

旋转波片法偏振检测装置器件参数校准

汤飞龙^{1,2} 李中梁^{1,2} 步 扬^{1,2} 王向朝^{1,2} 范李立¹ 王 瑄^{1,2} 曹绍谦^{1,2}

(¹ 中国科学院上海光学精密机械研究所信息光学与光电技术实验室, 上海 201800)

² 中国科学院大学, 北京 100049

摘要 波片相位延迟量误差、快轴角度误差和检偏器透光轴角度误差是影响基于旋转波片法的偏振检测装置测量精度的主要因素。通过对波片和检偏器参数进行校准,可有效提高检测装置测量精度。针对现有校准方法操作复杂的不足,提出一种偏振检测装置器件参数校准新方法。该方法以水平线偏振光 $[1,1,0,0]^T$ 作为标准参考光,分别在检偏器方位角为 0° 和 45° 时,对标准参考光各进行一次测量,计算得出器件参数误差,从而实现偏振检测装置器件参数校准。实验结果表明,通过器件参数校准,偏振检测装置测量误差由原来的 3%降低至 0.87%以内。

关键词 测量;偏振检测;校准;器件参数;斯托克斯参量;旋转波片法

中图分类号 O436.3 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS201333.0912005

Calibration of Rotating Quarter-Wave Method Based Polarimeter

Tang Feilong^{1,2} Li Zhongliang^{1,2} Bu Yang^{1,2} Wang Xiangzhao^{1,2}

Fan Lili¹ Wang Xuan^{1,2} Cao Shaoqian^{1,2}

¹Laboratory of Information Optics and Opt-Electronic Technology, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China

²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract The retardation error, the fast axis angle error of wave-plate and the angle error of polarizer are the main error sources of polarimeter based on rotating quarter-wave method. The measurement accuracy can be effectively improved by calibrating the polarimeter. A new simple calibration method of polarimeter is proposed. Horizontal linearly polarized light $[1,1,0,0]^T$ is used as a standard reference light, and it is measured when the polarizer is fixed on 0° and 45° respectively. The parameter errors of device can be calculated and obtained to calibrate the polarimeter. The experimental results show that the measurement error is reduced by the proposed method from 3% to less than 0.87%.

Key words measurement; polarization measurement; calibration; device parameters; Stokes parameters; rotating quarter-wave method

OCIS codes 120.5410; 260.2130; 260.5430

1 引 言

偏振光照明技术是提高大数值孔径光刻机光刻成像质量的重要手段^[1-4],高精度的照明光偏振参数检测是实现该技术的前提与基础^[5-7]。旋转波片法是光刻照明光偏振参数检测领域的常用方法,ASML、Nikon 等光刻设备厂商均采用该方法进行

照明光偏振参数检测^[5-10]。基于该方法的偏振检测装置由 1/4 波片、检偏器和光电探测器组成,测量过程中待测光束通过旋转波片和固定检偏器后由光电探测器探测。波片的相位延迟量误差、快轴角度误差和检偏器的透光轴角度误差是影响该装置检测精度的主要因素^[11]。通过对上述器件参数进行校

收稿日期: 2013-04-22; 收到修改稿日期: 2013-05-07

基金项目: 国家自然科学基金(60938003,61205102,61275207)、科技部国际科技合作专项(2011DFR10010)

作者简介: 汤飞龙(1988—),男,硕士研究生,主要从事偏振光技术与应用方面的研究。E-mail: tangfl@siom.ac.cn

导师简介: 步 扬(1973—),男,研究员,硕士生导师,主要从事信息光电子技术方面的研究。

E-mail: buyang@siom.ac.cn(通信联系人)

准,可有效提高检测装置测量精度。

常用的偏振检测装置器件参数校准方法有四点校准法^[12-13]和 Equator-poles 校准法^[14-15]。采用上述方法校准器件参数后,偏振检测装置测量精度均优于 1%^[16]。由于校准过程中均需利用偏振态发生器产生多束线性无关的标准参考光,并采用偏振检测装置对其进行至少 4 次测量,上述方法校准过程复杂。针对上述方法的不足,本文通过对旋转波片法测量过程进行分析,研究偏振检测装置器件参数误差与偏振参数测量误差之间的关系,提出一种偏振检测装置器件参数校准新方法,并对该方法进行了模拟计算与实验验证。

