的试验, 结果见表1。最高透过率可达98%, 剩余反射只有0.7%, 试验的样品均能承受500瓦/厘米²以上的 CO_2 连续激光的作用(这是因为样品温度在2分钟之后, 就达到了热平衡)。而原先在低阻GaAs上镀Ge-ZnS增透膜, 透过率不会超过94%, 承受功率只在2~300瓦/厘米²水平。

试验表明, 这些样品浸泡水中24小时以上, 膜层不坏, 用棉花蘸乙醇、丙酮等有机溶液擦拭, 膜面看不出道痕。

2. 膜层材料对样品性能的影响

不同膜层材料对样品抗激光功率和透过率的影响, 试验结果见表2。

从表看到, 不同膜层材料对样品性能有很大影响。在光吸收很小的NaCl基片上,

表 1

| 样 品 | | 透过率 % | 反射率 % | 连 续 功 率 | | | |
|----------------|---|----------|----------|-----------------------------|------|------|-----|
| 基 片 | 膜 系 | | | 功 率 (瓦/厘米 ²) | 作用时间 | 样品温度 | 结 果 |
| $d=3$ 毫米高阻砷化镓片 | ZnSe- BaF_2 (二面) | 98.0 | 0.7 | 500~1000 | 5' | 55°C | 好 |
| $d=3$ 毫米高阻砷化镓片 | As_2S_3 - BaF_2 (二面) | 97.7 | 1.0 | 500~1000 | 5' | 60°C | 好 |
| $d=3$ 毫米高阻砷化镓片 | ZnS- BaF_2 (二面) | 97.4 | 1.3 | 500~1000 | 5' | 55°C | 好 |

表 2

| 样 品 | | 透过率 % | 反射率 % | 连 续 功 率 | | | |
|----------------|---|----------|----------|-----------------------------|-------|---------|---------|
| 基 片 | 膜 系 | | | 功 率 (瓦/厘米 ²) | 作用时间 | 样品温度 | 结 果 |
| $d=3$ 毫米高阻砷化镓片 | As_2S_3 - BaF_2 (二面) | 97.7 | 1.0 | 1000 | 4' | 75°C | 好 |
| $d=3$ 毫米高阻砷化镓片 | ZnS- BaF_2 (二面) | 97.4 | 1.3 | 500 | 5' | 60°C | 好 |
| $d=2$ 毫米低阻砷化镓片 | ZnS- BaF_2 (二面) | <95 | | 500 | 1'20" | >>100°C | 样品烧 |
| $d=2$ 毫米低阻砷化镓片 | Ge-ZnS(二面) | <94 | | 400 | 15" | >>100°C | 样品烧 |
| $d=3$ 毫米氟化钠片 | Se(一面) | | | 450 | 10" | | 样品炸, 膜坏 |
| $d=3$ 毫米氟化钠片 | Ge(一面) | | | 300 | 31" | | 膜坏 |
| $d=3$ 毫米氟化钠片 | As_2S_3 (一面) | | | 450 | 5' | 30°C | 好 |

由于镀的 Se 或 Ge 膜光吸收大, 样品承受的功率水平就低, 而镀的 ZnS 或 As_2S_3 膜光吸收小, 则承受功率就高。这一点在 GeAs 等材料上也得到了证实。从表还可以看出, 在 GeAs 基片上, 镀 ZnS-BaF₂ 膜比镀 Ge-ZnS 膜的透过率要高(在忽略光吸收的计算值上后者较前者高)。这就说明薄膜材料光吸收大小是直接影响样品的承受功率水平和透过性能的。由于 Se 等半导体材料的光吸收系数比 ZnS 等介质材料大, 不适用于高功率 CO₂ 激光器。故选择 10.6 微米薄膜材料, 尽可能选用透明介质材料。

3. 基片材料

不同基片材料对样品抗激光功率和透过率的影响, 试验结果见表 3。

从表中看出, 不同基片材料对样品性能有很大影响。在锗或硅基片上, 无论是镀 Ge、Te 半导体膜还是镀 ZnS、BaF₂ 介质膜, 样品承受的功率水平都不会超过 100 瓦/厘米²。这主要是基片材料光吸收大, 远远超过

膜层材料光吸收所起的作用, 薄膜光吸收的影响, 只有在光吸收小的基片上才能反映出来。例如, 在高阻砷化镓(电阻率为 $10^{6\sim 8}$ 欧/厘米)上镀的 ZnSe-BaF₂ 增透膜, 比在低阻砷化镓、锗、硅基片上镀同样的增透膜要好, 这是由于后者基片光吸收大的缘故, 样品的性能也受基片材料光吸收大小所制约。同时, 从表内还可以看到, 部分砷化镓的基片, 承受功率可达 2000 瓦/厘米², 这就表明, 进一步提高砷化镓增透膜抗激光作用水平还是可能的。于是在选择 10.6 微米基片时, 应考虑材料的光吸收, 材料的光吸收越小, 就越有希望成为 10.6 微米激光的理想窗口和透镜^[2]。

4. 基片加工精度和镀膜工艺对样品性能的影响

表面精度高的基片, 承受激光功率高, 光透过亦高。基片性能随着表面加工精度的提高而得到改善。前面已提到在薄膜制备过程中, 若工艺不当, 会造成膜层发雾, 样品性能

