

doi:10.3788/gzxb20144309.0912002

# 基于洛匈棱镜的偏振度测量与空间退偏度 分析方法研究

罗云瀚<sup>1</sup>,王芳<sup>1</sup>,葛菁华<sup>1</sup>,陈哲<sup>1</sup>,唐洁媛<sup>1</sup>,余健辉<sup>1</sup>,  
卢惠辉<sup>1</sup>,张军<sup>1</sup>,林宏奂<sup>2</sup>,隋展<sup>2</sup>

(1 暨南大学 理工学院 光电工程系 光电信息与传感技术广东普通高校重点实验室,广州 510632)

(2 中国工程物理研究院激光聚变研究中心,四川 绵阳 621900)

**摘 要:**空间平均型退偏要求退偏后的光束不仅具有低偏振度,还要求避免偏振态的空间带状连续分布.为了实现光束偏振度的测量和空间退偏度的观察,提出基于洛匈棱镜的偏振度测量方法,理论推导了偏振度和各个光功率测量值之间的关系,设计了实验装置,并与全偏振度测量方法进行对比.结果显示:两种测量方法得到的偏振度相对偏差为 0.192%,但洛匈棱镜能将 o 光和 e 光在空间分离,能对光束偏振态的空间分布进行观测.基于洛匈棱镜的偏振度观测方法结构简单,操作方便,在偏振度和偏振态的空间分布的同时观测中有重要应用.

**关键词:**偏振度;洛匈棱镜;空间偏振分布

中图分类号:TN247;O436.3

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2014)09-0912002-5

## Simultaneous Measurement of the Degree of Polarization and Spatial Analysis of Depolarization Based on a Rochon Prism

LUO Yun-han<sup>1</sup>,WANG Fang<sup>1</sup>,GE Jing-hua<sup>1</sup>,CHEN Zhe<sup>1</sup> TANG Jie-yuan<sup>1</sup>,YU Jian-hui<sup>1</sup>,  
LU Hui-hui<sup>1</sup>,ZHANG Jun<sup>1</sup>,LIU Hong-huan<sup>2</sup>,SUI Zhan<sup>2</sup>

(1 Key Laboratory of Optoelectronic Information and Sensing Technologies of Guangdong Higher Education Institutes,  
Department of Optoelectronic Engineering, College of Science and Engineering,  
Jinan University, Guangzhou 510632, China)

(2 Research Center of Laser Fusion, CEAP, Mianyang, Sichuan 621900, China)

**Abstract:** Spatial averaged depolarization requires that depolarized light beam not only has a low degree of polarization (DOP), and also avoids the polarization state exhibiting continuous band in spatial distribution. To achieve the measurement of the DOP of the beam and observation of the degree of spatial depolarization, a method based on the Rochon prism was proposed. The dependence of the DOP on each optical power measurements was firstly deduced, following with experimental measurement and comparison to full polarization test method. The relative deviation in the DOP for the same light beam, 0.192%, shows the two methods have the same performance in measurement of DOP. However, the feature of the proposed method separating o component and e component in the space enable observations

**基金项目:**国家自然科学基金(Nos. 6177075, 61008057, 11004086, 61475066, 61405075)、广东省战略性新兴产业核心技术攻关项目(Nos. 2012A032300016, 2012A080302004, 2011A081302002, 2012A080301002)、广东省学科建设专项资金(No. 2013CXZDA005)、中央高校基本科研业务费专项资金(Nos. 21614313, 21613325, 21613405)和东南大学生物电子学国家重点实验室开放研究基金(No. 2014H09)资助

**第一作者:**罗云瀚(1979—),男,副研究员,博士,主要研究方向为光电信息检测与传感、生物光学与光谱分析、光微流器件与传感等.  
Email:yunhanluo@163.com

**通讯作者:**陈哲(1957—),男,博士,教授,博导,主要研究方向为新型光纤无源器件、光纤通信与光纤传感技术、光电检测技术、光学设计、光学及光电系统计算机仿真等. Email:thzhechen@jnu.edu.cn

**收稿日期:**2013-11-05; **录用日期:**2014-05-14

<http://www.photon.ac.cn>

of the spatial distribution of polarization states respectively. The Rochon prism based method will play an important role in simultaneous measurement of DOP and observance of spatial polarization distribution.

