

文章编号: 1007-5461(2007)06-0714-07

用 Fourier 分解法测量材料表面的 Mueller 矩阵

吴云智, 魏庆农, 汪世美, 冯巍巍

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 中国科学院环境光学与技术重点实验室, 安徽 合肥 230031)

摘要: 测量系统采用双旋转延迟器结构, 通过两个 1/4 波片的周期变化, 对入射光、散射光的偏振态进行调制。由探测光强的 25 个 Fourier 分解系数可以计算得到样品的 Mueller 矩阵。为了检测测量系统的准确性, 将测量的 16 个自由空间 Mueller 矩阵分量和理想情况下的自由空间 Mueller 矩阵分量进行比较, 并给出了每个矩阵分量的标准误差。最后, 通过测量聚四氟乙烯样品板的 Mueller 矩阵, 定量地分析样品的退偏效应。

关键词: 光学偏振; Mueller 矩阵; Fourier 分解; 聚四氟乙烯

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A

1 引言

光入射到材料表面上时会和材料发生相互作用, 使散射光的偏振态发生变化, 这种变化和材料自身的介电常数、粗糙度、表面结构、含水量等有密切关系^[1]。通常用 Mueller 矩阵表示材料对散射光偏振态的影响, 表征材料对散射光偏振态影响的参数, 如位相延迟 (retardance)、退偏 (depolarization) 以及偏振 (polarizance), 都包含在材料 Mueller 矩阵的信息之中^[2,3]。测量和分析材料的 Mueller 矩阵有利于了解不同材料独特的偏振特性, 并将其中的偏振信息提取出来, 可广泛地应用于目标识别、材料隐身、目标特征提取等研究领域^[4]。

调制入射光、散射光的偏振态是测量 Mueller 矩阵最基本的方法。其中, 常见的是波片旋转法。Bickel 提出利用若干偏振片、波片组合成起偏系统和检偏系统, 旋转改变各光学元件的夹角, 采用不同的起偏、检偏组合, 进行矩阵测量。由于测量系统中除样品 Mueller 矩阵待定外, 其它均已知, 因此至少需要 16 次相互独立的测量便可以计算出样品 Mueller 矩阵的 16 个矩阵元。这种方法的原理易懂, 算法简单, 但是由于测量过程中需要旋转检偏器, 使入射光的偏振态发生变化, 并且探测器因其偏振敏感性将产生探测误差。1978 年, Azzam^[5]对上述方法提出了改进, 两个偏振片的偏振方向固定不变, 两个 1/4 波片以一定的角度比例同步旋转, 对入射光、散射光的偏振态进行调制, 使探测的光强可以通过 Fourier 分解计算获得 Mueller 矩阵的 16 个分量。Azzam^[6]又提出分振幅 (DOAP) 方法, 待测光束通过 1 个分束器和两个 Wollaston 棱镜分为四路, 由四个探测器同步分析测量获得 Stokes 向量。Krishnan^[7]则将 DOAP 技术应用于 Mueller 矩阵的测量, 利用一个固定的偏振片和可旋转的 1/4 波片产生不同的入射光偏振态, 利用 DOAP 技术分析散射光从而获得样品的 Mueller 矩阵。

除了波片旋转法, 还可以利用相位调制法测量样品的 Mueller 矩阵。相位调制法利用光弹调制器 PEM 实现相位的自动调制和检测实现自动起偏和检偏, 根据 Mueller 矩阵的对称性, 改变光路设置可以测得不同的矩阵元。Anderson^[8]较早地提出利用两个不同调制频率的 PEM 通过 4 次分析散射光信号从而一次性获得全部矩阵元, 该方法具有实时快速的优点, 但是系统庞大、复杂。Compain^[9]提出了另一种后来被广泛采用的测量方法, 入射光的 4 个 Stokes 向量通过一个 PEM 或多通道的相位调制器进行调制, 出射光采用 Azzam 提出的 DOAP 技术分析, 从而可以快速获得样品的 Mueller 矩阵。

测量 Mueller 矩阵的方法各个研究组的报道不尽相同, 根据实际测量的需求和实验条件可以选择不同的测量方案。本文在 Azzam 提出的利用双旋转延迟器结构测量样品 Mueller 矩阵方法的理论上, 设

