

F_4 漫反射板的远、近场角散射特性研究

张玉钧 刘文清 宋炳超 王峰平 郑朝辉 周斌

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

摘要 采用多波长激光作光源和不同的光束发散角模拟远、近场照明, 研究了 F_4 (聚四氟乙烯) 粉末压制的漫反射标准板的角散射分布特性及其偏振特性, 结果表明 F_4 标准板无论对远场还是近场光束均呈现良好的漫反射特性并具有良好的消偏振性能。

关键词 角散射分布; F_4 (聚四氟乙烯) 标准板; 多波长激光; 远、近场照明

0 引言

样品反射特性的测量在光度学和光学领域有着重要作用, 一般来说, 这种测量通常借助于漫反射标准板来完成. 为了得到可靠的、可重复的测量结果, 应该知道标准板的物理化学特性和反射特性.

反射标准应具有如下特点: 稳定性 (即不随时间、辐照、温度和环境改变), 均匀平滑的表面, 漫反射, 无光谱选择性, 不透明、无荧光和易携带. 由于聚四氟乙烯 (F_4) 具有合适的物理化学性能, 采用聚四氟乙烯粉末压制成的漫反射板在紫外、可见和近红外波段有着良好的反射特性, 所以常作为标准漫反射参考板使用. F_4 粉末压制成的漫反射板的漫反射率较之目前其它材料制成的标准漫反射参考板要高的多, 如氟化镁, 硫酸钡等. F_4 标准漫反射参考板在 350~1800nm 波段的漫反射率高达 99%, 从而广泛地用于积分球表面和反射标准板.

非相干光照明下 F_4 漫反射板的反射特性曾进行了广泛的研究¹. 本文的目的是测量相干激光照明下 F_4 漫反射板的近场角反射分布, 根据所测量的数据, 分析和评价 F_4 漫反射板对相干光照明的漫反射特性.

1 样品制备方法

用聚四氟乙烯粉末压制成标准 F_4 漫反射参考板的装置如图 1 所示. 为了提高漫反射测量的

重复性, 在 F_4 漫反射参考板的制备过程中应遵循如下步骤: 1) 用搅拌机把购置的 F_4 粉末搅拌碎; 2) 用较大目数的筛子进行筛选, 再用较小目数的筛子精细筛选; 3) 筛选后的 F_4 粉末存放于密封的玻璃器皿中; 4) 根据样品的体积计算了 F_4 粉末的重量, 然后用不锈钢勺把 F_4 粉末放入图 3 所示的制备器中. F_4 粉末的压制密度按 $1 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ 计算, 密度太小压制的样品表面容易损坏, 密度太大压制的样品表面呈镜反射.

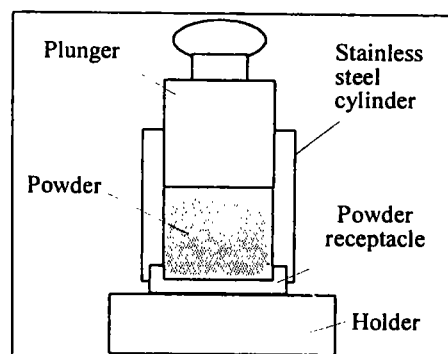


图 1 漫反射标准板制备示意图

Fig. 1 Schematic diagram for making diffuse reflective plate

2 测量原理与实验装置

目标表面辐射和反射特征与表面粗糙度、介电常量、照射波长、偏振等因素有关, 几种方法可

收稿日期: 1999-05-25

以得到目标表面的反射角分布特性²,对发光强度为 I 的一定发散角的光源 S ,照射到距光源为 r 处的表面 dA ,其法线与 r 方向成 θ 角,反射比定义为反射造成的辐亮度 L_r 与入射辐照度 L_i 的比,即不透明表面的反射比 ρ 为