2 原 理

图 1 是旋转波片法偏振检测装置的示意图,装置由 1/4 波片 C、检偏器 A 和光电探测器 D 组成。待测光束经旋转的 1/4 波片 C 调制后,通过固定的检偏器 A,由光电探测器 D 探测。设待测光束

斯托克斯参量为 $\mathbf{S}=[S_0, S_1, S_2, S_3]^T$ (T 表示矩阵转置),待测光束偏振方位角为 φ ,1/4 波片 C 初始快轴角度为 θ_0 ,1/4 波片相位延迟量为 δ ,检偏器 A 透光轴角度为 α ,检偏器 A 消光比为 p 。

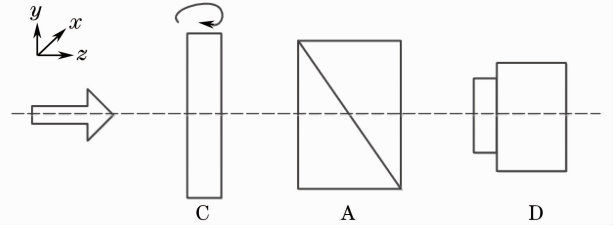


图 1 旋转波片法偏振检测装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the polarimeter based on rotating quarter-wave method

基于穆勒矩阵传输理论和傅里叶分析,可得待测光束的归一化斯托克斯参量表达式^[8-9]。为了得到 1/4 波片相位延迟量 δ 、初始快轴角度 θ_0 和检偏器透光轴角度 α ,在测量过程中引入的误差,利用归一化斯托克斯参量表达式分别对 δ 、 θ_0 和 α 进行微分可得

$$\frac{\partial S_{10}}{\partial \delta} \approx \frac{q}{Q^2} \sin \Phi [Q + \sin(2\alpha + \Phi)], \quad (1)$$

$$\frac{\partial S_{10}}{\partial \theta_0} \approx \frac{2q}{Q^2} [2Q \cos \Phi + \cos \Phi \sin(2\alpha + \Phi) - \sin 2\alpha], \quad (2)$$

$$\frac{\partial S_{10}}{\partial \alpha} \approx \frac{-q}{Q^2} [2Q \cos \Phi + \sin(2\alpha + 2\Phi) - \sin 2\alpha], \quad (3)$$

$$\frac{\partial S_{20}}{\partial \delta} \approx \frac{q}{Q^2} \cos \Phi [Q + \sin(2\alpha + \Phi)], \quad (4)$$

$$\frac{\partial S_{20}}{\partial \theta_0} \approx \frac{-2q}{Q^2} [2Q \sin \Phi + \sin \Phi \sin(2\alpha + \Phi) - \cos 2\alpha], \quad (5)$$

$$\frac{\partial S_{20}}{\partial \alpha} \approx \frac{q}{Q^2} [2Q \sin \Phi - \cos(2\alpha + 2\Phi) - \cos 2\alpha], \quad (6)$$

式中

$$Q = \frac{S_0}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}, \quad (7)$$

$$\tan \Phi = \frac{S_1}{S_2}, \quad (8)$$

$$q = \frac{p-1}{p+1}. \quad (9)$$

通常情况下,偏振棱镜的消光比 p 优于 10^5 ,则 q 可近似为 1。

采用水平线偏振光作为标准参考光,即以已知的水平线偏振光为测量对象,其斯托克斯参量为 $[1, 1, 0, 0]^T$,对应 $\Phi = \frac{\pi}{2}$ 。