计了测量系统, 并利用最小二乘算法对光强测量值的有关方程进行优化求解, 得到优化的光强 Fourier 系数, 减小随机误差对系数的影响, 再通过 Fourier 系数获得样品的 Mueller 矩阵。实验测量了自由空间的 Mueller 矩阵, 并将测量结果和理想的自由空间矩阵进行比较, 检验测量系统的准确性。最后, 通过实验测量给出退偏效应较强的样品 F4 (聚四氟乙烯) 的 Mueller 矩阵, 并定量分析它的退偏效果。

2 Fourier 分解法的原理

Fourier 分解法测量样品 Mueller 矩阵的装置主要由光源、起偏系统、检偏系统和探测器组成。如图 1 所示, 起偏系统、检偏系统分别由一对偏振片和 1/4 波片组成, 两个 1/4 波片以 1:5 的角度同步旋转。入射光的 Stokes 向量记作 S^{inc} ; 偏振片 P_1 、 P_2 的偏振方向均固定在水平方向不变, 其 Mueller 矩阵分别记作 P_1 、 P_2 ; 1/4 波片 C_1 、 C_2 的快轴和水平方向夹角分别为 θ 、 5θ , 它们的 Mueller 矩阵分别记作 C_1 、 C_2 ; 样品的 Mueller 矩阵记作 M ; 出射光的 Stokes 向量记作 S^{out} 。偏振片、1/4 波片的 Mueller 矩阵如下

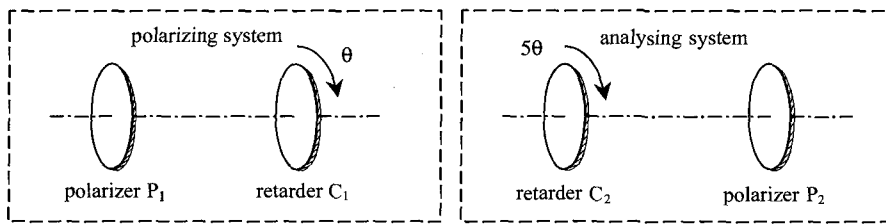


Fig.1 Dual rotating retarders configuration

$$P_1 = P_2 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$C_1(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos^2 2\theta & \sin 2\theta \cos 2\theta & -\sin 2\theta \\ 0 & \sin 2\theta \cos 2\theta & \sin^2 2\theta & \cos 2\theta \\ 0 & \sin 2\theta & -\cos 2\theta & 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$C_2 = C_1(5\theta). \quad (3)$$

进入探测器的探测光 Stokes 向量为

$$S^{\text{out}} = P_2 C_2 M C_1 P_1 S^{\text{inc}}. \quad (4)$$

探测光的强度是探测光 Stokes 向量的第一个分量, 用 I 表示

$$I = S_0^{\text{out}} = AMGS = \frac{1}{2}(m_{00} + m_{01} \cos^2 2\theta + m_{02} \sin 2\theta \cos 2\theta + m_{03} \sin 2\theta + m_{10} \cos^2 10\theta + m_{11} \cos^2 10\theta \cos^2 2\theta + m_{12} \cos^2 10\theta \sin 2\theta \cos 2\theta + m_{13} \cos^2 10\theta \sin 2\theta + m_{20} \sin 10\theta \cos 10\theta + m_{21} \sin 10\theta \cos 10\theta \cos^2 2\theta + m_{22} \sin 10\theta \cos 10\theta \sin 2\theta \cos 2\theta + m_{23} \sin 10\theta \cos 10\theta \sin 2\theta - m_{30} \sin 10\theta - m_{31} \sin 10\theta \cos^2 2\theta - m_{32} \sin 10\theta \sin 2\theta \cos 2\theta - m_{33} \sin 10\theta \sin 2\theta), \quad (5)$$

其中 S_0^{out} 是 S^{out} 的第一个分量, G ($G = C_1 * P_1$) 是起偏系统的 Mueller 矩阵, A 是由检偏系统 Mueller 矩阵 ($P_2 * C_2$) 第一行的四个分量组成的行向量。