$$\rho = L_r / L_i \quad (1)$$

实验测量时,探测器的输出电压与辐照度的关系为

$$V_s(\theta_r) = RL_r A_s \Omega_{ds} \cos \theta_r \quad (2)$$

式中 $V_s(\theta_r)$ 是探测器的输出电压, R 是探测器响应度 (V/W), L_r 是反射的辐亮度, A_s 是样品的辐照面积, Ω_{ds} 是探测器观察样品的立体角, θ_r 是散射角, $\Omega_{ds} = A_d / r^2$, A_d 是探测器面积. 样品的半球反射率 ρ_h 用日立 3400 型分光光度计测出,样品法线方向的 $\rho(0) = \rho_h / \pi$, 所以,探测器在样品法线方向的输出电压为 $V_s(0)$, 那么,

$$\rho(\theta_r) = V_s(\theta_r) \rho(0) / V_s(0) \quad (3)$$

激光散射角分布测量装置如图 1 所示,装置由光源单元、机械控制单元和信号接收处理单元组成. 目前,样品照射的激光波长分别为 532nm、640nm、780nm、904nm 和 1064nm, 仅仅测量入射平面的散射角分布. 在激光器前和探测器前放置偏振器以研究待测表面的偏振特性,光源的偏振方向与入射平面垂直(s 偏振). 根据不同的照射波长选择日本滨松 R928 型和 R632 型光电倍增管作为探测器,波段分别为 190~900nm 和 400~1200nm. 探测器安装在旋转臂上,旋转臂由步进电机驱动沿入射光内的水平面旋转,精度优于 0.05° . 样品安装在另一旋转台上,移动旋转台可改变样品对光束的入射角.

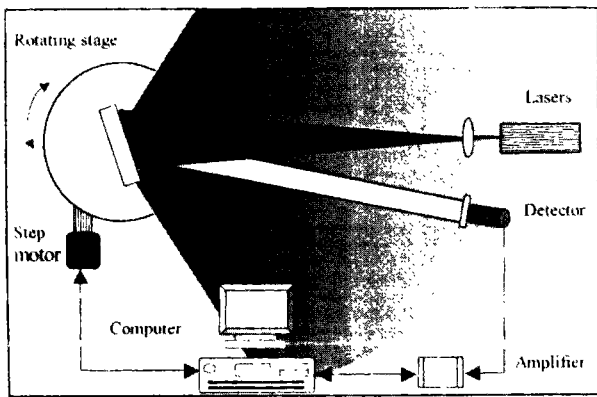


图 2 激光散射角分布测量装置框图

Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup to measure laser angle scattering distribution

测量时,激光器发出以一定频率的调制脉冲光束,通过扩束光学系统照射到样品表面. 调整扩束系统的焦距可以控制照明波束发散角,从而可以研究不同发散角扇形波束照明下,样品的近场散射特性. 样品反射的光信号由探测器转换成电信号经可变增益前置放大器送入采集器处理,采集器可对反射信号做峰值处理,也可对反射的脉冲信号的波形做积分处理,从而研究样品表面反射光相对于入射光的相位变化特性. 分析处理完当前数据后,计算机控制步进电机带动旋转台移至下一个测量角度. 改变旋转台臂上的光电倍增管与样品之间的距离,可测量样品表面反射光随距离变化的分布特性.

3 结果与分析

图 3 给出波长 640nm 激光束照明下, 0° 入射

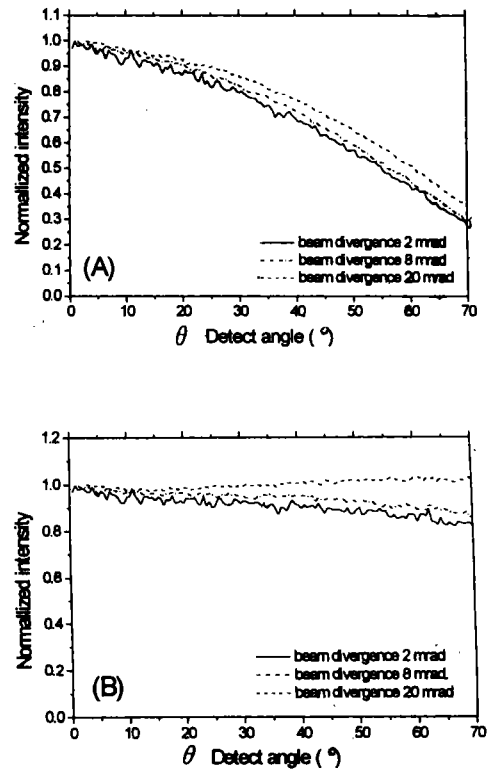


图 3 光束发散角分别为 2、8 和 20mrad (0° 照明) 时, F4 板的散射角分布曲线. (A) F4 板的 $f_r \cos \theta_s$ 随探测角变化曲线; (B) $\cos \theta_s$ 矫正后, f_r 随探测角变化曲线

