

文章编号: 1001-3806(2007)03-0314-03

波片和旋转器复合退偏的矩阵研究

任广军^{1,2,3}, 姚建铨^{1,3*}, 赵阶林²

(1. 天津大学 精密仪器与光电子工程学院 激光与光电子研究所, 天津 300072; 2. 临沂师范学院, 临沂 276005; 3. 天津大学 光电信息科学技术教育部重点实验室, 天津 300072)

摘要: 为了探索一种简单有效的复色光退偏方法以及偏光探测技术的发展, 利用斯托克斯矢量和米勒矩阵分析了波片和旋转器组合对复色光的退偏效应, 导出了斯托克斯矢量的具体形式, 阐述了复色光的退偏机理。通过计算讨论了偏振光的偏振方向和旋转器的旋转角对退偏情况的影响。结果表明, 这种退偏器其退偏效果更加理想, 对退偏器的设计与研究具有一定的参考价值。

关键词: 物理光学; 偏振光; 复合退偏; 斯托克斯矢量; 米勒矩阵

中图分类号: O436.3 **文献标识码:** A

The matrix research of multiplex depolarizers

REN Guang-jun^{1,2,3}, YAO Jian-quan^{1,3}, ZHAO Jie-lin²

(1. Institute of Laser and Opto-electronics College of Precision Instrument and Opto-electronics Engineering Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Linyi Normal University, Linyi 276005, China; 3. Key Laboratory of Optoelectronic Information Science and Technology of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract In order to find an effectual method of polychromatic light depolarizer and the development of polarization detecting technology based on wave plate and revolver, the multiplex depolarizer effect on polychromatic light was analyzed by means of Stokes vector and Mueller matrix, the matrix presentation of Stokes vector was obtained. Then the depolarizing mechanism of polychromatic light was represented. The effect of polarized direction of the polarized light and rotation angle of revolver on depolarization was discussed through detailed calculation. The obtained results are useful for design and study about depolarizer device.

Key words physical optics; polarized light; multiplex depolarizer; Stokes vector; Mueller matrix

引 言

随着激光和光通信技术的发展, 偏光技术和偏光器件得到了飞速的发展。偏光技术已成为光学检测、光学计量、光信息处理中的一种专门化手段, 在与光学技术相关的各个领域中都得到了广泛应用。然而, 几乎所有的光探测器件都具有偏振敏感性, 探测器件的转换效率与偏振光的态势和方位角有关。为了保证测量精度, 通常的做法是在探测器窗口处加一退偏器, 以消除因探测器件的偏振敏感性带来的测量误差^[1,2]。

退偏器是用于把有规则取向的光矢量(偏振光)恢复到杂乱无序状态(自然光)。理想化的退偏器是使偏振光的相位和振动方向完全随机化, 迄今还没有见到能够真正实现完全退偏的理想器件。使偏振光

通过散射型介质或具有梯度相位差的双折射材料, 是实现退偏的两种基本方法, 现代光学技术中普遍采用的退偏器件是用双折射晶体材料(如冰洲石和石英晶体)制成。它是让平面偏振光通过具有一定梯度相位差的双折射晶体, 使光束在微区内干涉并叠加, 从而改变其有序状态以达到退偏的目的, 这种方法比较简单, 但退偏效果不太理想^[3~5]。

1 波片和旋转器复合退偏器的矩阵理论分析

复色光退偏器可分光单板式和双板利奥式, 利用双折射率材料可以制作复色光退偏器, 它的结构是光轴平行于通光面的平行平板, 入射的线偏振光, 以其偏振面与光轴成 $\pi/4$ 入射到平行平板上, 由于入射光的波长不同, 通过双折射晶体后具有不同的相位延迟, 使出射光成为具有不同椭圆率的椭圆偏振光, 这样双折射板同一处出射的光就有各种各样的偏振态, 整个光束就是这种随机变化的合成, 其结果使得沿整个光束横截面的积分造成有效的退偏振^[6,7]。如图 1 所示, 入射光先经过波片引起相位延迟, 然后经过旋转器产生旋光。

设入射光为与 x 轴成 α 角线偏振光的斯托克斯矢

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60278001)

