

一种提高偏振光斯托克斯参量测量精度的方法

汤飞龙^{1,2} 李中梁¹ 步扬^{1,2} 王向朝^{1,2} 范李立¹ 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是影响旋转波片法斯托克斯(Stokes)参量测量精度的主要因素。通过对传统旋转波片法测量 Stokes 参量的原理进行理论分析,研究了测量误差与相位延迟量误差之间关系,提出了提高偏振光 Stokes 参量测量精度的方法。该方法通过调整检偏器透光轴方向与待测光束偏振方向成 90°或 45°后再进行测量,可有效减小波片相位延迟量误差对 Stokes 参量测量的影响。实验结果表明,当相位延迟量误差小于 1.2°时,采用所提出的优化旋转波片法使 Stokes 参量测量误差从传统旋转波片法的 4.31%减小到 0.33%。

关键词 测量;偏振检测;Stokes 参量;相位延迟量误差;旋转波片法

中图分类号 O436.3 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL201340.0408006

Method of Improving Measurement Accuracy of Stokes Parameters

Tang Feilong^{1,2} Li Zhongliang¹ Bu Yang^{1,2} Wang Xiangzhao^{1,2}

Fan Lili¹ 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 is the main error of Stokes parameters measurement based on rotating quarter-wave method. The principle of Stokes parameters measurement based on conventional rotating quarter-wave method is analyzed theoretically. The relation between the retardation error and the measurement error is discussed. An improved rotating quarter-wave method is proposed for improving the measurement accuracy of Stokes parameters. In this method, the angle between the axis of polarizer and the polarization direction of the light is adjusted to a certain value (90° or 45°), and the influence of the retardation error on the measurement accuracy of Stokes parameters is reduced obviously. The effectiveness of the proposed method is investigated by comparing to the conventional rotating quarter-wave method through experiments. Experimental results show that the measurement error of Stokes parameters is reduced by the proposed method from 4.31% to 0.33%, under the condition that the retardation error is lower than 1.2°.

Key words measurement; polarization measurement; Stokes parameter; retardation error; rotating quarter-wave method

OCIS codes 120.5410; 260.2130; 260.5430

1 引言

随着光刻技术快速发展,光刻机投影物镜数值孔径已增加至 1.35 甚至更高^[1]。当投影物镜数值

孔径达到 0.8 及以上时,照明光偏振态对光刻成像质量的影响已不可忽略^[2~5]。采用偏振照明技术可以有效提高光刻成像质量^[6~9],而偏振光 Stokes 参

收稿日期: 2012-11-05; 收到修改稿日期: 2013-01-06

基金项目: 国家自然科学基金(60938003,61205102,61275207)和科技部国际科技合作专项项目(2011DFR10010)资助课题。

作者简介: 汤飞龙(1988—),男,硕士研究生,主要从事偏振检测技术方面的研究。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)

量的高精度测量是实现该技术的前提与基础。

常用的偏振光 Stokes 参量测量方法有旋转偏振器件法和偏振调制法。偏振调制法具有灵敏度高、测量速度快的特性,但调制器对周围环境有较强的敏感性,稳定性相对较弱^[10~13]。旋转波片法因其测量精度高、结构稳定得到广泛应用^[11~14]。在传统旋转波片法中,待测光束通过旋转的 1/4 波片和固定的检偏器后,由光电探测器探测其透过光强,计算得到该待测光束 Stokes 参量。1/4 波片的相位延迟量误差、快轴角度误差以及检偏器透光轴角度误差是影响该方法测量精度的重要因素,其中波片相位延迟量误差为主要因素,其大小与波长成反比^[15,16]。目前常见的光刻机使用深紫外波段光源,相对于可见光波段,在该波段制造理想的 1/4 波片和检偏器的难度更高,波片相位延迟量等误差更大^[17],其对偏振光 Stokes 参量测量的影响也更为显著。

通过对传统旋转波片法测量 Stokes 参量的基本原理进行分析,研究和讨论测量误差与相位延迟量误差之间的关系,在此基础上,提出一种提高偏振光 Stokes 参量测量精度的方法。

2 原 理

2.1 传统旋转波片法测量 Stokes 参量原理

图 1 为旋转波片法偏振检测原理图。待测光束通过旋转的 1/4 波片 C 与固定的检偏器 A 后,由光电探测器 D 探测其透过光强。设待测光束 Stokes 参量为 $\mathbf{S}=[S_0, S_1, S_2, S_3]^T$,待测光束偏振方位角为 φ ,1/4 波片 C 快轴角度为 θ ,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 。