当设置检偏器方位角为 0° ,即 $\alpha = 0^\circ$ 时,存在器件误差的情况下,测量标准参考光的归一化斯托克斯参量为 $\mathbf{S}^0 = [1, S_{10}^0, S_{20}^0, S_{30}^0]^T$,则有

$$\frac{\partial S_{10}}{\partial \delta} \approx 2, \quad \frac{\partial S_{10}}{\partial \theta_0} \approx 0, \quad \frac{\partial S_{10}}{\partial \alpha} \approx 0, \quad (10)$$

$$\frac{\partial S_{20}}{\partial \delta} \approx 0, \quad \frac{\partial S_{20}}{\partial \theta_0} \approx -4, \quad \frac{\partial S_{20}}{\partial \alpha} \approx 2. \quad (11)$$

当设置检偏器方位角为 45° ,即 $\alpha = 45^\circ$ 时,存在器件误差的情况下,测量标准参考光的归一化斯托克斯参量 $\mathbf{S}^{45^\circ} = [1, S_{10}^{45^\circ}, S_{20}^{45^\circ}, S_{30}^{45^\circ}]^T$,则有

$$\frac{\partial S_{10}}{\partial \delta} \approx 1, \quad \frac{\partial S_{10}}{\partial \theta_0} \approx -2, \quad \frac{\partial S_{10}}{\partial \alpha} \approx 2. \quad (12)$$

由(10)~(12)式分别可得

$$\Delta S_{10}^{0^\circ} = \frac{S_1^{0^\circ}}{S_0^{0^\circ}} - 1 \approx 2\Delta\delta, \quad (13)$$

$$\Delta S_{20}^{0^\circ} = \frac{S_2^{0^\circ}}{S_0^{0^\circ}} \approx -4\Delta\theta_0 + 2\Delta\alpha, \quad (14)$$

$$\Delta S_{10}^{45^\circ} = \frac{S_1^{45^\circ}}{S_0^{45^\circ}} - 1 \approx \Delta\delta - 2\Delta\theta_0 + 2\Delta\alpha. \quad (15)$$

联立(13)~(15)式可得

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 2 \\ 1 & -2 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta\theta_0 \\ \Delta\alpha \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \Delta S_{10}^{0^\circ} \\ \Delta S_{20}^{0^\circ} \\ \Delta S_{10}^{45^\circ} \end{bmatrix}. \quad (16)$$

计算可得器件参数误差 $\Delta\delta$ 、 $\Delta\theta_0$ 和 $\Delta\alpha$ 的具体数值

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta\theta_0 \\ \Delta\alpha \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 2 \\ 1 & -2 & 2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta S_{10}^{0^\circ} \\ \Delta S_{20}^{0^\circ} \\ \Delta S_{10}^{45^\circ} \end{bmatrix}. \quad (17)$$

因此,以水平偏振光 $[1, 1, 0, 0]^T$ 作为标准参考光,在偏振检测装置中检偏器透光轴方向分别为 0° 和 45° 的情况下,采用旋转波片法对测量对象各进行一次测量,通过(13)~(17)式计算可得 $\Delta\delta$ 、 $\Delta\theta_0$ 和 $\Delta\alpha$ 的具体数值。利用 $\delta + \Delta\delta$ 、 $\theta_0 + \Delta\theta_0$ 和 $\alpha + \Delta\alpha$ 代替初始参数值 δ 、 θ_0 和 α ,从而实现 $1/4$ 波片相位延迟量、初始快轴角度和检偏器透光轴角度的校准。

3 模拟计算与分析

器件参数具体校准步骤如图2所示。

为了分析本方法的校准精度,在器件误差为 $\Delta\delta = -1^\circ$ 、 $\Delta\theta_0 = -0.5^\circ$ 、 $\Delta\alpha = -0.5^\circ$ 以及校准过程中转台旋转定位偏差为 $1'$ 的条件下,按照图2所示步骤,对器件参数校准过程进行了模拟计算,模拟结果如表1所示。

