

# 可调谐激光器的宽带高反射镜

金林法 章宏芬 杨本祺

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 选择了适当的制备工艺,并改善膜系以减弱膜内的电场强度,获得低损耗可见光区的宽带高反射镜。

## Broadband high reflectivity mirror for tunable dye lasers

Jin Linfa, Zhang Hongfen, Yang Benqi

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

**Abstract:** By selecting the proper coating technique and refining the film thickness to lower the electric field strength in lasers, the low loss and high reflectivity broadband mirror in visible region is obtained.

### 一、引言

用一组折射率高低交替的、每层光学厚度为 $\lambda/4$ 的介质膜系,能够达到高反射率,但能得到的高反射区是有限的,不能满足可调谐激光器宽波段的要求。为了扩展高反射区,可以采用几种手段<sup>[1~3]</sup>。最简单的手段是采用两组或两组以上膜厚为 $\lambda/4$ 的膜系迭加。但这种宽带反射镜如若膜层存在散射或吸收损耗,则将严重地降低在某些波长处的反射率。

应用在调谐激光器上的反射镜,不仅要求宽波段,而且还要求是低损耗和高阈值的硬膜。为了提高这种宽带反射镜的质量,我们除了改革镀膜工艺外,还分析了膜系内场强的分布,对膜系进行了修改,使在损耗峰值

处的场强减少40%,从而降低了损耗,经实际测量在损耗峰值处的反射率可达97.6%,在420~700毫微米整个波段的绝大部分区域的反射率在99%以上。

### 二、宽带反射镜中的损耗分析

我们最初选用的宽带反射镜膜系为:

$$G(H_1L_1)^8H_1L_2(H_3L_3)^6H_3A$$

若选用 $TiO_2$ 作为高折射率材料,用 $SiO_2$ 作为低折射率材料(它们的折射率分别为 $N_{H_1}=2.3-i5 \times 10^{-4}$ ,  $N_{H_3}=2.38-i5 \times 10^{-4}$ ,  $N_{L_1}=N_{L_2}=N_{L_3}=1.46-i1 \times 10^{-5}$ ),计算得到的反射和透射曲线见图1。

从图中可以看到,反射曲线形成两个损耗峰。若考虑散射的影响,反射率曲线的起

收稿日期:1982年11月22日。

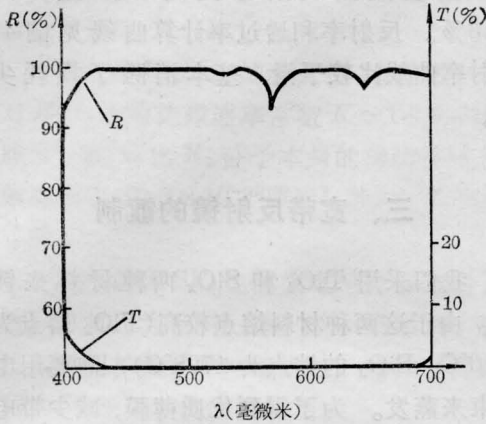


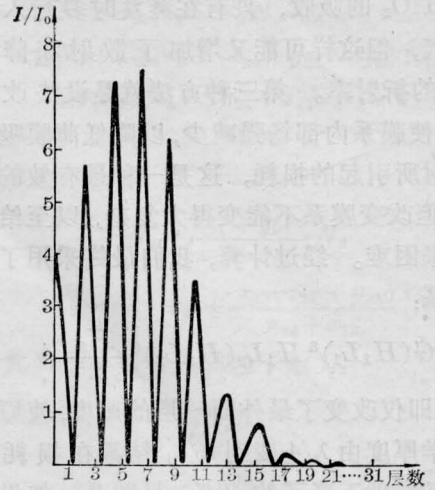
图1 宽带反射镜计算得到的反射和透射曲线

膜系:  $G(H_1L_1)^8H_1L_2(H_3L_3)^6H_3A$

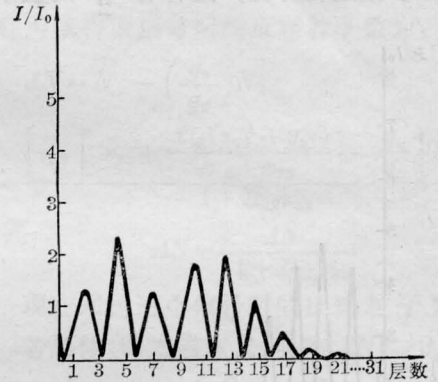
$\lambda_{01}=620$  毫微米,  $\lambda_{02}=540$  毫微米,  $\lambda_{03}=475$  毫微米,