Fig. 3 The scattering angle distribution of F4 plate for 0 degree incident beam, with the diverge angles of beam 2, 8 and 20mrad, respectively. (A) curve of F4 plate $f_r \cos \theta_s$ versus detection angle. (B) curve of F4 plate f_r versus detection angle

时 F4 漫反射板的归一化散射角分布测量曲线 . 调整扩束系统改变波束发散角为 2、8、20mrad, 分别对应于样品受照明直径 10、40 和 100mm. 图 3 (A) 为 F4 漫反射板的 $f_r \cos\theta_s$ 随探测角变化曲线, 图 3(B) 为 f_r 随探测角变化曲线 . 为了提高信噪比, 各探测点均进行 500 次平均 . 测量数据均对 $\theta_i = 1^\circ$ 时的数据进行归一化处理 . 探测器接收孔径立体角为 60msr 时, 可观测到样品表面直径约 120mm 区域的散射光 . 发散角 2mrad 的光束相当于准直光束, 发散角 20mrad 的光束相当于发散光束 . 从图 3 可以看出, F4 板无论对大发散角还是小发散角光束照明时, 在小角度探测时均呈现良好的漫反射特性 . 值得注意的是测量数据作 $\cos\theta_s$ 矫正后, 对小发散光束照明, F4 板在大角度时散射强度有所下降, 40° 和 70° 强度分别下降 5% 和 8%, 说明 F4 板大角度的漫反射特性较之小角度略差 . 大发散光束照明 F4 板大角度时散射强度有所上升, 说明 F4 板在大发散角光束照明时, 在散射角较大时不遵守朗伯余弦定律 .

当入射角从 0° 变到 30° 时, 我们得到类似的结果, 如图 4 所示 . 从图 4 的 F4 漫反射板 $f_r \cos\theta_s$ 随探测角变化曲线可以看出, 在样品表面的法线方向 $\theta_s = 0, \cos\theta_s = 1$, 散射强度最大 . 如果对数据进行 $\cos\theta_s$ 矫正, F4 板在三种发散角光束照明时的 f_r 值随 θ_r 角均呈一条直线, 说明对不同的光束入射角, F4 板在一定的探测角内也呈现良好的漫反射特性 .

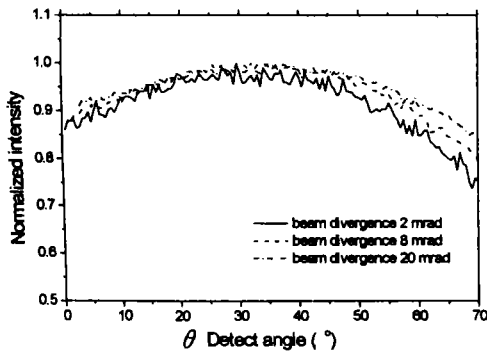


图 4 30°照明时, F4 板的 $f_r \cos\theta_s$ 随探测角变化曲线
Fig. 4 The curve of F4 plate $f_r \cos\theta_s$ versus detection angle for 30 degree beam

为了研究 F4 漫反射板角分布特性与照明波长的关系, 采用 4 种激光波长准直光束照明样品, 图 5 为 0° 入射时 F4 漫反射板 $\cos\theta_s$ 矫正后的角分布曲线 . 同样, 测量数据均对 $\theta_i = 1^\circ$ 时的数据

进行规一化处理 . 可以看出 F4 漫反射板对 4 种激光波长均呈现较平坦的散射角分布特性, 但是随着散射角的增大呈下降趋势, 散射角 40° 时, 强度下降约 5%. 可见光照明较之近红外照明, 散射角分布均匀 . 在所有测量中没有发现较强的后向散射峰, 从而说明只要选择合适的密度, F4 粉末压制的漫反射板, 其光散射特性极类似于朗伯面 .