表2 器件参数校准前后模拟结果比较

Table 2 Comparison of simulation results before and after calibration

Polarized light		Before calibration		After calibration	
Type	Parameter	Value	Error / %	Value	Error / %
Linearly polarized at 0°	P	0.9658	-3.42	0.9996	-0.04
	S_{10}	0.9656	-3.44	0.9996	-0.04
	S_{20}	0.0174	1.74	0.0012	0.12
	S_{30}	-0.0001	-0.01	-0.0001	-0.01
	ΔS	-	3.86	-	0.13
Linearly polarized at -15°	P	0.9738	-2.62	1.0002	0.02
	S_{10}	0.5020	0.20	0.5011	0.11
	S_{20}	-0.8344	3.16	-0.8656	0.04
	S_{30}	0	0	0	0
	ΔS	-	3.17	-	0.12

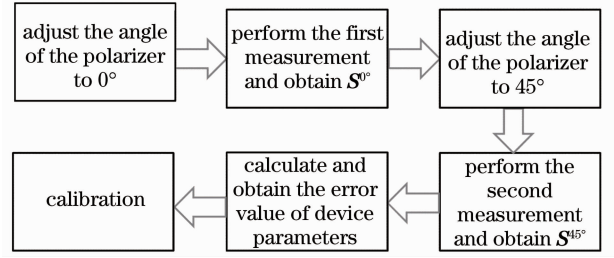


图2 器件参数校准步骤

Fig. 2 Calibration procedure

表1 模拟所得器件参数误差值

Table 1 Error values of device parameters obtained by simulation

Error of parameter	Value / (°)
$\Delta\delta$	-0.9869
$\Delta\theta_0$	-0.5022
$\Delta\alpha$	-0.5215

模拟计算所得器件参数误差值为 $\Delta\delta = -0.9869^\circ$ 、 $\Delta\theta_0 = -0.5022^\circ$ 和 $\Delta\alpha = -0.5215^\circ$ 。由于校准过程中需旋转检偏器至 0° 或 45° ,这一步骤存在检偏器透光轴角度误差,导致计算所得器件参数误差值与假设值 $\Delta\delta = -1^\circ$ 、 $\Delta\theta_0 = -0.5^\circ$ 和 $\Delta\alpha = -0.5^\circ$ 之间存在偏差,分别为 0.0131° 、 -0.0022° 和 0.0215° 。此偏差值即为校准后的器件参数误差值,即通过器件参数校准过程,器件参数误差由原来的 $\Delta\delta = -1^\circ$ 、 $\Delta\theta_0 = -0.5^\circ$ 、 $\Delta\alpha = -0.5^\circ$ 减小至 $\Delta\delta = 0.0131^\circ$ 、 $\Delta\theta_0 = -0.0022^\circ$ 和 $\Delta\alpha = 0.0215^\circ$ 。

进一步分析校准前后偏振检测装置测量精度,以水平线偏振光和 -15° 线偏振光为测量对象,进行了模拟计算,模拟结果如表2所示。

模拟结果表明:通过器件参数校准后,水平线偏振光的偏振度 P 的误差由原来的 -3.42% 降低至 -0.04% ,归一化总均方根偏差 ΔS 由原来的 3.86% 减小至 0.13% ; -15° 线偏振光的偏振度误差由原来的 -2.62% 降低至 0.02% ,归一化总均方根偏差由原来的 3.17% 减小至 0.12% 。相比器件参数校准前,校准后的偏振检测装置测量精度得到了明显提高。

4 实验与分析

4.1 实验系统

实验系统光路如图 3 所示,偏振检测装置 PSA

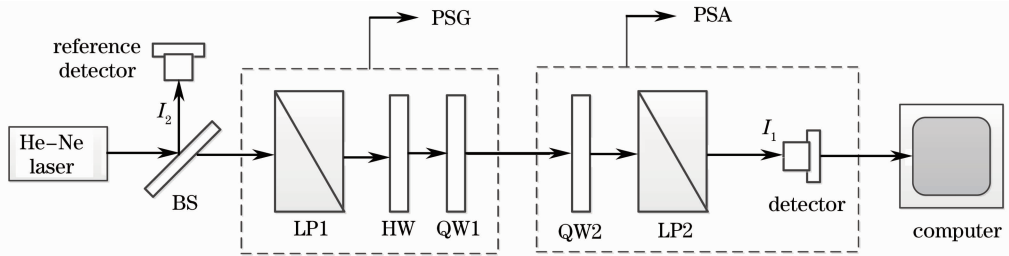


图 3 偏振检测系统示意图

Fig. 3 Schematic of the polarimeter

实验过程中,将 He-Ne 激光经 45° 分光镜 (BS) 后的反射光作为参考光束,其光强 I_2 由参考探测器探测,信号光强 I_1 则由信号探测器探测。计算时采用信号探测光强与参考光强的比值 I_1/I_2 ,以消除光源能量波动的影响。