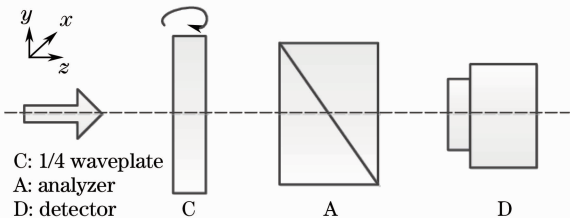


图 1 旋转波片法偏振检测原理图

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

待测光束经过 1/4 波片 C 和检偏器 A 后,出射光束 Stokes 参量 \mathbf{S}' 可表示为

$$\mathbf{S}' = \mathbf{A}(\alpha)\mathbf{C}(\theta)\mathbf{S}, \quad (1)$$

$\mathbf{A}(\alpha)$ 、 $\mathbf{C}(\theta)$ 分别为检偏器 A 和 1/4 波片 C 的穆勒

矩阵。

Stokes 参量 \mathbf{S}'_0 代表光束总强度,光电探测器 D 所探测的光强即为此值,即

$$\mathbf{S}'_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0]\mathbf{A}(\alpha)\mathbf{C}(\theta)\mathbf{S}[1 \ 0 \ 0 \ 0]^T, \quad (2)$$

通过对光强信号 \mathbf{S}'_0 作傅里叶分析,可得归一化 Stokes 参量^[14]

$$S_{00} = 1, \quad (3)$$

$$S_{10} = \frac{S_1}{S_0} = \frac{\frac{P}{\sin^2(\delta/2)} \cos 2\varphi}{\frac{a_0}{2\sqrt{a_4^2 + b_4^2}} - \cot^2 \frac{\delta}{2} \cos(2\alpha - 2\varphi)}, \quad (4)$$

$$S_{20} = \frac{S_2}{S_0} = \frac{\frac{P}{\sin^2(\delta/2)} \sin 2\varphi}{\frac{a_0}{2\sqrt{a_4^2 + b_4^2}} - \cot^2 \frac{\delta}{2} \cos(2\alpha - 2\varphi)}, \quad (5)$$

$$S_{30} = \frac{S_3}{S_0} = \frac{1}{\sqrt{a_4^2 + b_4^2}} \frac{-Pb_2}{\sin \delta \cos 2\alpha} \frac{a_0}{2\sqrt{a_4^2 + b_4^2}} - \cot^2 \frac{\delta}{2} \cos(2\alpha - 2\varphi), \quad (6)$$

式中 P 和系数 a_n 、 b_n 分别为

$$P = \frac{p-1}{p+1}, \quad (7)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} S'_0(\theta) \cos(n\theta) d\theta, \quad (8)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} S'_0(\theta) \sin(n\theta) d\theta. \quad (9)$$

2.2 传统旋转波片法的优化

旋转波片法误差源主要包括:波片相位延迟量误差 $\Delta\delta$ 、波片快轴角度误差 $\Delta\theta$ 以及检偏器透光轴角度误差 $\Delta\alpha$ 。对于可见光,上述三种误差可控制在如下范围内: $\Delta\delta \leq 1.2^\circ$, $\Delta\theta \leq 0.1^\circ$, $\Delta\alpha \leq 0.1^\circ$;对于深紫外波段光束,三种误差变大,特别是波片相位延迟量误差将达到 2.4° 。

图 2 为部分线偏振光的归一化 Stokes 参量测量误差分别与 $\Delta\delta$ 、 $\Delta\theta$ 、 $\Delta\alpha$ 的关系图。图中 2(a)~(c)、(d)~(f)、(g)~(i) 的 x 轴分别对应 $\Delta\delta$ 、 $\Delta\theta$ 和 $\Delta\alpha$, y 轴为光束的偏振方位角 φ , z 轴分别为测量误差 ΔS_{10} 、 ΔS_{20} 和 ΔS_{30} 。