即使是发散光束照明, F4 漫反射板也呈现了良好的近场漫反射特性, 结果如图 6 所示 . 同样, 测量数据作 $\cos\theta_s$ 矫正后, 大发散光束照明 F4 板大角度时散射强度随着 θ 的增加有所上升是由于探测器接收孔径立体角偏小引起的 . 一般地说, 散射光的表面, 其散射光有着很强的方向性, 表面散射的光强度与方向有关 . 但是, 对于标准漫反射板, 其辐照度与方向无关, 单位立体角的辐照度

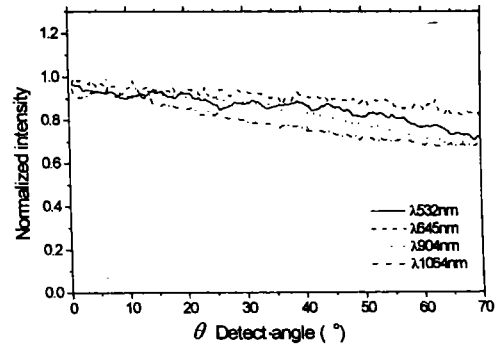


图 5 4 种激光波长 0° 照明时, F4 板的 f_r 随探测角变化曲线

Fig. 5 The curves of F4 plate versus detection angle under illumination of four wavelengths, respectively

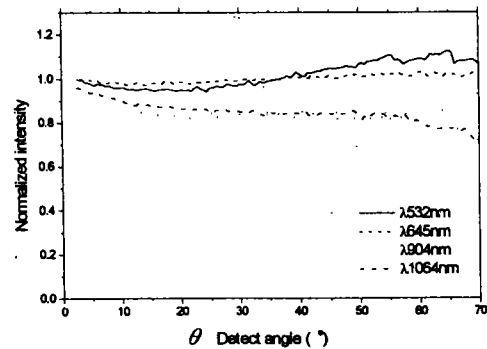


图 6 4 种激光波长, 大发散角照明时, F4 板的 f_r 随探测角变化曲线

Fig. 6 The curves of F4 plate f_r versus detection angle under illumination of four laser wavelengths respectively with big diverge angle

与表观面积 $dA \cos\theta$ 成正比. 与其它标准板相比, F4 粉末压制的漫反射标准板不但对可见、近红外非相干光波段有相当平坦的光谱特性³, 而且对相干光也呈现较平坦的光谱特性, 并且对远场和近场光束均呈现良好的漫反射特性.

正如需要理想的漫反射标准板一样, 也需要理想的消偏振特性, 即使没有这样一种表面, 也应该知道漫反射表面所反射辐射的偏振特性. 因此, 分别在照射激光器前和光电倍增管前放置偏振器, 我们研究了 F4 漫反射板的偏振特性. 样品台水平旋转, 入射光束与样品表面法线方向组成入射平面. 在所有测量中激光器均为水平偏振, 定义散射光的偏振与入射平面垂直为 I_s , 入射平面平行为 I_p , 那么, 散射光的偏振度为

$$V_s = [(I_s - I_p) / (I_s + I_p)] \times 100\% \quad (4)$$

不难看出, 对完全消偏振的表面, $I_s = I_p$, $V_s = 0$, 对

完全偏振的表面, $I_s = 0$ 或 $I_p = 0$, $|V_s| = 1$, 对部分消偏振的表面, $I_s \neq I_p$, $0 < V_s < 1$. 图 7~9 分别给出波长 532nm、波长 640nm 和波长 904nm 照射时, F4 漫反射板的偏振随探测角变化特性. 测量数据没有进行 $\cos\theta_s$ 修正, 也就是 $I_p \cos\theta_s$ 和 $I_s \cos\theta_s$ 随探测角变化曲线.