PSG 可产生已知特定偏振态的偏振光,偏振检测装置 PSA 则可对偏振光的偏振态进行测量。测量过程基于旋转波片法,将 QW2 旋转 360° ,每隔 10° 测定一组光强,通过对测量数据处理计算即可得出偏振光的斯托克斯参量。

4.2 器件参数校准结果与分析

实验中器件参数校准步骤如图 2 所示。通过偏振态发生器产生水平线偏振光 $[1, 1, 0, 0]^T$,将其作为标准参考光,并采用偏振检测装置对其进行测量。测量数据如图 4 所示,其中菱形标记(对应左边纵坐标轴)和三角标记(对应右边纵坐标轴)分别代表检偏器透光轴方向为 0° 和 45° 时获得的测量数据。

由图 4 数据计算得到的标准参考光斯托克斯参量测量结果及其与标准值的偏差如表 3 所示。

根据计算所得偏差值并利用 (13)~(17) 式,进一步计算可得该偏振检测装置的器件参数误差值,如表 4 所示。

由 $1/4$ 波片 QW2、检偏器 LP2 以及光电探测器组成,偏振态发生器 PSG 由光源、起偏器 LP1、 $1/2$ 波片 HW 和 $1/4$ 波片 QW1 组成。其中光源采用波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光器,LP1 和 LP2 均为格兰-泰勒棱镜,其消光比优于 5×10^{-6} ; HW 和 QW1、QW2 均为真零级石英波片,其相位延迟量精度为 $\lambda/300$; QW1 与 LP2 分别固定在手动转台上,转台旋转精度为 $1'$;光电探测器为光电二极管,其输出电流信号经放大电路转换为电压信号,由数据采集卡采集并保存至计算机。

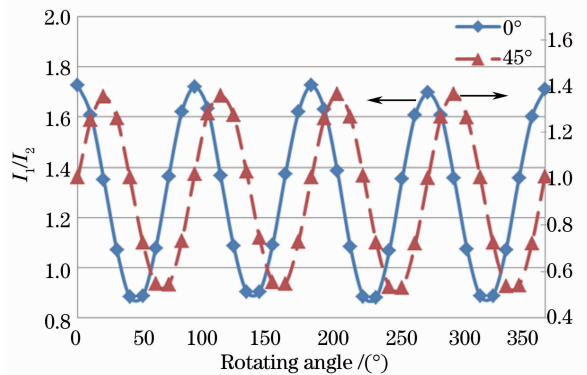


图 4 检偏器方位角分别为 0° 和 45° 时的测量数据

Fig. 4 Measurement data when polarizer is fixed at 0° and 45° respectively

表 3 斯托克斯参量测量结果

Table 3 Stokes parameters obtained from the data of Fig. 4

	Polarizer is fixed at 0°		Polarizer is fixed at 45°	
	Value	Error / %	Value	Error / %
P	0.9679	-3.21	0.9844	-1.56
S_{10}	0.9677	-3.23	0.9842	-1.58
S_{20}	0.0189	1.89	0.0185	1.85
S_{30}	0.0041	0.41	-0.0016	-0.16

表4 实验所得器件参数误差值

Table 4 Error values of device parameters obtained by experiment

Error of parameter	Value / (°)
$\Delta\delta$	-0.9282
$\Delta\theta_0$	-0.5329
$\Delta\alpha$	-0.5214