利用二倍角公式、积化和差公式，改变式 (5) 等号右边的平方项和正弦、余弦乘积项的形式，将探测光强写成 Fourier 级数的形式^[10]

$$I = a_0 + \sum_{i=1}^{12} (a_i \cos 2i\theta + b_i \sin 2i\theta). \tag{6}$$

将式 (5) 和式 (6) 比较，可知探测光强 I 的 Fourier 系数是样品 Mueller 矩阵元素的函数。变换表 1 中的关系式，可以用 Fourier 系数表示 Mueller 的各个分量，如表 2 所示。其中， m_{ij} 表示矩阵第 $i + 1$ 行 $j + 1$ 列的分量。因此，由求解出的 Fourier 系数可以计算出样品 Mueller 矩阵的 16 个分量。

Table 1 Fourier coefficients of intensity in terms of Sample's Mueller matrix

$a_0 = \frac{1}{2}m_{00} + \frac{1}{4}m_{01} + \frac{1}{4}m_{10} + \frac{1}{8}m_{11}$	$a_9 = \frac{1}{8}m_{23}$	$b_5 = -\frac{1}{2}m_{30} - \frac{1}{4}m_{32}$
$a_1 = 0$	$a_{10} = \frac{1}{4}m_{10} + \frac{1}{8}m_{11}$	$b_6 = 0$
$a_2 = \frac{1}{4}m_{01} + \frac{1}{8}m_{11}$	$a_{11} = -\frac{1}{8}m_{23}$	$b_7 = -\frac{1}{8}m_{32}$
$a_3 = -\frac{1}{8}m_{32}$	$a_{12} = \frac{1}{16}m_{11} - \frac{1}{16}m_{22}$	$b_8 = -\frac{1}{16}m_{12} + \frac{1}{16}m_{21}$
$a_4 = -\frac{1}{4}m_{33}$	$b_0 = 0$	$b_9 = -\frac{1}{8}m_{13}$
$a_5 = 0$	$b_1 = \frac{1}{2}m_{03} + \frac{1}{4}m_{13}$	$b_{10} = \frac{1}{4}m_{20} + \frac{1}{8}m_{21}$
$a_6 = \frac{1}{4}m_{33}$	$b_2 = \frac{1}{4}m_{02} + \frac{1}{8}m_{12}$	$b_{11} = \frac{1}{8}m_{13}$
$a_7 = \frac{1}{8}m_{32}$	$b_3 = -\frac{1}{8}m_{31}$	$b_{12} = \frac{1}{16}m_{12} + \frac{1}{16}m_{21}$
$a_8 = \frac{1}{16}m_{11} + \frac{1}{6}m_{22}$	$b_4 = 0$	

Table 2 Sample's Mueller matrix in terms of Fourier coefficients of intensity

$m_{00} = 2(a_0 - a_2 + a_8 - a_{10} + a_{12})$	$m_{20} = -4(b_8 - b_{10} + b_{12})$
$m_{01} = 4(a_2 - a_8 - a_{12})$	$m_{21} = 8(b_8 + b_{12})$
$m_{02} = 4(b_2 - b_8 - b_{12})$	$m_{22} = 8(a_8 - a_{12})$
$m_{03} = 2(b_1 + b_9 - b_{11})$	$m_{23} = 4(a_9 - a_{11})$
$m_{10} = -4(a_8 - a_{10} + a_{12})$	$m_{30} = 2(b_3 - b_5 + b_7)$
$m_{11} = 8(a_8 + a_{12})$	$m_{31} = -4(a_3 + a_7)$
$m_{12} = 8(-b_8 + b_{12})$	$m_{32} = -4(a_3 - a_7)$
$m_{13} = 8(-b_9 + b_{11})$	$m_{33} = 4(a_6 - a_4)$

3 实验装置及计算方法

在 Azzam 提出的理论方法的基础上，设计了样品 Mueller 矩阵的测量系统，如图 2 所示。激光器、斩波器、光阑、起偏系统安装在入射臂上，检偏系统、探测器安装在探测臂上，样品放置在样品夹持器上，样品夹持器可以从样品台上移走，入射臂和探测臂可以围绕样品台转动。激光器波长为 1064 nm，探测器采用日本滨松 R632-01 型光电倍增管，其响应波段范围为 400 nm~1200 nm。为消除杂散光的影响，利用