**Key words:** Degree of polarization; Rochon prism; Spatial distribution of polarization

**OCIS Codes:** 120. 5410; 230. 5440; 260. 5430; 290. 5855

## 0 引言

偏振度是表征光束偏振特性的重要参量<sup>[1-3]</sup>,是影响光学传感<sup>[4-5]</sup>、激光测量<sup>[6]</sup>等方面的重要因素. 在目前的偏振技术研究领域,斯托克斯参量测量法<sup>[7-8]</sup>、全偏振态消光比测量法<sup>[9-10]</sup>都是测量偏振度的方法. 为了能够使对任意偏振态的入射脉冲光都能实现理想的退偏振<sup>[11-13]</sup>,且能够实现退偏后偏振态的空间杂乱分布,需要设计一种用于空间型退偏光的测量方法<sup>[14-15]</sup>. 针对实验要求以及空间平均型退偏器产生的空间光束的特点,本文设计了一种利用洛匈棱镜的偏振度测量方法. 该方法装置结构简单,测量操作方便、可以测量具有一定光束直径的退偏光的偏振度并同时观测偏振态空间分布特性. 该项目的研究成果不仅可为 ICF 激光驱动器光纤前端系统提供先进的退偏理论和技术,也将为光通信和光纤传感领域提供新的退偏技术和器件.

## 1 测量原理

洛匈(Rochon)棱镜发明于 1783 年,因其偏振度高、机械稳定性好、透过率高等优点而广泛用于各种光学系统中<sup>[16-17]</sup>. 如图 1 所示,洛匈棱镜由两片双折射晶

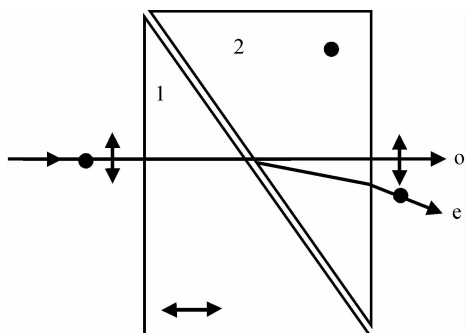


图 1 洛匈棱镜的结构及光路

Fig. 1 Scheme of the Rochon prism

体胶合而成,晶体 1 的光轴与入射面垂直,晶体 2 的光轴与晶体 1 垂直. o 光和 e 光垂直进入晶体 1, o 光在两块晶体中的折射率均为  $n_o$ , 其光线不偏折; 而 e 光由于在晶体 1 中折射率为  $n_e$ , 经胶合面后在晶体 2 中变为  $n_e$ , 因此在晶体 2 的后端面发生偏折. 因此, o 光、e 光棱镜的出射端会发生分离. 根据对偏振度<sup>[6-8]</sup> (Degree of Polarization, DOP) 的定义, 偏振光占总光强的比重为

$$DOP = \frac{P_p}{P_p + P_u} \quad (1)$$

式中,  $P_p$  是指光束中偏振成分的功率,  $P_u$  是指光束中非偏振成分的功率, DOP 表征了一束光中偏振成分的

多少.

根据洛匈棱镜的结构特点,它能够产生两束彼此分开的、振动方向互相垂直的完全线偏振光. 退偏后的空间光束可以看作由非偏振光的一部分偏振光组成<sup>[9-15]</sup>. 其中,非偏振光沿着各个方向振动的强度都相同,按照任意两个正交方向分解为 o 光、e 光光功率相等,都为非偏振光的一半

$$P_{o(u)} = P_{e(u)} = \frac{1}{2} P_u \quad (2)$$

对于残余的偏振部分,如图 2 所示,设其偏振主轴的取向与空间直角坐标系  $x$  轴夹角为  $\theta$ ,洛匈棱镜第二块晶体光轴与  $x-y$  平面平行,与  $x$  轴夹角为  $\alpha$ .