4.3 测量结果与分析

利用所测得的器件参数误差值(表4),采用 $\delta + \Delta\delta$ 、 $\theta_0 + \Delta\theta_0$ 和 $\alpha + \Delta\alpha$ 代替偏振检测装置的初始参数值 δ 、 θ_0 和 α ,实现了对该偏振检测装置器件参数的校准。进一步采用校准后偏振检测装置进行实验研究,对不同偏振光进行了测量,并比较了器件参数校准前后的测量结果。

1) 水平线偏振光

当输入光为水平线偏振光,即为标准参考光时,其标准值为 $[1, 1, 0, 0]^T$ 。测量数据如图4菱形标记曲线所示,根据该数据计算得到输入光斯托克斯参量及其器件参数校准前后的测量结果对比如表5所示。

表5 针对图4数据校准前后斯托克斯参量测量结果

Table 5 Stokes parameters before and after calibration obtained from the data of Fig. 4

	Before calibration		After calibration	
	Value	Error / %	Value	Error / %
P	0.9679	-3.21	0.9960	-0.40
S_{10}	0.9677	-3.23	0.9960	-0.40
S_{20}	0.0189	1.89	0.0005	0.05
S_{30}	0.0041	0.41	0.0040	0.40
ΔS	-	3.76	-	0.57

器件参数校准前,由于存在 $\Delta\delta$ 、 $\Delta\theta_0$ 和 $\Delta\alpha$ 的影响,偏振度偏离标准值-3.21%,参量 S_{10} 、 S_{20} 和 S_{30} 分别偏离标准值-3.23%、1.89%和0.41%,其总均方根偏差 ΔS 达3.76%;通过器件参数校准,偏振度偏离标准值减小至-0.40%,参量 S_{10} 、 S_{20} 和 S_{30} 偏离标准值分别减小至-0.40%、0.05%和0.40%,总均方根偏差 ΔS 减小至0.57%。该数据表明,通过对器件参数进行校准,有效降低了偏振参数测量误差。

2) -15°线偏振光

当输入光为-15°线偏振光时,其标准值为 $[1, 0.866, -0.5, 0]^T$ 。测量数据如图5所示,根据该数据计算得到输入光斯托克斯参量及其器件参数校准前后的测量结果对比如表6所示。

器件参数校准前,偏振度偏离标准值-2.44%,参量 S_{10} 、 S_{20} 和 S_{30} 分别偏离标准值-1.24%、

2.77%和0.56%,其总均方根偏差 ΔS 达3.09%;器件参数校准后,偏振度偏离标准值减小至0.66%,参量 S_{10} 、 S_{20} 和 S_{30} 偏离标准值分别减小至0.54%、-0.40%和0.55%,总均方根偏差 ΔS 减小至0.87%。通过对器件参数进行校准,有效降低了偏振参数测量误差。

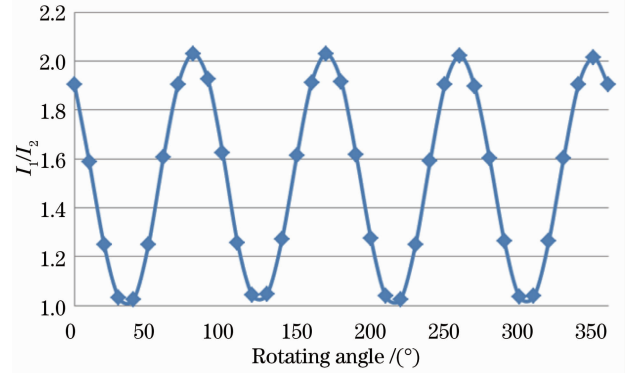


图5 测量数据

Fig. 5 Measurement data

表6 针对图5数据校准前后斯托克斯参量测量结果

Table 6 Stokes parameters before and after calibration obtained from the data of Fig. 5

	Before calibration		After calibration	
	Value	Error / %	Value	Error / %
P	0.9756	-2.44	1.0066	0.66
S_{10}	0.8536	-1.24	0.8714	0.54
S_{20}	-0.4723	2.77	-0.504	-0.40
S_{30}	0.0056	0.56	0.0055	0.55
ΔS	-	3.09	-	0.87