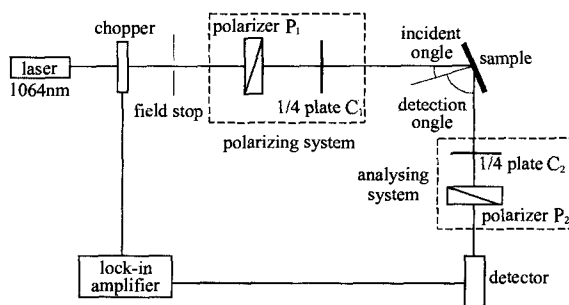


Fig.2 Scheme of measurement system

斩波器对入射光进行频率调制, 调制频率设置为 500 Hz。光电倍增管探测到的光强信号由锁相放大器输出。

实验测量中, 起偏器 P_1 和 P_2 的偏振方向始终固定在水平方向不变, 通过规律改变波片 C_1 、 C_2 的快轴和水平方向的夹角 θ 、 5θ , 对入射光和散射光的偏振态进行调制。开始时, 夹角 θ 、 5θ 均为 0° , 以后每次测量, θ 以 6° 递增, 5θ 以 30° 同向递增。为了减少光束漂移引起的误差, $1/4$ 波片 C_1 累计旋转半周, 角度 θ 取值依次为 0° 、 6° 、 \dots 、 174° , 角度 5θ 取值依次为 0° 、 30° 、 \dots 、 870° , 得到 30 个调制的光强测量值 I_1 、 I_2 、 \dots 、 I_{30} , 这样就完成了一组测量。

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_{30} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos 2\theta_1 & \cos 4\theta_1 & \cdots & \cos 24\theta_1 & \sin 2\theta_1 & \sin 4\theta_1 & \cdots & \sin 24\theta_1 \\ 1 & \cos 2\theta_2 & \cos 4\theta_2 & \cdots & \cos 24\theta_2 & \sin 2\theta_2 & \sin 4\theta_2 & \cdots & \sin 24\theta_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \cos 2\theta_{30} & \cos 4\theta_{30} & \cdots & \cos 24\theta_{30} & \sin 2\theta_{30} & \sin 4\theta_{30} & \cdots & \sin 24\theta_{30} \end{bmatrix} * F, \quad (7)$$

上式中, I_i , θ_i 的下标 i 表示第 i 次测量, θ_1 、 θ_2 、 \dots 、 θ_{30} 的值分别为 0° 、 6° 、 \dots 、 174° 。 F 是由光强 Fourier 系数组成的列向量

$$F = [a_0 \ a_1 \ a_2 \ \cdots \ a_{12} \ b_1 \ b_2 \ \cdots \ b_{12}]^T, \quad (8)$$

式 (7) 中, 25 个 Fourier 系数是未知数, 其它均已知, 通过求解这 30 个方程可以获得光强的 25 个 Fourier 系数。

方程的个数大于未知数的个数, 因此这是一个超定方程组。测量中的随机误差主要由光源的不稳定性和角度旋转误差组成, 这些随机误差将引起测量光强波动, 并且这种波动也具有一定的随机性。如何最大程度消除随机误差对光强 Fourier 系数的影响是数据处理中的一个难点。本文利用最小二乘算法对线性超定方程组进行优化求解, 减小了随机误差对结果的影响, 得到最优的 Fourier 系数, 在一定程度上提高了 Mueller 矩阵计算结果的准确性。

4 实验结果

4.1 检测测量系统的准确性

首先对自由空间进行测量, 通过比较测量的自由空间 Mueller 矩阵和理想的自由空间矩阵, 来检验测量系统的准确性。如图 3 所示, 当移去样品台上的样品夹持器和样品, 并将探测臂和入射臂转至平行的位置时, 起偏系统和检偏系统之间并不存在实体样品, 而是自由空间, 测量的对象变成两个 $1/4$ 波片之间的自由空间。实验采取多次测量求平均值的方法。在不同时段进行十组测量, 再对十组光强数据分别进行优化计算, 得到 10 组 Fourier 系数, 再根据表 2 所示的关系由 Fourier 系数获得自由空间的十个测量矩阵 M^1 、 M^2 、 \dots 、 M^{10} , 如下表 3 所示。