伏要更大。为了研究损耗峰产生的原因,我们对上述宽带反射镜膜系内部场强分布进行了计算。为了更能说明问题,我们不仅计算了各个薄膜界面上的电场强度,还把每层膜分成六个等分来计算,这样又可算出膜层内部的场强分布。经计算,发现在损耗峰值处和其它波长处的场强有很大差别,见图2所示。

损耗峰值处的最大场强是入射电场的七倍多,是非损耗峰处的三倍。从图2(a)中还看到,最大场强均在高折射率膜层中间,而不在低折射率膜层内,也不在膜层交界处,这种情况对提高反射率是非常不利的。因为在介质薄膜中的吸收损耗与膜层内部场强平方和消光系数的乘积成正比,对一定的消光系数,薄膜中的吸收损耗随膜层内部场强而变化,场强大,肯定要产生较大的吸收损耗。对体散射引起的损耗也是如此。所以图2(a)中的损耗比(b)中的损耗大得多,再加上它的高场强都集中在吸收和散射比较大的高折射率膜层中,更增加了膜层的损耗,使得形成损耗峰。为了降低损耗峰值,可采用三种方法:一种就是调整高场强区的膜层厚度,适当地减少损耗较大的  $TiO_2$  膜层厚度,相应地增加损耗较小的  $SiO_2$  膜层厚度。因为在临空



(a) 损耗峰值处的膜系内场强分布



(b) 非损耗峰处(459 毫微米)的场强分布

图2 宽带反射镜的场强分布

(薄膜层数是从空气→薄膜→玻璃为序)

气的九层膜中场强最大,我们就减薄这几层膜中  $H$  层的厚度,增加  $L$  层的厚度。若使  $H$  层减为  $0.7H$ ,  $L$  层变为  $1.3L$ ,仍用图1所述为例,吸收峰值处的吸收从  $6.7\%$  下降到  $3.3\%$ 。但这种方法又增加了控制的困难。另一种方法就是设法减少在高场强区这九层膜的损耗。在  $TiO_2$  和  $SiO_2$  两种材料中,损耗主要来自于  $TiO_2$ ,所以如果使这九层膜中的  $TiO_2$  的消光系数从  $5 \times 10^{-4}$  减至  $1 \times 10^{-4}$ ,其它保持不变,由计算结果可以知道,损耗峰值处的损耗由原来的  $6.7\%$  下降到  $2.5\%$ 。但是,要使  $TiO_2$  的消光系数降低半个量级,不是很容易做到的。一般地说,要

减少  $\text{TiO}_2$  的吸收, 只有在蒸发时多充入一些氧气, 但这样可能又增加了散射和降低  $\text{TiO}_2$  的折射率。第三种方法就是设法改变膜系, 使膜系内部场强减少, 以降低薄膜吸收和散射所引起的损耗, 这是一种最有效的办法。但改变膜系不能变得太复杂, 以至给控制带来困难。经过计算, 我们最终采用了如下膜系:

$$G(H_1L_1)^8 H_1L_2(H_3L_3)^6 \frac{H_3}{2} A$$

这样, 即仅改变了最外面一层的厚度, 使原来的光学厚度由  $\lambda/4$  变到  $\lambda/8$ , 结果在损耗峰处的场强就下降了约 40%, 见图 3。如果再采用原参数进行计算, 这种有  $\frac{H}{2}$  的膜系在

