

# 一种测量光学元件高反射 (透过)率的有效方法

陈 亦

邵中兴

(吉林省激光研究所, 长春)

(中国科学院长春光学精密机械研究所)

## 提 要

本文提出一种测量激光谐振腔反射镜高反射率和测量镀有减反膜的高透过率光学元件的有效方法。特点是同时测量几块高反射率凹面镜或高透过率光学元件, 其误差是普通单块测量方法的 $1/n$ 。详细分析了一组激光腔镜高反射率和一组镀减反膜的平行薄片高透过率的测量结果。

关键词: 测量, 高反射(透过)率。

## 一、引 言

准确地测量光学元件的高反射率(或透过率)对激光高反射膜和高增透膜的研制都是非常必要的。近年来报道的测量高反射率(或透过率)的方法有: 用强度调制的激光束通过一谐振腔, 测量其输入与输出间相位差的办法<sup>[1,2]</sup>、用测量光在法布里-珀罗腔中的衰减时间<sup>[3]</sup>和其它<sup>[4,5]</sup>方法。除这些特殊方法外, 通常, 测高反射率(或透过率)方法是采用直接测量单块被测镜反射(或透射)的激光束方法, 但是由于光源功率不够稳定而造成信噪比太差, 或因接收器在光强相差悬殊范围内响应不够或线性不好等诸因素, 使得测量结果的准确性很差, 甚至无法进行。本文提出一种同时测量多块高反射率(最好是同次镀膜的)激光腔镜的总反射率, 从而确定每块镜子的反射率, 或同时测量多块高透过率的光学元件(同次镀膜)的总透过率再确定单个元件的透过率的有效方法。这样, 在一般实验室条件下, 测量绝对高反射率或高透过率不仅成为可能, 而且精度可靠。

## 二、测量方法

设被测反射镜的反射率为  $R_s$ (或透过率  $T_s$ ), 测量误差  $\Delta R$ (相应地透过率的测量误差  $\Delta T$ ), 那么一般的单件测量反射率  $R_1$  的大小应为

$$R_1 = R_s \pm \Delta R, \quad (1)$$

由于测量误差  $\Delta R$  来源于光源功率的起伏和测量系统的误差等, 而与同时测量的元件数目无关, 故同时测量  $n$  块反射镜的总反射率为  $R_t = R_s^n \pm \Delta R$ 。那么, 单块反射镜的反射率的测量量为

$$R_m = (R_s^n \pm \Delta R)^{1/n}. \quad (2)$$

将(2)式展成幂级数后有

$$R_m = R_s \left( 1 + \frac{1}{n} \frac{\Delta R}{R_s} \mp \frac{1}{n \cdot 2n} \frac{\Delta R}{R_s} \pm \dots \right),$$

计算表明,当  $n$  取适当大小时\*(例如  $10 \leq n \leq 100$ ) 则有

$$R_m = R_s \pm [(\Delta R/n) + R']. \quad (3)$$

如果  $R_s > 0.99$ ,  $\Delta R \sim 0.01$ , 余项  $R'$  仅为  $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 。事实上,  $R_s$  越接近 1,  $\Delta R$  越小, 则  $R'$  越小。由于  $R'$  相当小, 所以, (3) 式可写为

$$R_m \doteq R_s \pm (\Delta R/n). \quad (4)$$

由此可得被测镜子的反射率为

$$R_s = R_m \pm (\Delta R/n).$$

(1) 式和(4)式相比较, 很明显, 多次反射法的测量误差是一般单件测量法测量误差  $1/n$ 。此外, (4) 式还说明,  $R_s$  越接近于 1,  $n$  越应取得大些。