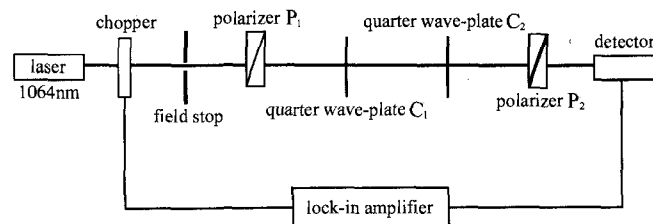


Fig.3 Configuration applied to measure the Mueller matrix of air

Table 3 Measured Mueller matrix of air

$M^1 =$	1.0000	-0.0172	0.0275	0.0233	$M^2 =$	1.0000	-0.0217	0.0203	0.0062
	-0.0161	1.0214	-0.0064	0.0323		-0.0210	1.0284	0.0202	0.0197
	0.0133	0.0120	0.9494	0.0359		0.0198	0.0225	0.9370	0.0227
	0.0125	-0.0182	-0.0217	0.9120		0.0046	0.0089	-0.061	0.9102
$M^3 =$	1.0000	-0.0303	0.0368	0.0130	$M^4 =$	1.0000	-0.0101	0.0362	-0.0054
	-0.0310	1.0327	-0.0261	0.0258		-0.0102	1.0158	-0.0337	0.0167
	0.0211	0.0571	0.9639	0.0330		0.0054	0.0261	0.9668	0.0463
	0.0135	-0.0084	0.0071	0.9105		-0.0032	0.0036	0.0002	0.8959
$M^5 =$	1.0000	-0.0171	0.0314	0.0138	$M^6 =$	1.0000	-0.0120	0.0182	0.0198
	-0.0173	1.0369	0.0097	0.0003		-0.0124	1.0321	-0.0379	0.0036
	0.0113	0.0373	0.9913	0.0222		0.0231	0.0780	0.9700	0.0428
	0.0076	-0.0127	-0.0237	0.8856		0.0118	-0.0135	0.0076	0.8908
$M^7 =$	1.0000	-0.0131	0.0204	0.0176	$M^8 =$	1.0000	-0.0231	0.0192	0.0108
	-0.0203	1.0239	0.0117	0.0123		-0.0246	1.0310	0.0036	0.0091
	0.0153	0.0173	0.9803	0.0278		0.0103	0.0214	0.9601	0.0246
	0.0096	-0.0087	-0.0097	0.9209		0.0067	-0.0132	-0.0082	0.8992
$M^9 =$	1.0000	0.0051	0.0243	0.0168	$M^{10} =$	1.0000	-0.0128	0.0243	0.0152
	-0.0215	1.0241	0.0064	0.0031		-0.0241	1.0127	0.0081	0.0103
	0.0132	0.0323	0.9894	0.0192		0.0098	0.0401	0.9872	0.0218
	0.0109	-0.0101	-0.0173	0.9233		0.0171	-0.0223	-0.0193	0.8982

对 10 个矩阵的各个分量取平均值, 得到 \bar{M}

$$\bar{M} = \begin{bmatrix} 1.0000 & -0.0152 & 0.0259 & 0.0131 \\ -0.0199 & 1.0259 & -0.0044 & 0.0133 \\ 0.0086 & 0.0344 & 0.9695 & 0.0296 \\ 0.0091 & -0.0095 & -0.0091 & 0.9047 \end{bmatrix},$$

自由空间对传输光的偏振态没有任何影响, 因此理论上自由空间的 Mueller 矩阵 M^0 是一个单位矩阵

$$M^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \tag{9}$$

将 \bar{M} 和 M^0 比较, 计算各个分量的标准误差 $\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^6 (\bar{m}_{ij}^k - m_{ij}^0)^2}{10-1}}$, 如表 4 所示。