由图 2 可知:1) 在误差条件相同时,光束偏振方位角不同,其对应测量误差 ΔS_{10} 、 ΔS_{20} 和 ΔS_{30} 不

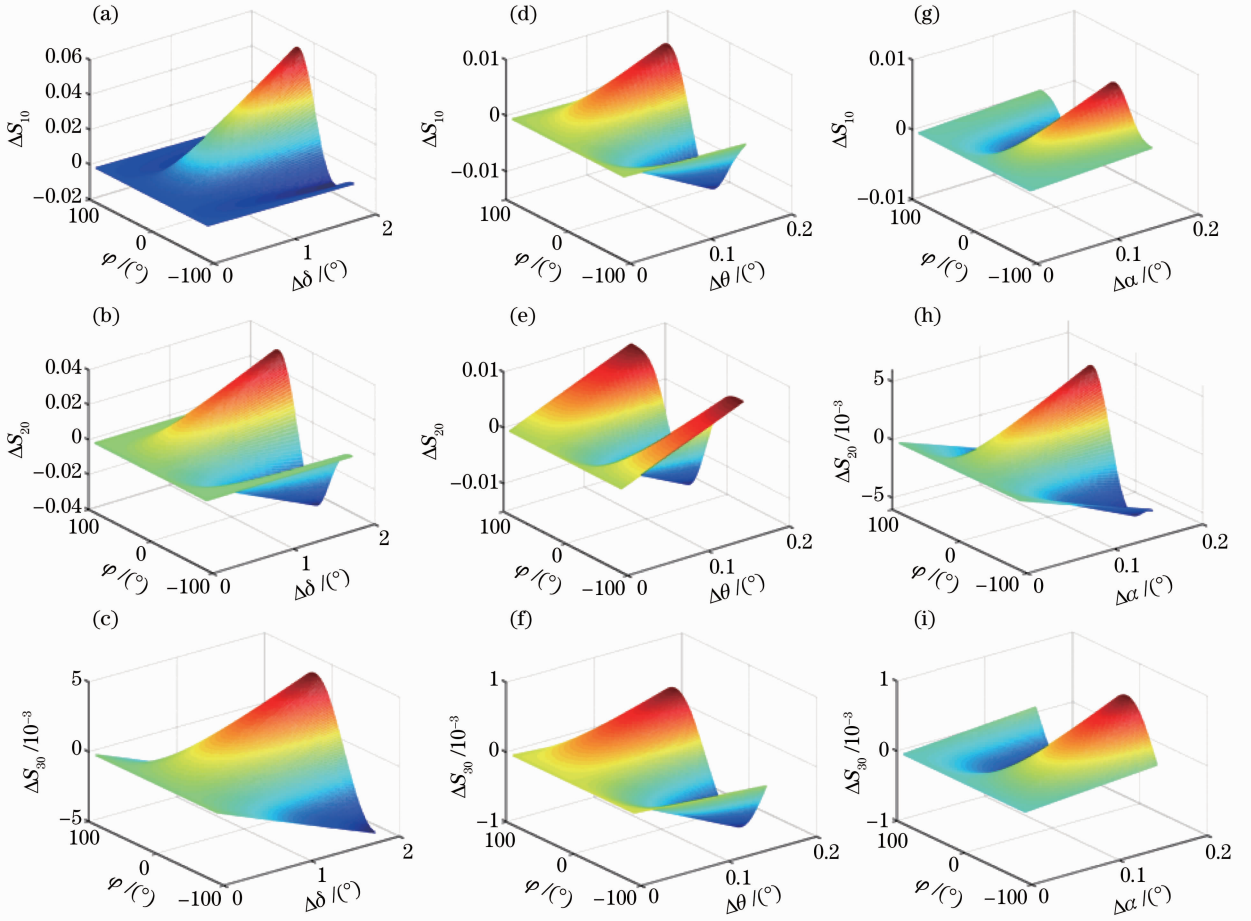

 图2 归一化 Stokes 参量误差分别与 $\Delta\delta$ 、 $\Delta\theta$ 、 $\Delta\alpha$ 的关系

 Fig. 2 Relationship between normalized Stokes errors and $\Delta\delta$, $\Delta\theta$, $\Delta\alpha$

同。例如：当只存在误差 $\Delta\delta=1.2^\circ$ 时，光束偏振方位角从 -90° 变化到 0° 时，对应的测量误差 ΔS_{10} 从 0 变化到 3.92%， ΔS_{20} 从 0 变化到 3.48%（对应 -60° ），后又变化到 0， ΔS_{30} 从 0.30% 变化到 0（对应 -45° ），后又变化到 0.31%。因此，测量误差与待测光束偏振方位角有关。2) 在三种误差中， $\Delta\delta$ 对 Stokes 参量测量精度的影响远大于 $\Delta\theta$ 和 $\Delta\alpha$ 的影响， $\Delta\delta$ 为影响测量精度的主要误差。例如：对于偏振方位角为 0° 的光束，当分别存在误差 $\Delta\delta=1.2^\circ$ 、 $\Delta\theta=0.1^\circ$ 和 $\Delta\alpha=0.1^\circ$ 时，测量误差 ΔS_{10} 分别为 3.92%、0.11% 和 0.11%， $\Delta\delta$ 所导致的误差是 $\Delta\theta$ 和 $\Delta\alpha$ 的 36 倍。