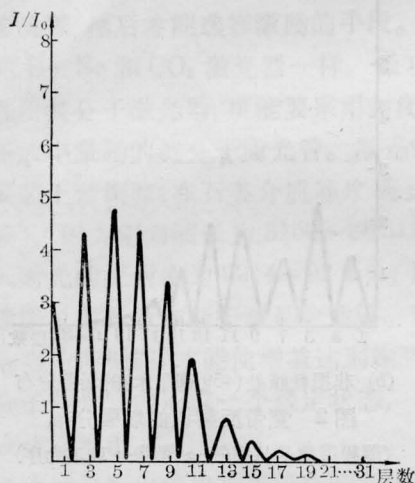


图 3 修改后的膜系在损耗峰值处的场强分布

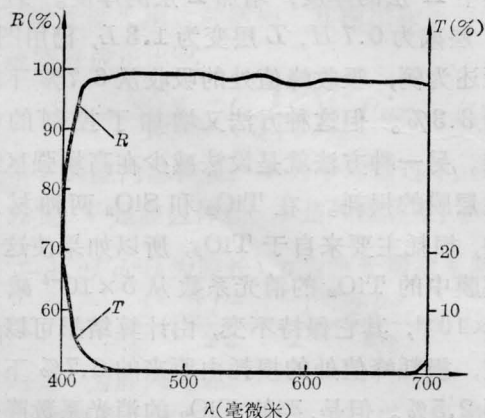


图 4 修改后膜系的反射率和透过率计算曲线

吸收峰值处的反射率便由 93% 上升到 97.3%。反射率和透过率计算曲线见图 4, 反射率曲线比较平滑, 基本消除了损耗尖峰。

### 三、宽带反射镜的镀制

我们采用  $\text{TiO}_2$  和  $\text{SiO}_2$  两种材料来镀制。由于这两种材料熔点较高 ( $\text{TiO}_2$  熔点为  $1840^\circ\text{C}$ ,  $\text{SiO}_2$  的熔点为  $1728^\circ\text{C}$ ), 需要用电子束来蒸发。为了得到优质薄膜, 减少带电粒子的影响是很重要的。要减少薄膜的吸收, 在蒸发  $\text{TiO}_2$  时应充入一定量的氧气。

由于  $\text{TiO}_2$  的折射率与真空室的气压、基板温度以及蒸发速率有很大关系, 要得到高的折射率, 需要高的真空度, 高的基板温度和快的蒸发速率。如果只注意减少吸收, 不注意  $\text{TiO}_2$  的折射率大小, 有可能使宽带反射镜的反射带变窄, 或中间出现透过峰。在制膜时我们用的参数是: 充氧后的真空度为  $3 \times 10^{-4}$  托, 基板温度在  $300^\circ\text{C}$ ,  $\text{TiO}_2$  的蒸发速率为  $7 \text{ \AA}/\text{秒}$ ,  $\text{SiO}_2$  的蒸发速率为  $45 \text{ \AA}/\text{秒}$ 。

在具体镀制时, 先镀一个长波长的反射膜, 再镀间隔层, 最后镀一个短波长的反射膜, 用一块控制片镀制到底, 镀好后应立即充入大量的氧气, 最后再拿出来经过  $400^\circ\text{C}$  八小时的烘烤。

### 四、实验结果

采用一般膜系:

$$G(H_1L_1)^8 H_1L_2(H_3L_3)^6 H_3A$$

控制波长  $\lambda_1 = 610$  毫微米,  $\lambda_2 = 520$  毫微米,  $\lambda_3 = 440$  毫微米, 实测得到的反射曲线见图 5(a) 所示。利用“GFS 高反射率测量仪”进行反射率精确测量, 结果如下表所示。

一般宽带反射镜的实测反射率

波长 (微米)	0.42	0.50	0.60	0.70
反射率 (%)	99.38	99.36	99.55	98.06
	99.19	99.37	93.28	99.45

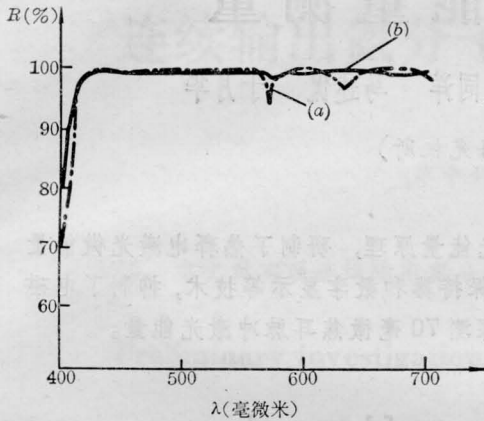


图5 宽带反射镜的实测曲线

(a)  $G(H_1L_1)^8H_1L_2(H_3L_3)^6HA$

(b)  $G(H_1L_1)^8H_1L_2(H_3L_3)^6\frac{H}{2}A$

修改后膜系:

$$G(H_1L_1)^8H_1L_2(H_3L_3)^6\frac{H_3}{2}A$$

控制波长同一般膜系。宽带反射镜的实测反射曲线如图5(b)所示。从图中可以看到,这种膜系的实测反射曲线与图4的计算曲线是一致的,基本消除了损耗尖峰,在420至700毫微米整个波段中,最低反射率为97.6%,绝大部分区域在99%以上。满足了可调谐激光器的需要。

参考文献

- [1] A. F. Turner *et al.*; *Appl. Opt.*, 1966, **5**, No. 1, 69~76.
- [2] R. P. Netterfeld *et al.*; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, No. 17, 3010~3017.
- [3] J. Ebert *et al.*; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 6, 818~822.
- [4] 金林法等;《光学学报》, 1983, **3**, No. 2, 169.

简讯

五千瓦级横流 CO<sub>2</sub> 激光器稳定工作 1~1.5 小时

我们解决了气流不均匀度,使气流速度从40米/秒提高到了50米/秒;还解决了能承受5600瓦功率的红外窗口膜层问题,初步摸索到红外窗口镀膜与不镀膜时的激光输出最佳耦合条件。器件输出

功率现已达到5200瓦,连续稳定工作1~1.5小时。

(中国科学院上海光机所  
1983年12月2日收稿)