从图中可以看出 F4 漫反射板有很好的消偏振特性, I_p 和 I_s 随探测角改变非常接近. 当然, 随探测角的改变, 消偏振度还是有一些变化, 但这种变化是很小的. 值得注意的是探测角增加时, 短波段的消偏振特性优于长波段, 可能是由于短波段散射强的原因引起. 根据我们的结果和其他研究结果⁵, 似乎有一个定性的规律, 表面的漫反射特性越好, 其消偏振特性也越好, 漫反射特性和消偏振特性有一个线性关系. 我们认为消偏振度与表面结构有密切的关系, 对光滑表面, 偏振光照

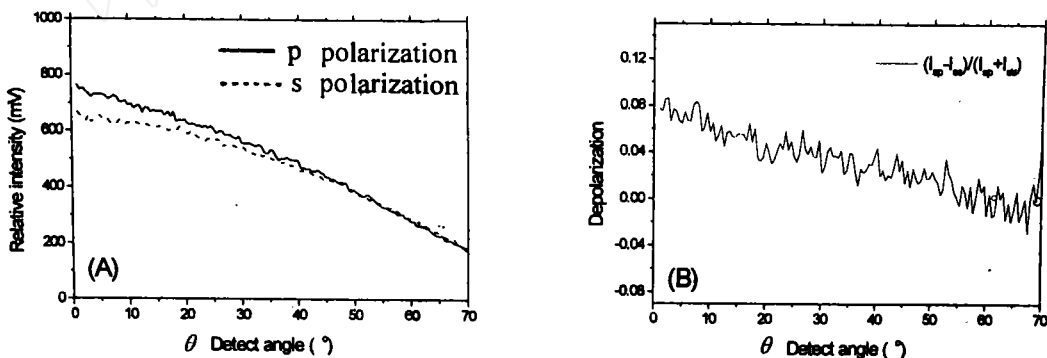


图 7 波长 532nm 照明时, F4 板的偏振特性. (A) F4 板的 $I_p \cos\theta_s$ 和 $I_s \cos\theta_s$ 随探测角变化曲线; (B) V_s 随探测角变化曲线

Fig. 7 The polarization property of F4 plate under illumination wavelength 532nm. (A) the curve of F4 plate $I_p \cos\theta_s$ and $I_s \cos\theta_s$ versus detection angle. (B) the curve of V_s versus detection angle

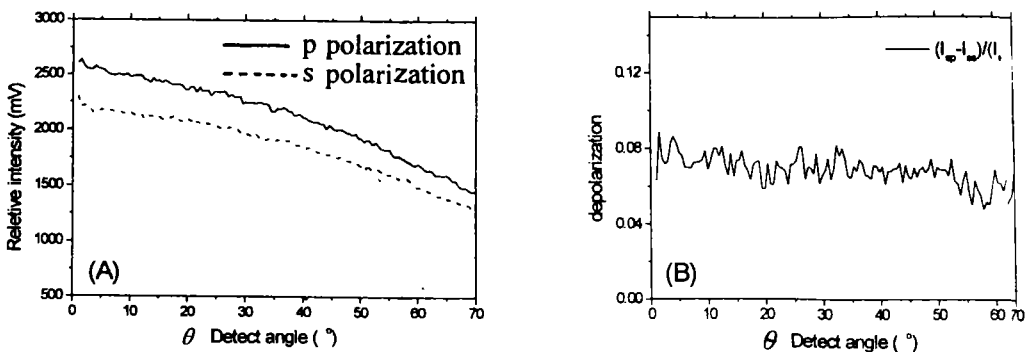


图 8 波长 640nm 照明时, F4 板的偏振特性. (A) F4 板的 $I_p \cos\theta_s$ 和 $I_s \cos\theta_s$ 随探测角变化曲线; (B) V_s 随探测角变化曲线

Fig. 8 The polarization property of F4 plate under illumination wavelength 640nm. (A) the curve of F4 plate $I_p \cos\theta_s$ and $I_s \cos\theta_s$ versus detection angle. (B) the curve of V_s versus detection angle