对应地, 同时测量  $n$  块高透过率光学元件, 其单件透过率测量值的表达式应为

$$T_m = (T_s^n \pm \Delta T)^{1/n}, \quad (5)$$

或

$$T_m = T_s \pm (\Delta T/n). \quad (6)$$

### 三、实验装置

作为测量高反射率的实例, 实际测量了一组同次镀膜的 10 块高反射率 (波长范围 550 ~ 650 nm) 激光腔镜。实验装置如图 1 所示采用 802 型连续可调谐染料(若丹明)激光器作为光源, 其工作波长为 570 ~ 620 nm, 线宽 ~ 30 GHz, 功率稳定度  $< \pm 2\%$ 。MSO-A 型光栅单色仪的分辨为  $\sim \text{\AA}$  级。 $BS_1$  和  $BS_2$  是两块分束镜, 其中  $BS_2$  是镀有 50% 反射膜的平面镜。 $M_1, M_2, \dots, M_{10}$  即是被测的凹面反射镜, 其曲率半径均为 212 mm (实际上也可以不相同), 镜面大小为  $\phi 15$  mm。以每 5 块为一组, 分装在二个调节架上, 并使每相对的两块呈小夹角近共焦放置。这样经多次反射后, 出射光束仍保持为近平行光束。 $ph_1$  和  $ph_2$  是两个硅光电接收器, 为了减少光源功率起伏对测量精度的影响, 取同时瞬间采样的  $ph_1, ph_2$  比值 ( $ph_1/ph_2$ ) 作为测量结果。为消除  $BS_2$  及接收系统的不均匀性, 须将  $ph_1$  直接置于  $BS_2$  之后 (即去掉被测元件), 测量此时的两接收信号之比 ( $ph_1/ph_2$ )。然后再与测量结果作归一化处理。此外, 普通激光腔镜的直径为几至几十毫米, 曲率半径为几至几百厘米, 如按可见光估计, 单程衍射损耗  $\ll 10^{-4}$ [1], 而通常测量精度到  $10^{-3}$  已能满足要求。

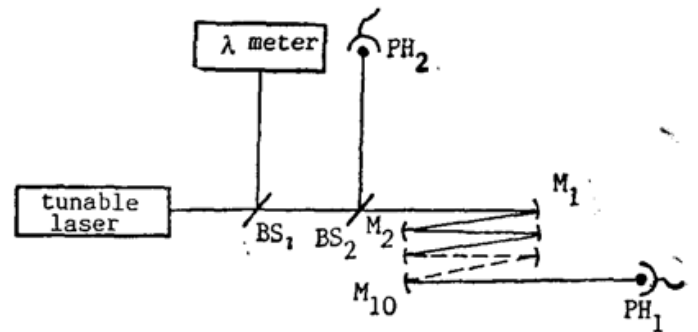


Fig. 1 The setup for measuring laser mirrors with HR coats by using the method of multiple reflection

\* 实际上, 受实验条件限制,  $n$  不容易取得很大。

## 四、实验结果

将激光波长调到适当位置,例如 600 nm 处,按前述步骤进行反复测量的平均结果为反射镜组的总反射率  $R_t = (ph_1/ph_2)/(ph_1/ph_2)_0 = 0.96071$ ,均方误差为  $(\Delta R/n) = 0.0167$ 。根据(2)式可知,单块反射镜反射率的测量为  $R_m = \sqrt[n]{R_t} = 0.9960$ ,另一方面,单块反射率的测量误差  $(\Delta n/R) = 0.00167$ 。最后,由(4)式得到多次反射法测量的结果为  $R_s = 0.9960 \pm 0.0017$  或  $0.9943 \leq R_s \leq 0.9977$ 。改变激光波长便可测得需要光谱范围上的反射率\*。

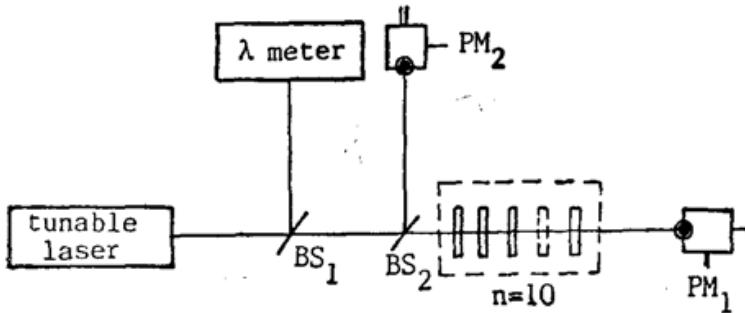


Fig. 2 The setup for measuring high transmissivity of optical components with AR coats by using the new method