为进一步分析相位延迟量误差 $\Delta\delta$ 在测量过程中所引入的误差，利用归一化 Stokes 参量表达式，对 δ 进行微分，并对其近似可得

$$\frac{a_0}{2\sqrt{a_4^2+b_4^2}} \approx \frac{2S_0}{\sqrt{S_1^2+S_2^2}} + \cos 2(\alpha - \varphi), \quad (10)$$

$$\delta \approx 90^\circ, \quad (11)$$

$$P \approx 1. \quad (12)$$

从而得到

$$\Delta S_{10} \approx \frac{1}{Q^2} \cos 2\varphi [Q + \sin(2\beta + 90^\circ)] \Delta\delta, \quad (13)$$

$$\Delta S_{20} \approx \frac{1}{Q^2} \sin 2\varphi [Q + \sin(2\beta + 90^\circ)] \Delta\delta, \quad (14)$$

$$\Delta S_{30} \approx \frac{S_3}{S_0 Q} \sin(2\beta + 90^\circ) \Delta\delta, \quad (15)$$

式中 $Q = \frac{S_0}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}$ ， $\beta = \alpha - \varphi$ ， β 为检偏器透光轴方向与光束偏振方向之间的夹角。

分析可知：对于完全线偏振光， $Q = 1$ ， $S_3 = 0$ ；当 $\sin(2\beta + 90^\circ) = -1$ ，即 $\beta = \pm 90^\circ$ 时， $\Delta S_{10} \approx 0$ ， $\Delta S_{20} \approx 0$ ， $\Delta S_{30} \approx 0$ 。对于部分线偏振光， $Q \neq 1$ ， $S_3 = 0$ ；当 $\sin(2\beta + 90^\circ) = -1$ ，即 $\beta = \pm 90^\circ$ 时， ΔS_{10} 、 ΔS_{20} 最小， $\Delta S_{30} \approx 0$ ；对于其他偏振光， $Q \neq 1$ ， $S_3 \neq 0$ ；当 $\sin(2\beta + 90^\circ) = -1$ ，即 $\beta = \pm 90^\circ$ 时， ΔS_{10} 、 ΔS_{20} 最小；当 $\sin(2\beta + 90^\circ) = 0$ ，即 $\beta = \pm 45^\circ$ 时， $\Delta S_{30} \approx 0$ 。

基于以上分析，提出了传统旋转波片法的优化方法，以提高偏振光 Stokes 参量测量精度。该方法首先测量得到待测光束的偏振方位角，然后调整检

偏器透光轴方向与待测光束偏振方向成 90° 后测量得到 S_{10} 、 S_{20} ，调整检偏器透光轴方向与待测光束偏振方向成 45° 后测量得到 S_{30} 。当光束为线偏振光或只关注光束的线偏振成分时，即只关注 S_{10} 、 S_{20} ，此时只需调整检偏器透光轴方向与待测光束偏振方向成 90° 后测量即可。该方法可以有效减小相位延迟量误差 $\Delta\delta$ 对偏振光 Stokes 参量测量的影响，对线偏振光效果最为明显。对于目前常用的光刻机采用的深紫外波段线偏振光，在该波段波片相位延迟量等误差更大，采用该优化方法效果更加显著。

3 优化旋转波片法的数值模拟与分析

由(13)~(15)式可知，Stokes 参量测量误差与夹角 β 相关。即对于同一测量对象，检偏器透光轴方向的不同将影响最终测量结果。在误差 $\Delta\delta \leq 1.2^\circ$ ， $\Delta\theta \leq 0.1^\circ$ ， $\Delta\alpha \leq 0.1^\circ$ 的情况下，线偏振光的归一化 Stokes 参量测量误差 ΔS_{10} 、 ΔS_{20} 、 ΔS_{30} 与夹角 β 的关系如图 3 所示，其中 x 轴为夹角 β ， y 轴为光束的偏振方位角 φ ，图 3(a)~(c) 中 z 轴分别为测量误差 ΔS_{10} 、 ΔS_{20} 和 ΔS_{30} 。