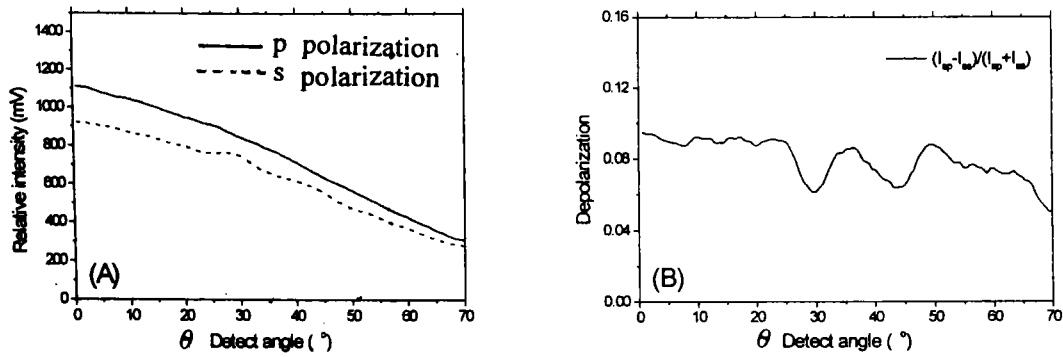


图9 波长904nm照明时,F₄板的偏振特性。(A)F₄板的 $I_p \cos \theta_s$ 和 $I_s \cos \theta_s$ 随探测角变化曲线;(B) V_s 随探测角变化曲线

Fig. 9 The polarization property of F₄ plate under illumination wavelength 904nm. (A)the curve of F₄ plate $I_p \cos \theta_s$ and $I_s \cos \theta_s$ versus detection angle. (B)the curve of V_s versus detection angle

射时其散射光仍然存在很强的偏振特性,特别是小角度散射时⁶。与我们的结果类似,探测角较小时的消偏振度低于探测角较大时的消偏振度。散射光的偏振分量是由于单次散射引起,而非偏振分量则是多次散射造成。在F₄漫反射板的情况下,多次散射起着主导作用。

4 结论

对聚四氟乙烯粉末压制的F₄漫反射标准板

的角散射反射分布特性和偏振特性的测量结果表明无论是在远场还是近场光束照射下,该板均呈现良好的漫反射特性和解偏振特性。在大多数工程应用和激光应用中,F₄漫反射板可以作为标准参考板使用。F₄漫反射板的红外角散射和偏振特性,以及与其它红外漫反射板的比较正在进一步研究中。

参考文献

- 1 Weidner V R, Hsia J J. Reflection properties of pressed polytetrafluoroethylene powder. J Opt Soc Am, 1981, 71(7): 856~861
- 2 Fernandez R, Seasholtz R G, Oberle L G. Comparison of the bidirectional reflectance distribution function of various surface. NASA technical memorandum, 1988: 101317
- 3 Weidner V R, Hsia J J. Reflection properties of pressed polytetrafluoroethylene powder. J Opt Soc Am, 1981, 71(7): 856~861
- 4 Germer T A, Asmail C C. Bidirectional ellipsometry and its application to the characterization of surfaces. SPIE, 1997, 3121: 173~182
- 5 Oppenheim U P. Depolarization of infrared radiation reflected from rough surfaces. SPIE, 1997, 3121: 259~266
- 6 Dainty J C, Kim M J, Sant A J. Measurements of angular scattering by randomly rough metal and dielectric surfaces. in: edited Nieto-Vesperinas M. Scattering in volumes and surfaces. North-Holland Press, 1990: 143~155

ANGULAR DISTRIBUTION PROPERTIES OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE (F₄) DIFFUSE REFLECTIVE PLATE

Zhang Yujun, Liu Wenqing, Song Bingchao, Wang Fengping, Zheng Chaohui, Zhou Bing
Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei 230031

Received date: 1999-05-25

Abstract Angular distribution and depolarization properties of polytetrafluoroethylene diffuse reflective plate were investigated under multiwavelength laser illumination with difference beam divergences. Results indicate that this plate has a good diffuse reflectance and depolarization properties which can be used as a standard of diffuse reflectance.

Keywords Angular scattering distribution; Polytetrafluoroethylene reflectance plate; Laser



Zhang Yujun received his MS in signal processing from the University of Electronic Science and Technology of Xi'an in 1991. Now he is working on his Ph. D. degree in Anhui Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica. His current research interests include optronic signal processing and automatic control and image processing.