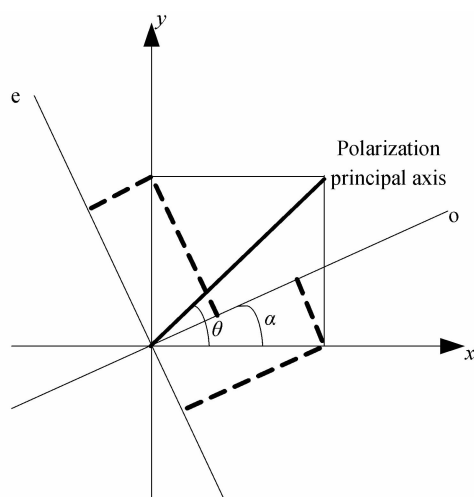


图 2 偏振主轴与第二块晶体光轴方向

Fig. 2 The polarization axis of the axis orientation of crystal II

为计算入射光偏振部分经过洛匈棱镜后分离为 o 光、e 光的光强,可以首先将偏振光的振幅  $A_0$  对空间坐标系的  $x$ 、 $y$  轴投影,得到在  $x$ 、 $y$  两个方向的振幅为  $A_x = A_0 \cos \theta$ ,  $A_y = A_0 \sin \theta$ . 再分别将振幅在  $x$  轴、 $y$  轴两个方向的分量根据第二块晶体的光轴方向分解,得到  $x$  轴方向的垂直和平行于主截面的振幅分量为  $A_{\perp 1} = A_x \sin \alpha$ ,  $A_{//1} = A_x \cos \alpha$ .

$y$  轴方向的垂直,平行于主截面的振幅分量:  $A_{\perp 2} = A_y \cos \alpha$ ,  $A_{//2} = A_y \sin \alpha$ . 对上述振幅分量合成得到 o 光、e 光振动方向振幅强度为

$$A_o = A_{\perp 1} + A_{\perp 2} = A_0 \sin(\alpha + \theta),$$

$$A_e = A_{//1} + A_{//2} = A_0 \cos(\alpha + \theta).$$

那么,偏振部分按照两个正交方向分解为 o 光、e 光的光强分别为

$$P_{o(p)} = P_p \sin^2(\alpha + \theta) \quad (3)$$

$$P_{e(u)} = P_p \cos^2(\alpha + \theta) \quad (4)$$

因此,可以得到洛匈棱镜分离后的 o 光、e 光的光强为

$$P_o = P_{o(p)} + P_{o(u)} = P_p \sin^2(\alpha + \theta) + \frac{1}{2} P_u \quad (5)$$

$$P_e = P_{e(p)} + P_{e(u)} = P_p \cos^2(\alpha + \theta) + \frac{1}{2} P_u \quad (6)$$

调节洛匈棱镜,使出射光分离的两光斑连线成水平,此时第二块晶体光轴位于竖直方向,分别测量洛匈棱镜出射的两束分离光的光功率值,也就是平行、垂直于第二块晶体光轴两个偏振方向的光功率分量为

$$P_o[0] = P_p \sin^2 \theta + \frac{1}{2} P_u \quad (7)$$

$$P_e[0] = P_p \cos^2 \theta + \frac{1}{2} P_u \quad (8)$$

再通过旋转洛匈棱镜,使得两光斑连线成  $45^\circ$ ,光轴方向也随之改变  $45^\circ$ ,使光束按照另外两个正交的偏振方向分解,测量其中一束的光功率值(如不动光斑 o 光光功率)。

$$P_o[\pi/4] = P_p \sin^2(\pi/4 + \theta) + P_u/2 \quad (9)$$

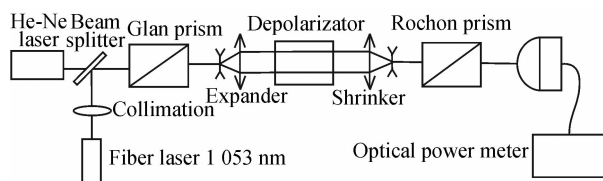
根据式(7)~(9)三组光功率值  $P_o[0]$ 、 $P_e[0]$ 、 $P_o[\pi/4]$ ,可以计算求出入射到洛匈棱镜的光束中偏振成分和非偏振成分的光功率值,进一步可以得到入射光的偏振度为

$$DOP = \frac{P_p}{P_p + P_u} = \frac{[(2P_o[\pi/4] - P_o[0] - P_e[0])^2 + (P_e[0] - P_o[0])^2]^{1/2}}{(P_o[0] + P_e[0])} \quad (10)$$