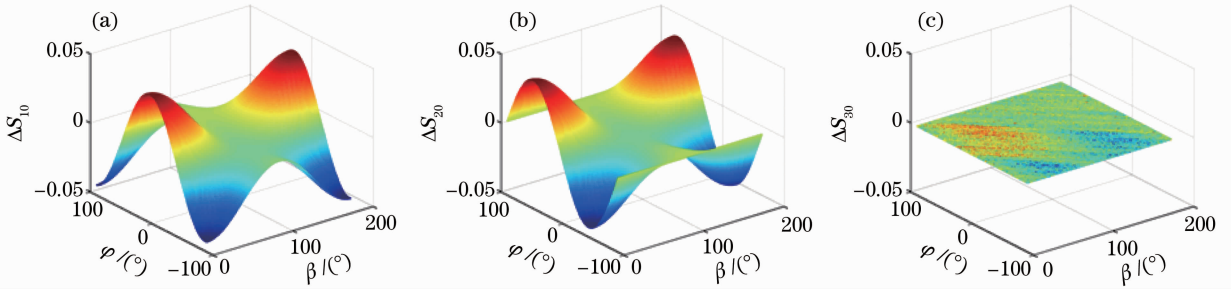


图 3 归一化 Stokes 参量误差与夹角 β 的关系

Fig. 3 Relationship between normalized Stokes errors and β

对于同一偏振方位角的光束，夹角 β 不同，测量误差 ΔS_{10} 、 ΔS_{20} 和 ΔS_{30} 也不同(如图 2 所示)。以偏振方位角为 0° 的光束为例，当 $\beta = 0^\circ$ 时， $\Delta S_{10} = 4.26\%$ ，当 $\beta = 45^\circ$ 时， $\Delta S_{10} = 0.36\%$ ，当 $\beta = 90^\circ$ 时， ΔS_{10} 几乎减小至 0。对于其他偏振方向的光束，结论相同。当夹角 β 接近 90° 时，测量误差 ΔS_{10} 、 ΔS_{20} 近似为 0；且当 $\beta = 90^\circ \pm 5^\circ$ 时，归一化 Stokes 参量误差仍小于 0.35% 。这一模拟结果验证了优化旋转波片法的有效性，且表明：在该法中，即使待测光束偏振方位角测量误差或检偏器旋转误差较大时，采用该法仍能有效减小相位延迟量误差对偏振光 Stokes 参量测量的影响。

采用检偏器透光轴角度呈 0° 放置，优化旋转波片法调整检偏器透光轴方向使夹角 β 至 90° 或 45° 。在误差 $\Delta\delta$ 从 0° 到 2° 变化时，两种方法的测量结果如图 4 和图 5 所示，其中 conventional 为传统旋转波片法的模拟结果，improved 为优化旋转波片法的模拟结果。

图 4 和图 5 中(a)~(c)都分别对应 ΔS_{10} 、 ΔS_{20} 、 ΔS_{30} 与 $\Delta\delta$ 的关系。两种方法中相位延迟量误差 $\Delta\delta$ 的增加均会引起测量误差的单调增加。对于完全线偏振光，优化旋转波片法基本消除了相位延迟量误差对 Stokes 参量测量的影响(如图 4 所示)；对于部分线偏振光，采用优化方法可以大大减小测量误差(如图 5 所示)。以图 5(a)对应的 S_{10} 为例， $\Delta\delta$ 从 0° 增加到 2° 时，采用传统旋转波片法，其测量误差

为进一步说明，模拟比较了传统旋转波片法与优化旋转波片法的测量结果，其中传统旋转波片法

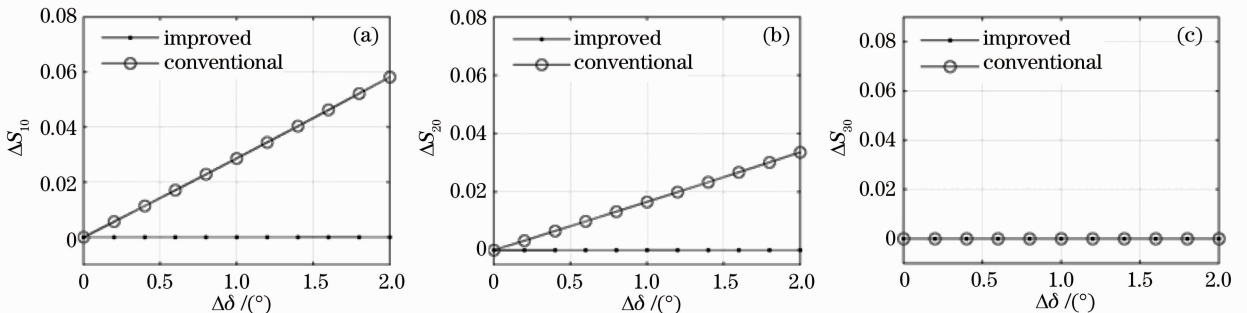


图 4 完全线偏振光的归一化 Stokes 参量测量误差与 $\Delta\delta$ 关系

Fig. 4 Relationship between normalized Stokes errors of complete polarized light and $\Delta\delta$

ΔS_{10} 从 0 增加到 5.39%；采用优化旋转波片法，其测量误差 ΔS_{10} 从 0 只增加到 0.14%，相比之下，其测量误差大大降低。当 $\Delta\delta=1.2^\circ$ 时，提出的优化旋