5 结论

通过分析旋转波片法测量过程,研究了偏振检测装置器件参数误差与偏振参数测量误差之间的关系。在此基础上,提出了一种偏振检测装置器件参数校准新方法,该方法以水平线偏振光 $[1, 1, 0, 0]^T$ 作为标准参考光,通过分别在检偏器方位角为 0° 和 45° 时,对标准参考光各进行一次测量,计算得出器件参数误差,从而实现了对偏振检测装置器件参数的校准。实验结果表明,通过器件参数校准,测量误差由原来的3%降低至0.87%以内。本方法操作简单、可行性强、校准精度高。

参考文献

- 1 B W Smith, L Zavyalova, A Estroff. Benefiting from polarization-effects on high-NA imaging [C]. SPIE, 2004, 5377: 68-79.
- 2 K Adam, W Maurer. Polarization effects in immersion

- lithography [C]. SPIE, 2004, 5377: 329–343.
- 3 T Matsuyama, T Nakashima. Study on high NA imaging with polarized illumination [C]. SPIE, 2005, 5754: 1078–1089.
- 4 Yuan Qiongyan, Wang Xiangzhao, Shi Weijie. Development of immersion lithography [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2006, 43(8): 13–20.
袁琼雁, 王向朝, 施伟杰. 浸没式光刻技术的研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2006, 43(8): 13–20.
- 5 C Köhler, W de Boeij, K van Ingen-Schenau, *et al.*. Imaging enhancements by polarization illumination; theory and experimental verification [C]. SPIE, 2005, 5754: 734–750.
- 6 H Nishinaga, N Tokuda, S Owa, *et al.*. Development of a polarized-light illuminator and its impact [C]. SPIE, 2005, 5754: 669–680.
- 7 H Nomura, Y Furutono. Polarimetry of illumination for 193-nm lithography used for the manufacture of high-end LSIs [C]. SPIE, 2007, 6834: 683408.
- 8 Fujii T, Kita N, Mizuno Y. On board polarization measuring instrument for high NA excimer scanner [C]. SPIE, 2005, 5752: 846–852.
- 9 Tang Feilong, Li Zhongliang, Bu Yang. A method of improving measurement accuracy of Stokes parameters [J]. Chinese J Lasers, 2013, 40(4): 0408006.
汤飞龙, 李中梁, 步 扬. 一种提高偏振光斯托克斯参量测量精度的方法[J]. 中国激光, 2013, 40(4): 0408006.
- 10 D Goldstein. Polarized Light [M]. New York: Marcel Dekker, 2003.
- 11 L Giudicotti, M Brombin. Data analysis for a rotating quarter-wave, far-infrared Stokes polarimeter [J]. Appl Opt, 2007, 46(14): 2638–2648.
- 12 R M A Azzam, E Masetti, I M Elminyawi, *et al.*. Construction, calibration, and testing for a four detector photo polarimeter [J]. Rev Sci Instrum, 1988, 59(1): 84–88.
- 13 Zhang Yong, Huang Zuohua, Zhao Zhentang, *et al.*. In-place calibration of Stokes ellipsometer's instrument matrix [J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(2): 0212002.
张 勇, 黄佐华, 赵振堂, 等. 斯托克斯椭偏仪器矩阵在位定标方法[J]. 光学学报, 2013, 33(2): 0212002.
- 14 R M A Azzam, A G Lopez. Accurate calibration of the four-detector photo polarimeter with imperfect polarizing elements [J]. J Opt Soc Am A, 1989, 6(10): 1513–1521.
- 15 Wang Yonghui, Zheng Chunlong, Zhao Zhentang. Multi-point calibration method based on Stokes ellipsometry system [J]. Chinese J Lasers, 2012, 39(11): 1108013.
王勇辉, 郑春龙, 赵振堂. 基于斯托克斯椭偏测量系统的多点定标法[J]. 中国激光, 2012, 39(11): 1108013.
- 16 S Krishnan. Calibration, properties, and applications of the division-of-amplitude photopolarimeter at 632. 8 and 1523 nm [J]. J Opt Soc Am A, 1992, 9(9): 1615–1622.

栏目编辑: 何卓铭