作者简介: 任广军(1963-), 男, 副教授, 博士研究生, 主要从事全固态激光器、非线性频率变换与激光偏光技术的研究。

* 通讯联系人。E-mail: jgqya@tju.edu.cn

收稿日期: 2006-04-07; 收到修改稿日期: 2006-06-06

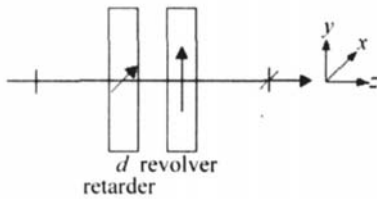


Fig 1 Multiplex depolarize of wave plate and revolver

量为^[8,9]:

$$E_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\alpha \\ \sin 2\alpha \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

第 1 只是快轴与 x 轴成 $\pi/4$ 的相位延迟器, 其米勒矩阵为:

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta & 0 & -\sin \delta \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \sin \delta & 0 & \cos \delta \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d$ 。

第 2 只是相对于 x 轴旋转 θ 角的旋转器, 其米勒矩阵为:

$$M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\theta & \sin 2\theta & 0 \\ 0 & -\sin 2\theta & \cos 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

出射光的斯托克斯矢量为:

$$E_2 = M_2 M_1 E_1 =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\theta & \sin 2\theta & 0 \\ 0 & -\sin 2\theta & \cos 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \delta & 0 & -\sin \delta \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \sin \delta & 0 & \cos \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\alpha \\ \sin 2\alpha \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\theta \cos 2\alpha \cos \delta + \sin 2\theta \sin 2\alpha \\ -\sin 2\theta \cos 2\alpha \cos \delta + \cos 2\theta \sin 2\alpha \\ \cos 2\alpha \sin \delta \end{bmatrix} \quad (4)$$

2 讨论

当然只用单一的波片也能对复色光进行退偏, 这里加旋转器的目的是使出射光变为椭圆偏振光, 以达到更好的退偏效果。

当 $\theta = \pi/4$ 时, 由 (4) 式得:

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ \sin 2\alpha \\ -\cos 2\alpha \cos \delta \\ \cos 2\alpha \sin \delta \end{bmatrix} \quad (5)$$

(1) 对于 $\alpha = 90^\circ$, 即入射光偏振方向沿 y 轴, 由 (5) 式得:

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \cos \delta \\ -\sin \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d \right] \\ -\sin \left[\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d \right] \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中, $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d$ 。

(2) 对于 $\alpha = 0^\circ$, 即入射光偏振方向沿 x 轴, 由 (5) 式得:

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -\cos \delta \\ \sin \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -\cos \left[\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d \right] \\ \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d \right] \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d$ 。

由 (5) 式、(6) 式可知, 出射光为椭圆偏振光, 对于不同波长的入射光, 其出射光的偏振态不同, 从而达到退偏目的。

(3) 特别的, 当 $\alpha = \pi/4$ 时, 由 (5) 式得:

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

此即为与 x 轴平行的线偏振光, 即入射光偏振面与延迟片和旋转器的偏振面一致时, 退偏器对复色光不起退偏作用。

当 $\theta = \pi/2$ 时, 由 (4) 式得:

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -\cos 2\alpha \cos \delta \\ -\sin 2\alpha \\ \cos 2\alpha \sin \delta \end{bmatrix} \quad (9)$$

(1) 对于 $\alpha = 90^\circ$, 即入射光偏振方向沿 y 轴, 由 (9) 式得:

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos \delta \\ 0 \\ -\sin \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d \right] \\ 0 \\ -\sin \left[\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d \right] \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中, $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d$ 。

(2) 对于 $\alpha = 0^\circ$, 即入射光偏振方向沿 x 轴, 由 (9) 式得:

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -\cos\delta \\ 0 \\ \sin\delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d\right] \\ 0 \\ \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d\right] \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中, $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d$ 。

由(10)式、(11)式可知,出射光亦为椭圆偏振光,不同波长光的入射到退偏器,其出射光的偏振态不同,从而得到退偏。

当 $\theta = \pi$ 时,由(4)式得:

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\alpha \cos \delta \\ \sin 2\alpha \\ \cos 2\alpha \sin \delta \end{bmatrix} \quad (12)$$

(1)对于 $\alpha = 90^\circ$,即入射光偏振方向沿 y 轴,由(12)式得:

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -\cos\delta \\ 0 \\ -\sin\delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d\right] \\ 0 \\ -\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d\right] \end{bmatrix} \quad (13)$$

式中, $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d$ 。

(2)对于 $\alpha = 0^\circ$,即入射光偏振方向沿 x 轴,由(12)式得:

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos\delta \\ 0 \\ \sin\delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d\right] \\ 0 \\ \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d\right] \end{bmatrix} \quad (14)$$

式中, $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d$ 。

从(12)式、(13)式可知,出射光仍为椭圆偏振光,由于入射光的波长不同,经过两级作用使出射光的偏振态杂乱无章,造成了有效的退偏振。

由以上计算可知,波片和旋转器的复合退偏,当偏振光经过这种退偏器时,首先在波片中产生相位延迟,然后再经过旋转器使入射光的偏振面旋转。由于相位延迟和偏振面的旋转都与入射光的波长有关,波长不

同的偏振光在经过退偏器后,其出射光的偏振面亦不同,因此经过两级作用,能够使出射光的偏振面更加不同,使复色光能够比利用其它方法达到更加理想地退偏效果^[10]。

3 结 论

利用矩阵方法对波片和旋转器复合退偏进行了理论研究,推导了波片和旋转器复合退偏效应的具体矩阵,并就不同情况的入射光进行了讨论。波片和旋转器的组合,使得经过这一器件的多色偏振光的偏振面得到不同程度地旋转,出射光的偏振方向各不相同,按照这种组合,很容易设计实验装置,通过调整波片和旋转器与入射光偏振方向的相对方向,就可以测量出射光的退偏情况。这一理论对于退偏器件的进一步研究具有一定的指导作用。

参 考 文 献

- [1] WU F Q, LI G H, FENG T Zh Study on the measurement of spectral properties of monochromatic light crystal quartz depolarizer [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis 1996, 16 (3): 23 ~ 26 (in Chinese).
- [2] LI G H, ZHANG D W. Three-element compound dekyed depolarizer [J]. Laser Technology, 2001, 25 (6): 430~ 432 (in Chinese).
- [3] CHIH, GAO J XU S L A novel practical quasimonochromatic depolarizer [J]. Acta Optica Sinica 1997, 17 (8): 1097~ 1101 (in Chinese).
- [4] WU F Q, WANG J M, FENG T Zh *et al* Depolarization effect of magneto-optic crystal GdYBiG in adjustable magnetic field [J]. Chinese Journal of Lasers 2004 31 (11): 1347~ 1350 (in Chinese).
- [5] PENG H D, LI G H, HAO D Zh *et al* Research of liquid crystal depolarization effect [J]. Journal of Qufu Normal University, 2005 31 (2): 70~ 76 (in Chinese).
- [6] HE ZH, XU K X, SU Y X Study on the relationship of polarizability of transmitted light and scattering number [J]. Acta Photonica Sinica 2005 34 (4): 547~ 549 (in Chinese).
- [7] XU F Y, LI G H. Study on history and present situation of depolarizers and their applications [J]. Optical Apparatus 1995, 17 (2): 37~ 40 (in Chinese).
- [8] WU F Q, LI G H, FENG T Zh. Study on depolarizing mechanism and performance of the polychromatic light crystalline quartz rotation depolarizer [J]. Journal of Qufu Normal University 1995, 21 (4): 55~ 58 (in Chinese).
- [9] ZHU Q Ch. Matrix optics oriented theory [M]. Shanghai Shanghai Scientific and Technical Literature Press, 1991. 191 ~ 199 (in Chinese).
- [10] WANG J M, WU F Q, FENG T Zh *et al*. The change of rotation angle for B:CaInVIG and GdYBiG crystal at oblique incidence [J]. Laser Technology, 2004 28 (4): 394~ 396 (in Chinese).