转波片法使 Stokes 参量测量误差从 3.59% 减小到 0.11%。

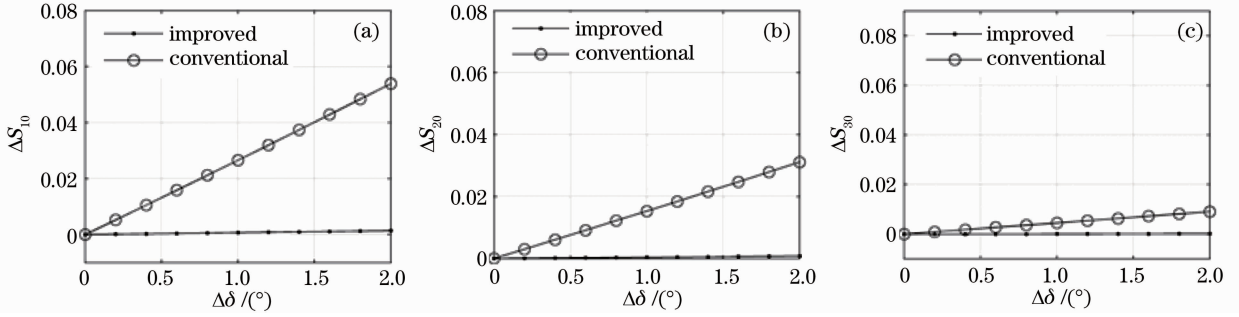


图 5 部分线偏振光的归一化 Stokes 参量测量误差与 $\Delta\delta$ 关系

Fig. 5 Relationship between normalized Stokes measurement errors of partial polarized light and $\Delta\delta$

图 6 为由 Stokes 参量计算得到的光束偏振度 (DOP) 测量误差。在误差 $\Delta\delta\leq 1.2^\circ$, $\Delta\theta\leq 0.1^\circ$, $\Delta\alpha\leq 0.1^\circ$ 条件下, 采用优化旋转波片法, 使得完全线偏振光的偏振度测量误差几乎为零[图 6(a)], 使得部分线偏振光的偏振度测量误差大大减小[图 6(b)]。以部分偏振光为例, 对于偏振方位角为 -90° 的偏振

光, 检偏器透光轴方向与光束偏振方向的夹角已为 90° , 因此其误差已为最小, 即 0.10%; 对于偏振方位角为 0° 的线偏振光, 光束偏振方向与检偏器透光轴的夹角为 0° , 通过调整其夹角为 90° 后再测量, 使得偏振度误差从 3.96% 降低至 0.10%。

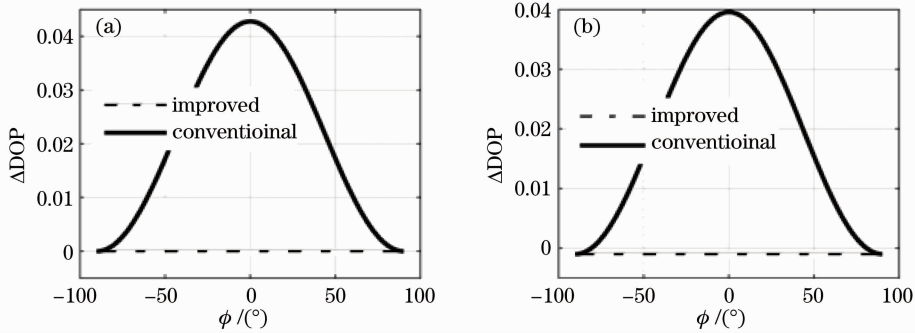


图 6 (a) 完全线偏振光的偏振度测量误差; (b) 部分线偏振光的偏振度测量误差

Fig. 6 (a) Measurement errors of degree of polarization of complete polarized light; (b) measurement errors of degree of polarization of partial polarized light

对于目前常用的光刻机采用的深紫外光, $1/4$ 波片的相位延迟量误差达 2.4° 。对于偏振方位角为 0° 的部分线偏振光, 采用本文提出的优化旋转波片法, 使得 Stokes 参量误差从原来的 8.08% 降低至 0.19%, 偏振度误差从原来的 8.08% 降低至 0.19%。

4 实验与分析

实验光路如图 7 所示, 光源采用波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光, 起偏器 (LP1)、 $1/2$ 波片 (HW) 和 $1/4$ 波片 (QW1) 组成偏振态发生器 (PSG), $1/4$ 波片 (QW2)、检偏器 (LP2) 以及光电探测器组成 Stokes 参量偏振检测装置。其中 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电脑内。