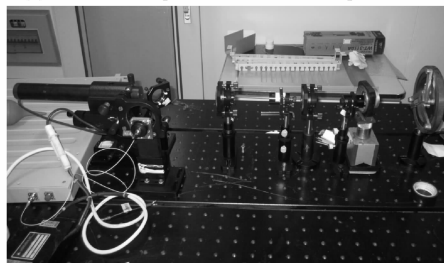
因此,实验中只要分别测出  $P_o[0]$ 、 $P_e[0]$ 和  $P_o[\pi/4]$ 就可以得到光束的偏振度 DOP。

## 2 实验装置和方法

实验装置如图 3 所示,632.8 nm 的氦氖激光用来调节光路,1 053 nm 光纤激光器输出光是待分析偏振态光束。待分析光束经过准直器准直,首先调整可见光



(a) Schematic representation of the experiment



(b) Experimental setup

图 3 利用洛匈棱镜测量偏振度的装置

Fig. 3 Proposed method for DOP measurement based on the Rochon prism

经过分光镜后的透射光与红外光经过分光镜后的反射光在上转换片上的光斑重合。通过格兰棱镜起偏和扩束镜,线偏光经过退偏器后经过缩束镜缩束,洛匈棱镜将 o 光 e 光分离,分别测量洛匈棱镜出射的两束分离光的光功率值,也就是平行、垂直于第二块晶体光轴两个偏振方向的光功率分量,再通过旋转洛匈棱镜,使得两光斑连线成  $45^\circ$ ,光轴方向也随之改变  $45^\circ$ ,使光束按照另外两个正交的偏振方向分解,测量其中一束的光功率值(如不动光斑 o 光光功率)。通过以上测得的三组数据,计算线偏振光经过退偏器后的偏振度。

## 3 测量结果

根据实验测得数据,对利用洛匈棱镜的偏振度测量方法进行分析,并与全偏振态消光比的方法进行对比,利用红外感光卡可以在同一平面观测退偏后偏振态的空间分布情况。

### 3.1 利用洛匈棱镜测量偏振度

洛匈棱镜将 o 光 e 光分离,分别测量洛匈棱镜出射的两束分离光的光功率值为  $P_o[0] = 4\ 086\ \mu\text{W}$ ,  $P_e[0] = 3\ 920\ \mu\text{W}$ 。

再通过旋转洛匈棱镜,使得两光斑连线成  $45^\circ$ ,光轴方向也随之改变  $45^\circ$ ,使光束按照另外两个正交的偏振方向分解,测量其中一束的光功率值(如不动光斑 o 光光功率)  $P_o[\pi/4] = 4\ 010\ \mu\text{W}$ 。

根据式(7)~(9),分别求出入射到洛匈棱镜的光束中偏振成分和非偏振成分的光功率值  $P_p = 166.6\ \mu\text{W}$ ,  $P_u = 7\ 839\ \mu\text{W}$ 。再根据式(10)进一步可以得到入射光的偏振度 2.081%。

### 3.2 对比分析

对同一组退偏器组合,全偏振态消光比测量法是通过旋转检偏的格兰棱镜超过  $360^\circ$ ,分别记录光功率的最大值  $P_{\max}$  和最小值  $P_{\min}$  分别为  $154.74\ \mu\text{W}$  和  $148.42\ \mu\text{W}$ 。

根据偏振度的公式可计算得到退偏光的偏振度为

$$DOP' = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}} = \frac{154.74 - 148.42}{154.74 + 148.42} = 2.085\%$$

