

一种测量激光反射镜总积分散射的方法

陈 奕 升

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文提出测量激光反射镜总积分散射的一种方法。给出了用光调制弱信号同步锁相技术的一些实验结果。装置的检测灵敏度约 10^{-5} 。检测出高反介质膜板的总积分散射为 1.5×10^{-3} 。

一、引 言

本文介绍关于激光反射镜总积分散射的一种测量方法和实验装置,并报道用此装置测得的一些初步结果。

总积分散射 TIS^[1~5] 的表示式为 $TIS \propto \frac{R_0 - R}{R_0}$, 式中, R 为被测样品的镜向反射率, R_0 为同一材料完全光滑表面的反射率。因此总积分散射的测量,关键在于确切地测量 R_0 和 $R_0 - R$, 或确切地测量出样品的散射光能和样品在完全光滑状态下的反射光能。

众所周知,常规的直流检测方法由于没有抑制噪声能力或抑制噪声能力不强,无法在弱光检测中应用。常用的测量放大器其品质因数 Q 值很低,一般只有几十,而锁相放大器的 Q 值可达 10^8 甚至更高。这就是说锁相放大器的等效噪声带宽可以做得很窄,能相当好地抑制噪声和自动扣除杂散光、暗流和漏电流引起的漂移,这样在弱光检测的灵敏度、测量精度和零点漂移等方面,锁相放大器就具有常规方法所无法相比的优点。

二、实验装置及测量方法

实验装置如图1所示。其中的单色仪 M 和积分球 T 是从苏锴隆同志^[6]处借用的。本文仅对总积分散射的测量进行介绍,关于光谱散射率的测量将在另文讨论。

实验中采用国产 GDB-423 型可见波段光电倍增管 PM 接收光信号。光电倍增管的输出经高输入阻抗的前置放大器 AM_1 , 然后输入锁相放大器 LIA , 来自光源的白光被装在单色仪 M 入口狭缝前的光调制斩波器 m 调制,与此同时由 m 产生的同步参考信号由硅光二极管 PD 接收,经放大器 AM_2 加到 LIA 的参考输入端。如此,我们就可通过锁相放大器直接读出散射微光量的大小,而光电倍增管所接收的斩波频率以外的信号都能被锁相放大器抑制。

测量方法是在图1中 A_2 球缺处去掉反射吸收光阱,补上和积分球内所涂相同材料的球

缺, 此时本装置的光电倍增管既接收到了样品的反射光能, 又接收到了样品表面的散射光能, 两者在倍增管内迭加, 便组成了被测

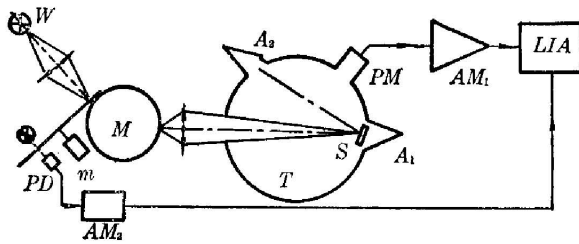


图1 总积分散射测量实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the apparatus for total integrated scattering measurement

样品在完全光滑状态下的反射光能。值得指出, 不管样品的粗糙程度如何, 本方法的测量值都代表着该样品在完全光滑状态时的反射光能。比起用良好抛光的玻璃相对一个具有一定粗糙度的毛玻璃近似地看作理想表面^[6]来说, 测量精度要准确得多。何况我们测量的样品本身就是经过良好抛光的激光反射镜, 这时

将找不到一个相对于样品近似地可看作理想表面的玻璃。

若将上述锁相放大器的测量值定为 A , 然后在积分球的 A_1 球切处取出样品, 仍装上透射光阱, 这时锁相放大器的读数为 B ——背景杂光量。而在 A_1 、 A_2 球缺处除装上透射光阱、反射光阱外, 并装以样品, 则锁相放大器的读数为 S ——散射信号量。这时所测样品的总积分散射值 TIS 可按下式计算:

$$\text{TIS} = \frac{S - B}{A - B} \quad (1)$$

根据表面粗糙度和总积分散射 TIS 的经典理论, 对于大多数抛光玻璃表面和粗糙的金属沉积表面, 在 $\sigma \ll \lambda$ 时均有下述近似关系:

$$\text{TIS} \approx 1 - \frac{R}{R_0} = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{4\pi\sigma}{\lambda} \right)^2 \right\} \approx \left(\frac{4\pi\sigma}{\lambda} \right)^2, \quad (2)$$

式中 σ 为表面粗糙度的均方根值; R 为粗糙表面的镜向反射率; R_0 为样品在完全光滑状态下的反射率; λ 为测量波长。

于是通过测量 TIS 就可求出表面粗糙度的均方根值 σ (由 (2) 式)。

三、测量结果与讨论

对高反介质膜板进行总积分散射测量, 此时总积分散射 TIS 的测量结果 (对 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$) 平均值为 1.47×10^{-3} , 算得样品的粗糙度 $\sigma = 19.5 \text{ \AA}$ 。

转动圆盘单光仪的波长鼓, 对该样品再用 5300 \AA 和 7000 \AA 两种波长分别测量, 得到其总积分散射值分别为 1.91×10^{-3} 和 1.23×10^{-3} 。计算得到该样品的粗糙度为 18.4 \AA 和 19.3 \AA 。这说明同一样品用不同波长所测结果在 18.4 \AA 和 19.5 \AA 之间变化。这里除测量误差影响之外, 单光仪的波长选择误差也直接影响结果。因此采用单色光测量是非常重要的。本实验的测量值偏小, 这可从积分球的结构参数值得到解释。根据理论分析, 散射量的角分布是围绕着镜面反射方向分布的^[7,8]。由理论公式通过计算机计算可绘出散射的角分布, 如图 2 所示。在反射方向散射光强最大, 而后随着散射角的增加圆滑减小。因为在积分球的反射光阱处在光学上还未采取有关措施, 所以反射光阱在吸收样品反射量的同时总会吸收一些散射量, 使测量值偏小。