实验过程中, He-Ne 激光经 45° 分光镜 (BS), 反射光光强 I_2 由参考探测器探测, 透过光通过偏振态发生器 (PSG) 后产生已知特定偏振态的偏振光, 后通过 QW2 和 LP2 后, 由信号探测器探测其透过光强 I_1 。计算时采用信号探测光强与参考光强的比值 I_1/I_2 作为信号光强, 以消除光源能量波动以及探测器光偏振敏感性的影响。实验时, 将 QW2 旋

转 360°,每隔 10°测量一组光强。最后,对测量光强数据进行处理,计算得出光束 Stokes 参量与偏振

度,并与所产生的已知偏振态进行比较。

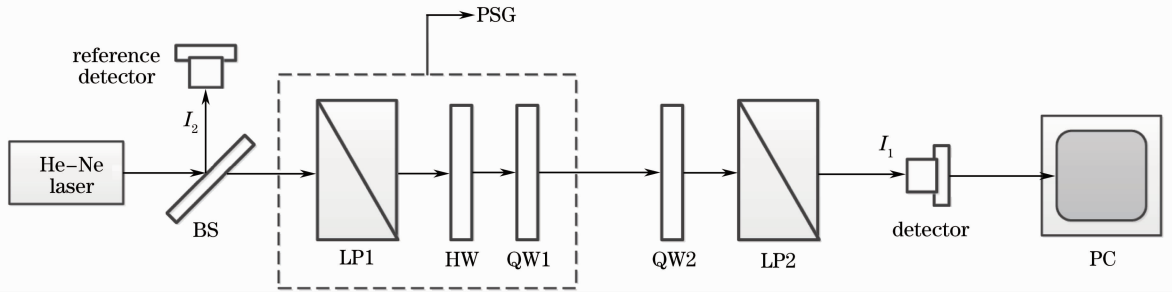


图 7 Stokes 参量测量光路图

Fig.7 Schematic of the Stokes polarimeter

实验中利用 PSG 产生偏振方位角为 0°、偏振度为 1 的线偏振光作为测量对象,分别采用传统旋转波片法与优化旋转波片法对其进行测量。首先将检偏器 LP2 透光轴角度呈 0°放置,按照上述过程进行测量,得到光束 Stokes 参量,即为传统旋转波片法测量结果。通过计算得到光束偏振方向,调整检偏器透光轴方向与该光束偏振方向成 90°或 45°后再进行测量,得到的光束 Stokes 参量即为优化的旋转波片法测量结果。

两种方法所得的测量数据如图 8 所示,由该数据计算得到的 Stokes 参量与偏振度如表 1 所示。由表 1 可知,传统旋转波片法测量所得 Stokes 参量误差为 4.31%,偏振度误差为 4.32%,优化的旋转波片法测量所得 Stokes 参量误差为 0.33%,偏振度误差为 0.33%。相比传统旋转波片法,采用优化的旋转波片法使得 Stokes 参量测量精度得到了明显提高。

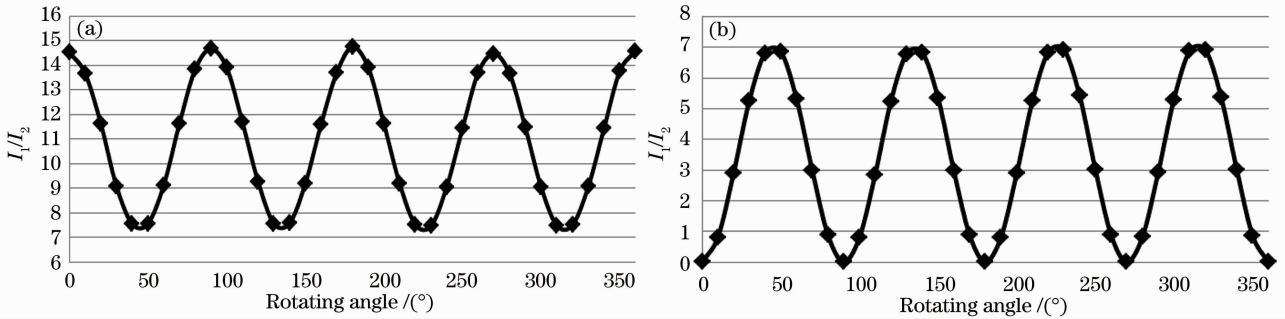


图 8 (a)采用传统旋转波片法的测量数据;(b)采用优化旋转波片法的测量数据

Fig.8 (a) Measurement data based on conventional rotating quarter-wave method; (b) measurement data based on improved rotating quarter-wave method

表 1 Stokes 参量与偏振度的测量结果

Table 1 Stokes parameters and degree of polarization obtained from the experimental data

	Conventional rotating quarter-wave method	Improved rotating quarter-wave method
P	1.0432	0.9967
S ₁₀	1.0431	0.9967
S ₂₀	0.0097	0.0030
S ₃₀	0.0000	0.0006