全偏振态消光比测量法、利用洛匈棱镜的测量偏振度的两种方法都可以对空间平均型退偏器的退偏光进行测量。两种方法对同一光束的测量结果相近,相对偏差为 0.192%。即

$$\delta = \frac{2 \times |0.020\ 81 - 0.020\ 85|}{0.020\ 81 + 0.020\ 85} = 0.192\%$$

### 3.3 偏振态空间分布的观测

在出射光的通光平面内,利用红外感光卡或者 CCD 可以同时观察到两个检偏方向的光强分布,退偏前的入射光为完全线偏振光,经过洛匈棱镜后,在两个检偏方向上的极限情况如图 4。

为对比分析,观测经本课题组设计的新型退偏器退偏后的偏振态空间分布.因为具有高偏振态空间杂

乱分布特性,在两个检偏方向的光强分布相对均匀,不存在偏振态条形带状的连续分布,如图5.

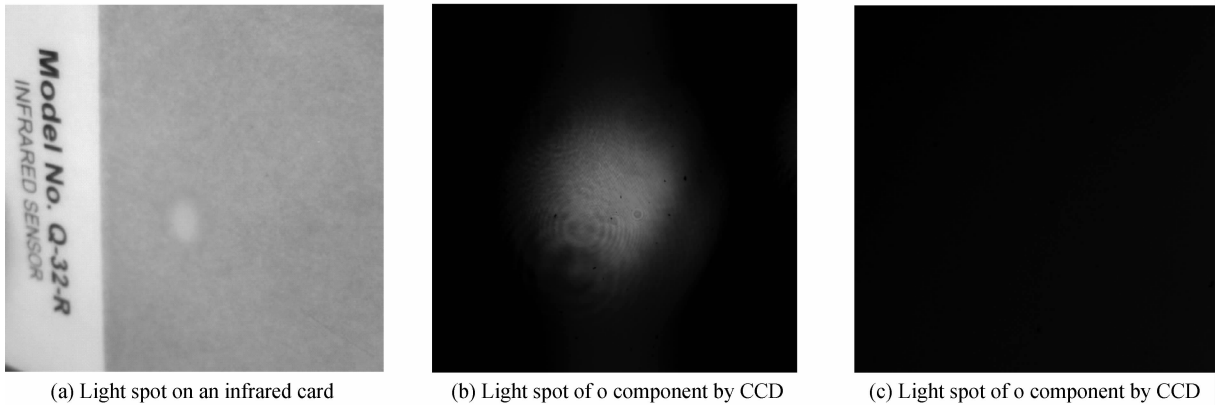


图4 退偏前的光束偏振态空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of polarization state before depolarization

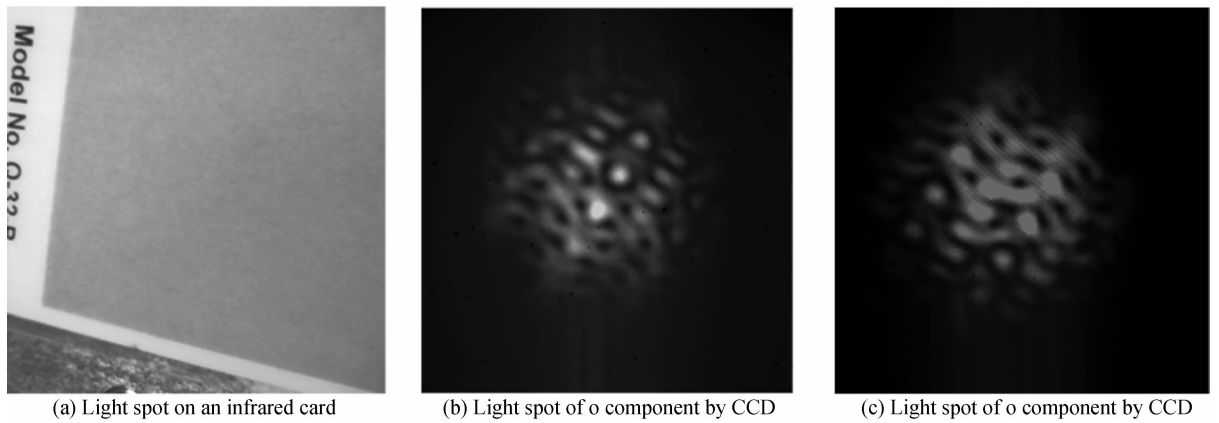


图5 退偏后的光束偏振态空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of polarization state after depolarization