表 3

| 样 品 | | 透过率 % | 反射率 % | 连 续 功 率 | | | |
|----------------|-------------|----------|----------|-----------------------------|-------|--------|------------|
| 基 片 | 膜 系 | | | 功 率 (瓦/厘米 ²) | 作用时间 | 样品温度 | 结 果 |
| d=4 毫米锗片 | | 48 | 50 | 100 | 3' | ≫100°C | T 与 R 均超过零 |
| d=4 毫米锗片 | Ge-ZnS (二面) | 91 | 1 | 100 | 1'20" | ≫100°C | 膜烧坏 |
| d=4 毫米硅片 | ZnSe (一面) | 65 | | 94 | 2'20" | ≫100°C | 膜烧坏 |
| d=1.5 毫米低阻砷化镓片 | ZnSe (二面) | 82 | | 540 | 17" | ≫100°C | 样品烧坏 |
| d=3 毫米高阻砷化镓片 | ZnSe (二面) | 86 | | 540 | 5' | 67°C | 好 |
| d=3 毫米高阻砷化镓片 | | 54 | 46 | 2000 | 5' | | 部分样品好 |

表 4

| 样 品 | | 透过率 % | 反射率 % | 10 兆 瓦 脉 冲 功 率 | | | |
|------------|---|----------|----------|----------------|------|------|-----|
| 基 片 | 膜 系 | | | 作用时间 | 作用次数 | 样品温度 | 结 果 |
| d=3 毫米氟化钡片 | ZnSe (一面) | | | 100 毫微秒 | 5 | 室温 | 好 |
| d=3 毫米砷化镓片 | As ₂ S ₃ -BaF ₂ (二面) | 97.7 | 1.0 | 100 毫微秒 | 5 | 室温 | 好 |
| d=4 毫米硅片 | Ge (一面) | | | 100 毫微秒 | 5 | 室温 | 好 |
| d=4 毫米锗片 | S ₇₃₁ 有机硅 (一面) | 65 | | 100 毫微秒 | 5 | 室温 | 好 |

变坏。要获得一个良好的样品，这两方面工艺要求也需引起注意^[3]。

5. 样品抗脉冲功率的能力

这些样品(见表4),即使由锗、硅和有机硅等光吸收大的材料制成,它们在脉冲功率为 10^7 瓦/厘米²级的CO₂激光作用下是毫无反应的,可以推断,它们抗脉冲功率破坏的潜力是巨大的。从另一角度,也证明了10.6微米激光对薄膜破坏的主要形式是热效应。

我们认为,目前应用在CO₂激光连续器件上的薄膜破坏,主要是薄膜和基片吸热所致。样品的光吸收是由膜层和基片的光吸收构成的。样品承受功率总是小于单独薄膜或单独基片的水平。对高功率CO₂激光器来说,选择合适的镀膜材料和基片材料仍是一个关键问题。此外,薄膜制备工艺和基片加工精度也是不可忽视的,否则不能得到预期的结果。

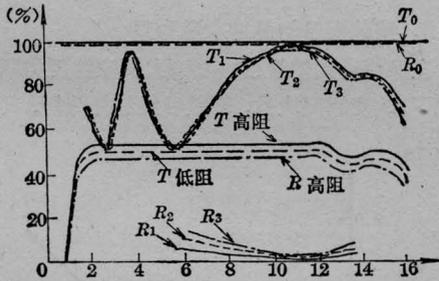


图1 砷化镓的光谱曲线

高阻基片 $d=3$ 毫米, 低阻基片 $d=0.7$ 毫米; 高阻基片两面均镀双层增透膜: 镀 ZnSe-BaF₂ 为 T₁ 和 R₁, 镀 As₂S₃-BaF₂ 为 T₂ 和 R₂, 镀 ZnS-BaF₂ 为 T₃ 和 R₃ 曲线

砷化镓、锗和硅样品的光谱曲线见图1~3。

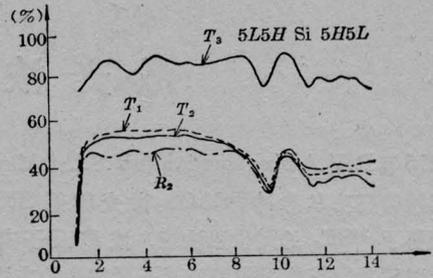


图2 硅片的光谱曲线

硅片厚度为1毫米和4毫米,镀膜之前分别为 T₁ 和 T₂, R₂; 硅片厚度为4毫米上镀 Ge-ZnS 膜为 T₃

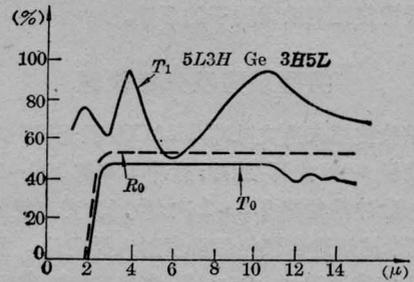


图3 锗片的光谱曲线

锗片厚度为4毫米,镀膜之前为 T₀ 和 R₀, 镀 Ge-ZnS 增透膜后为 T₁

参 考 文 献

- [1] 中国科学院上海光机所研究报告集第三集《光学薄膜》p. 18 (1976).
- [2] K. J. Marsh, J. T. Savage; *Infrared Physics*, 1974, 14, No. 2, 85.
- [3] J. E. Rumpant *et al.*; *Appl. Opt.*, 1974, 13, No. 9 2075.