理进行理论分析,研究和讨论了测量误差与相位延迟量误差之间关系。结果表明,波片相位延迟量误差是影响旋转波片法测量精度的主要因素,当检偏器透光轴方向与待测光束偏振方向之间的夹角为 90°时,相位延迟量误差引起的归一化 Stokes 参量 S₁₀、S₂₀测量误差最小,当检偏器透光轴方向与待测光束偏振方向之间的夹角为 45°时,相位延迟量误差引起的归一化 Stokes 参量 S₃₀测量误差最小。

提出了优化的旋转波片法,通过调整检偏器透光轴方向与待测光束偏振方向成 90°或 45°后再进行测量,提高了偏振光 Stokes 参量测量精度。模拟

5 结 论

通过对传统旋转波片法测量 Stokes 参量的原

结果表明,当 1/4 波片相位延迟量误差小于 1.2° 时,采用优化的旋转波片法使测量误差由原来的 3.59% 降低至 0.11%;实验结果表明,采用优化旋转波片法使测量误差从原来的 4.31% 降低至 0.33%。

参 考 文 献

- 1 S. Owa, H. Nagasaka. Advantage and feasibility of immersion lithography[J]. *J. Microlith. Microfab. Microsyst.*, 2004, **3**(1): 97~103
- 2 K. Adam, W. Maurer. Polarization effects in immersion lithography[J]. *J. Microlith., Microfab., Microsyst.*, 2005, **4**(3): 031106
- 3 B. W. Smith, J. S. Cashmore. Challenges in high NA, polarization, and photoresists[C]. *SPIE*, 2002, **4691**: 11~24
- 4 Zhang Wei, Gong Yan. Vector analysis of diffractive optical elements for off-axis illumination of projection lithographic system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(10): 1005002
张巍, 巩岩. 投影光刻离轴照明用衍射光学元件的矢量分析 [J]. *光学学报*, 2011, **31**(10): 1005002
- 5 Yuan Qiongyan, Wang Xiangzhao. Recent development of international mainstream lithographic tools [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2007, **44**(1): 57~64
袁琼雁, 王向朝. 国际主流光刻机研发的最新进展[J]. *激光与光电子学进展*, 2007, **44**(1): 57~64
- 6 D. G. Flagello. Challenges with hyper-NA ($NA > 1.0$) polarized light for sub 1/4 resolution[C]. *SPIE*, 2005, **5754**: 53~68
- 7 T. Matsuyama, T. Nakashima. Study on high NA imaging with polarized illumination[C]. *SPIE*, 2005, **5754**: 1078~1089
- 8 H. Nishinaga, N. Tokuda, S. Owa *et al.*. Development of a polarized-light illuminator and its impact [C]. *SPIE*, 2005,

- 5754**: 669~680
- 9 Q. Y. Yuan, X. Z. Wang, Z. C. Qiu. Impact of polarized illumination on high NA imaging in ArF immersion lithography at 45 nm node[J]. *Optik*, 2007, **120**: 325~329
- 10 Song Zhiping, Hong Jin, Qiao Yanli. Method acquiring the demodulation coefficients of intensity-modulated spectropolarimeter by measuring reference light[J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, **32**(4): 0412003
宋志平, 洪津, 乔延利. 强度调制偏振光谱仪解调系数参考光测量方法[J]. *光学学报*, 2012, **32**(4): 0412003
- 11 D. Goldstein. Polarized Light[M]. New York: Marcel Dekker, 2003
- 12 Liao Yanbiao. Polarization Optics[M]. Beijing: Science Press, 2003
廖延彪. 偏振光学[M]. 北京: 科学出版社, 2003
- 13 R. M. A. Azzam, N. M. Bashara. Ellipsometry and Polarized Light[M]. Liang Jimin, Yi Shubai, Zhang Fuchu *et al.* Transl. Beijing: Science Press, 1986
R. M. A. 阿查姆, N. M. 巴夏拉. 椭圆偏振测量术和偏振光 [M]. 梁基民, 尹树白, 张福初等译. 北京: 科学出版社, 1986
- 14 T. Fujii, N. Kita, Y. Mizuno. On board polarization measuring instrument for high NA excimer scanner [C]. *SPIE*, 2005, **5752**: 846~852
- 15 P. S. Hauge. Mueller matrix ellipsometry with imperfect compensators [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1978, **68** (11): 1519~1528
- 16 D. H. Goldstein, R. A. Chipman. Error analysis of a Mueller matrix polarimeter [J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1990, **7**(4): 693~700
- 17 H. R. Jerrard. The calibration of quarter-wave plates [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1952, **42**(3): 159~165

栏目编辑:何卓铭