Table 4 Standard error of each Mueller matrix element

$\sigma_{01} = 0.0186$	$\sigma_{02} = 0.0281$	$\sigma_{03} = 0.0160$	$\sigma_{10} = 0.0218$	$\sigma_{11} = 0.0284$
$\sigma_{12} = 0.0212$	$\sigma_{13} = 0.0174$	$\sigma_{20} = 0.0160$	$\sigma_{21} = 0.0415$	$\sigma_{22} = 0.0368$
$\sigma_{23} = 0.0362$	$\sigma_{30} = 0.0111$	$\sigma_{31} = 0.0137$	$\sigma_{32} = 0.0149$	$\sigma_{33} = 0.1013$

系统中随机误差主要指光源功率不稳定性、角度旋转误差。除随机误差外还存在系统固有误差, 主要包括波片的快轴方向误差、位相延迟误差和探测器探测误差。为了降低随机误差对测量结果的影响, 本文采取了两种方法: 一是通过多次测量取平均值; 二是利用最小二乘算法对数据进行处理, 通过优化求解超

定线性方程组的方法减小随机误差对光强 Fourier 系数计算结果的影响, 但固有误差难以消除。自由空间 Mueller 矩阵各个分量的测量结果偏离其理想值主要是系统固有误差影响的结果。如表 4 所示, 系统误差对矩阵每个分量的影响是不同的, 但计算的标准偏差表明误差影响比较小, 此系统具有较高的测量准确性。

4.2 F4 样品的测量结果

利用本测量系统对样品进行测量得到其 Mueller 矩阵, 由测量的 Mueller 矩阵可以获得样品的偏振特性。聚四氟乙烯 (简称 F4) 样品板因为其稳定性、表面均匀、漫反射等物理化学特性, 广泛地用于积分球表面, 并在测量定标等方面有着重要作用。F4 样品板具有较好的漫射特性, 接近于朗伯漫射体。通常, 表面的漫反射特性越好, 其退偏特性也越好, 漫反射特性和退偏特性成线性关系。但对于非理想退偏器, 镜向方向上的退偏效果相比其他方向稍差一些。调整入射角和探测角, 使它们均为 45° , 在镜向方向上对 F4 样品的 Mueller 矩阵进行测量。对 F4 样品进行 30 次测量, 调制光强值如图 4 所示。利用测量光强计算出 F4 的 Mueller 矩阵

$$M_{\text{sample}} = \begin{bmatrix} 1.0000 & -0.1608 & -0.0269 & 0.0067 \\ -0.1624 & 0.2356 & 0.0287 & -0.0004 \\ -0.0069 & 0.0147 & -0.0663 & 0.0388 \\ -0.0079 & -0.0240 & -0.0428 & -0.0191 \end{bmatrix}$$

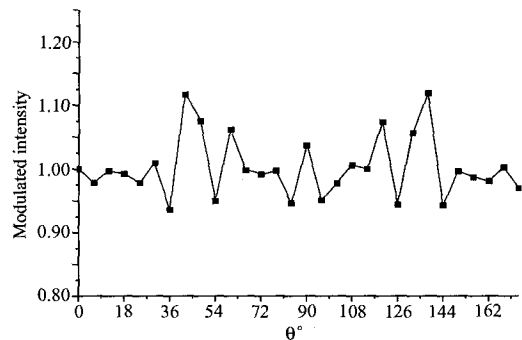


Fig.4 Intensity of measurement

当入射光是线偏振光时, 经样品散射后变成椭圆偏振光, 这种现象称为退偏效应, 用材料的退偏系数 d 来描述^[11]

$$d = m_{00} - \sqrt{\frac{1}{3}[\text{Tr}(M^{T*}M) - m_{00}^2]}. \quad (10)$$

当 $d = 0$ 时, 此材料是完全非退偏材料, 不改变入射光的偏振态; $d = 1$ 时, 是完全退偏材料, 将任何偏振态的入射光退偏成非偏光。

将 M_{sample} 带入上式计算得 $d_{\text{sample}} = 0.8029$, 说明即使在镜向方向 F4 样品板也具有较强的退偏效果。散射光的偏振分量是由单次散射引起, 而非偏振分量则是多次散射造成的, 对于 F4 样品板, 多次散射起主导作用, 因此具有较强的退偏效应。