理论计算的总积分散射 TIS 与粗糙度的均方根 σ 、波长 λ 的关系如图 3、图 4 所示。据此可以求出：若波长 $\lambda=6328 \text{ \AA}$ 时，总积分散射 TIS 值为 $(1.3 \sim 1.5) \times 10^{-3}$ ，相应的 σ 约在 18 \AA 和 20 \AA 之间。

图 4 中标出样品在测量波长的 TIS 测量值所对应的 σ 值范围。

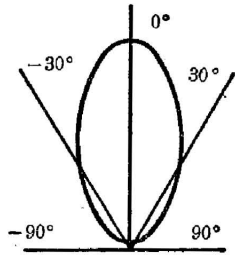


图 2 样品表面散射的角分布
Fig. 2 Angular scattering distribution at the sample surface.

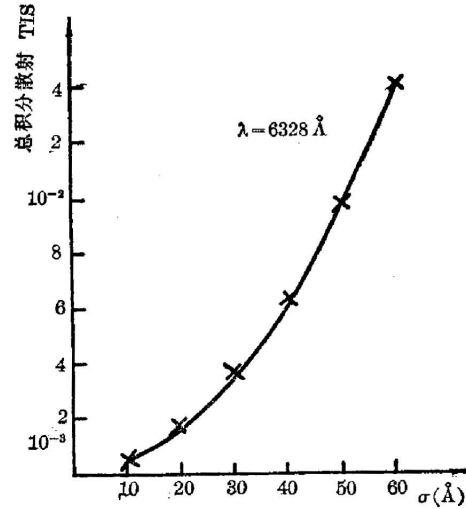


图 3 总积分散射与表面粗糙度 σ 的关系
Fig. 3 The total integrated scattering (TIS) versus the surface RMS roughness σ for wavelength of $\lambda=6328 \text{ \AA}$

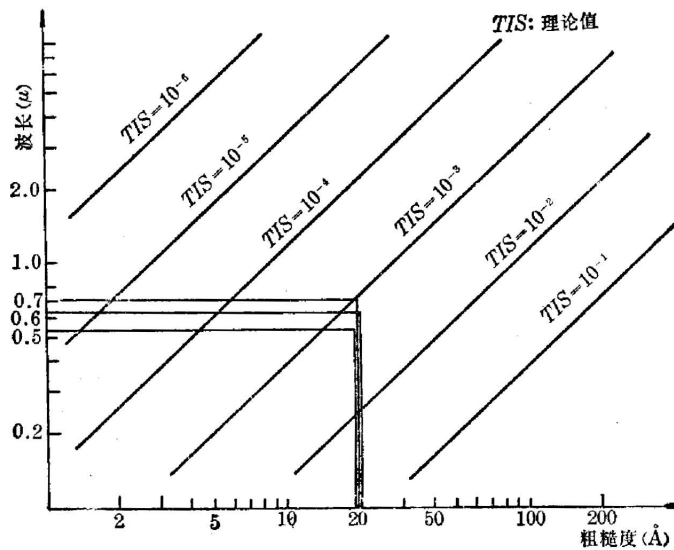


图 4 粗糙度与总积分散射和波长的关系
Fig. 4 The surface RMS microroughness versus the wavelength for various total integrated scattering

测试中应用性能良好的锁相放大器，信号大小均在仪器的测量范围内。与光电倍增管联用后经过修正，可使测量值达到 10^{-3} 量级。

实测的总积分散射值除了受样品表面粗糙状况的因素影响外，灰尘、微粒的影响也很大。因此检测样品时必须去除样品上的污垢，保证测量准确。

用光斩波调制同步锁相检测方法基本上解决了漂移问题，灵敏度可以较高，约达 10^{-5} 。

但因所用光电倍增管本身存在热噪声,故在弱光信号测量时还有起伏现象,为此按照信号测量要求仔细选择、严格挑选光电倍增管,选定最佳工作电压,进而转向致冷方式工作非常重要。

参 考 文 献

- [1] H. E. Bennett, J. O. Porteus; *J. O. S. A.*, 1961, **51**, No. 2 (Feb), 123.
- [2] H. E. Bonnett; *Opt. Engng.* 1978, **17**, No. 5 (Sep-Oct), 480.
- [3] J. M. Eastman; «*Physics of Thin Films, Advances in Research and Development*», **10**, (New York Academic Pr., 1978)167.
- [4] J. M. Bennett, J. M. Elson; «*Laser Induced Damage in Optical Materials, December*», (NBS Special Publ., Washington, 1977), 142.
- [5] C. K. Carniglia; *Opt. Engng.*, 1979, **18**, No. 2 (Mar-Apr), 104.
- [6] 苏锴隆等;《光学学报》, 1983, **3**, No. 2 (Mar), 163.
- [7] Richard Blazey; *Appl. Opt.*, 1967, **6**, No. 5 (May), 831.
- [8] 范正修;《中国激光》, 1983, **10**, No. 2 (Feb), 113.

A method for measuring the total integrated scattering from laser mirrors

CHEN YISHENG

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

(Received 30 March 1983, revised 25 August 1983)

Abstract

This paper presents a method of measuring the total integrated scattering (TIS) from laser films. Some experimental results obtained by weak signal phase lock-in synchronism technique are given. This method can be used to study the surface microstructure of the optical components. The detective sensitivity of this equipment is better than 10^{-5} . The TIS of about 1.5×10^{-3} for high reflectivity films is measured.