作为测量高透过率实例,还测量了一组间次镀(减反)膜的 10 块高透过率石英平行薄片。实验装置如图 2 所示(光源同前)。10 片薄片平行地装在同一调节架上,以保持测量的一致性和准确性。由于被测元件是平行薄片,所以,尽管镀有减反膜,仍必须考虑标准具效应对透过率的影响。因此,必须调谐激光波长或仔细调节薄片

片组的方位来测量透过干涉最大和最小,然后根据标准具透过公式计算出反射率,再算出透过率。这样,需要仔细寻找透过率的最大和最小,所以将接收器 ph 换成响应较慢的 JG-1 型绝对激光功率计,并尽可能放得远些,以避免扰动干扰功率计的准确性。

仍在 600 nm 附近,仔细调谐波长,反复测量透过薄片组的光功率平均最大为 439.5 mW,最小为 395.4 mW,均方偏差  $\sigma = 8.4$  mW。以透过最大值为 1,则薄片组的透过干涉最小为  $T = 0.89954$ ,均方误差为  $\Delta T = 8.4 \text{ mW} / 439.5 \text{ mW} = 0.019$ 。根据标准具透过率公式,在透过最小处有  $T = [1/(1+F)]$ ,其中  $F = [4R/(1-R)^2]$ , $R$  为反射率,可得薄片组的  $F$  值为 0.11168,因而无标准具效应存在的薄片组的反射率为  $R_t = 0.02716$ ,那么无标准具效应的薄片组的透过率  $T_t = 1 - R_t = 0.97284$ ,再由(5)式得到单件透过率的测量值为  $T_m = \sqrt[n]{T_t} = 0.9973$ 。另一方面,测量误差  $(\Delta T/n) = 0.0019$ ,最后由(6)式得到被测元件的单件透过率为  $0.9954 \leq T_s \leq 0.9992^*$ 。

两个实例都证明了本文报道的方法的有效性和适用性,与一般单件测量法相比较,测量误差是单件测量的  $(1/n)$ 。此外,这种方法的好处还在于可以把成谐振腔的几块反射镜(甚至可以连同腔内各腔件)按实际角度、方位放置,测出该激光腔除输出镜外的整体损耗,这对于分析腔的特性是很有意义的。

\* 如果用单次反射法测量,由(1)式可知  $0.9793 \leq R_s \leq 1.0127$ ,上限已大于 1。

\*\* 与单片测量相比较,单片的测量结果为  $0.9733 \leq T_s \leq 1.0163$ ,上限也已大于 1。

## 参 考 文 献

- [1] R. Fielder *et al.*; *Ann. Phys.*, 1988, **45**, No. 7 (Jul), 469.
- [2] G. C. Barbarino, C. Magna, M. R. Masullo; *Vuoto Sci. & Technol.*, 1985, **15**, 95~100
- [3] N. A. Robertson, K. A. Strain, J. Hough; *Opt. Commun.*, 1989, **69**, No. 5~6 (15 Jan), 345.
- [4] A. Duparre *et al.*; *Optik*, 1986, **72**, No. 4 (Apr), 153.
- [5] V. V. Gud *et al.*; *Izv Vyssh Uchebn zaved Pribovostr*, 1987, **30**, No. 7, p. 5~9.
- [6] A. Yariv; *Quantum Electronics*, (John Wiley & Sons Inc. 2nd, 1975), 143.

## An effective method for measuring high reflectivity (or transmissivity) of optical components

CHEN YI

(*Jilin Institute of Lasers, Changchun*)

SHAO ZHONGXING

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica*)

(Received 8 November 1989)

### Abstract

An effective method for measuring high reflectivity (HR) of laser mirrors and high transmissivity of optical components with antireflective (AR) coats is described in this paper. The features of the method are that  $n$ -components with HR or AR coats are measured at same time, and the measuring error is  $1/n$  of the normal way. Measurements of a group of laser mirrors with HR coats and a group of thin disks with AR coats show the acceptability of the method.

**Key words:** measuring; high reflectivity (transmissivity).