5 结 论

本文采用双旋转延迟器结构, 固定起偏系统、检偏系统的偏振片, 只通过旋转两个波片来调制入射光和散射光。此方法具有多个优点: 虽算法复杂, 但测量装置结构简单; 由于激光器发出的光是偏振光, 固定起偏器的偏振方向保证了入射到样品上的光的强度 I_0 不发生变化; 固定检偏器, 使入射光电倍增管的光始终是水平线偏振光, 避免了探测器的偏振敏感性带来的探测误差。

通过测量的自由空间 Mueller 矩阵和理想自由空间矩阵的比较, 说明了此装置的测量误差比较小。利用此装置测量了 F4 样品镜向方向的 Mueller 矩阵, 由计算出的退偏系数 d 定量说明了 F4 样品较强的退偏效应。

在下一步工作中, 将对测量系统的误差进行分析, 提高系统的精确性, 并从测量的矩阵中提取多种偏振信息, 为我们探索光与材料之间复杂的相互作用和材料自身的性质、特性提供方法。

参考文献:

- [1] Mujat M, Dogariu A. Real-time measurement of the polarization transfer function [J]. *Appl. Opt.*, 2001, 40: 34-44.
- [2] Lu S Y, Chipman R A. Generalized diattenuation and retardance for inhomogeneous polarization elements [C]. *SPIE*, 1992, 1746: 197-200.
- [3] Soe-Mie, Nee F. Depolarization and principal Mueller matrix measured by null ellipsometry [J]. *Appl. Opt.*, 2001, 40: 4933-4939.
- [4] Zhao Yongqiang, Zhang Hongcai, Pan Quan. Object detection through polarization characteristics [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics* (量子电子学报), 2003, 20(6): 685-688 (in Chinese).
- [5] Azzam R M A. Photopolarimetric measurement of the Mueller matrix by Fourier analysis of a single detected signal [J]. *Opt. Lett.*, 1978, 2(6): 148-150.
- [6] Azzam R M A. Division-of-amplitude photopolarimeter(DOAP) for the simultaneous measurement of all four Stokes parameters of light [J]. *Opt. Acta.*, 1982, 29: 685-689.
- [7] Krishnan S. Mueller matrix ellipsometry using the division-of-amplitude photopolarimeter:a study of depolarization effects [J]. *Appl. Opt. A*, 1994, 33: 4184-4192.
- [8] Anderson R. Measurement of mueller matrix [J]. *Appl. Opt.*, 1992, 31: 11-13.
- [9] Compain E. Complete hight-frequency measurement of Mueller matrices base on a new coupled-phase modulator [J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 1997, 68: 2671-2680.
- [10] Lianhua Jin. Mueller matrix polarimeter in 157 nm [C]. *SPIE.*, 2003, 5188: 146-153.
- [11] Lee F. Roy-Brehonnet, Utilization of mueller matrix formalism to obtain optical targets depolarization and polarization properties [J]. *Prog. Quanr. Elecrr.*, 1997, 21: 109-151.

Measurement of material surface's Mueller matrix by Fourier decomposition

WU Yun-zhi, WEI Qing-nong, WANG Shi-mei, FENG Wei-wei

(Key Laboratory of Environmental Optics & Technology, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Scinces, Hefei 230031, China)

Abstract: Dual rotating retarder configuration is applied in measurement system, whose incident and scattering light are modulated by synchronously rotating two quarter wave-plates. From the 25 Fourier coefficients measured by performing Fourier decomposition of the signal, the 16 elements of sample's Mueller matrix are determined. We compare the experiment data of air with the ideal matrix to check the accuracy of measurement system, and present the standard error of each Mueller matrix element. Finally, the depolarization of polytetrafluoroethylene sample is analyzed quantitatively by the measured Mueller matrix.

Key words: optical polarization; Mueller matrix; Fourier decomposition; polytetrafluoroethylene

作者简介: 吴云智 (1982 -), 女, 在读硕士研究生, 主要从事环境中光散射特性的研究。

导师简介: 魏庆农 研究员, 主要从事的研究方向: 典型材料的光学散射特征研究, 大气环境光学监测新方法与新技术。

E-mail: qnwei@aiofm.ac.cn