## 4 结论

本文设计了一种利用洛匈棱镜测量偏振度的实验方法,能够用于空间型晶体退偏器的偏振度测量实验,对这种新型偏振度测量方法原理和测量步骤进行说明.结合实验测量数据对利用洛匈棱镜测量偏振度和全偏振态消光比的两种测量方法进行对比,两种实验方法测量结果相对偏差仅为0.192%,证明新提出的方法完全适用偏振度测量.利用红外感光卡或CCD可明显观察到退偏前后偏振态的空间分布的差别,证明此方法能分别观察o光和e光偏振态的空间分布.基于洛匈棱镜的观测方法装置简单,操作方便,弥补了现有偏振度测量法的不足,在对空间光束偏振度和偏振态空间分布同时观测中有重要的应用.

### 参考文献

- [1] LEITCH M E, KOVAC M J, PRYKE C, *et al.* Measurement of polarization with the degree angular scale interferometer[J]. *Nature*, 2002, **420**(6917): 763-771.
- [2] SALVAIL Z J, AGNEW M, JOHNSON S A, *et al.* Full characterization of polarization states of light via direct measurement[J]. *Nature Photonics*, 2013, **7**(4): 316-321.

- [3] LI Zheng-qiang, BLAREL L, PODVIN T, GOLOUB P, *et al.* Calibration of the degree of linear polarization measurement of polarized radiometer using solar light [J]. *Applied Optics*, 2010, **49**(8): 1249-1256.
- [4] HUANG Ai-xian, ZHANG Hao, QIU Yi-shen, *et al.* Application of stokes vector method on the full-fiber current sensor[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2013, **42**(6): 699-704.  
黄爱显, 张昊, 邱怡申, 等. 斯托克斯矢量法在全光纤电流传感器中的应用[J]. *光子学报*, 2013, **42**(6): 699-704.
- [5] CAO Xian-ping, SUN Ping. Characteristics of degree of polarization of backscattering light in scattering medium at different wavelengths[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(5): 608-613.  
曹先平, 孙萍. 不同波长的散射介质后向散射光偏振度特性[J]. *光子学报*, 2012, **41**(5): 608-613.
- [6] WANG Hai-yan, SUI Yong-hua, HUANG Wei, *et al.* Target detection using pulse laser's character of ploarization[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(11): 2958-2962.  
王海晏, 隋永华, 黄伟, 等. 脉冲激光偏振特性用于目标的探测识别[J]. *光子学报*, 2009, **38**(11): 2958-2962.
- [7] FENG Wei-wei. The intelligent measurement of stokes parameters and polarization degree based on the polarization state of light beam [D]. Master Thesis of QubuUniversity, 2004.  
冯伟伟. 光束偏振态的斯托克斯参量及偏振度的智能化测量[D]. 曲阜师范大学硕士学位论文, 2004.

- [8] XU Xiao-shan. The design of and experimental study of polarimeter system of stokes parameters based on division-of-amplitude [D]. Master Thesis of Zhejiang University, 2011. 8. 徐晓珊. 偏振光分振幅测量的斯托克斯参量的分振幅测量系统的设计和实验研究[D]. 浙江大学硕士学位论文, 2011. 8.
- [9] FAN Zhen-yu. The studies on measuring technology about polarization properties in lasers [D], Master Thesis of Changchun University of Science and Technology, 2009. 范镇煜. 激光偏振特性参数检测技术研究[D]. 长春理工大学硕士学位论文, 2009.
- [10] LIU Ji-hong, FANG Qiang, YIN Ya-fang, *et al.* Low-DOP depolarizer for linearly polarized light independent of direction of vibration [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(03): 536-539. 刘继红, 方强, 尹亚芳, 等. 线偏振光振动方向无关的低偏振度消偏器[J]. *光学学报*, 2007, **27**(03): 536-539.
- [11] SUN Guang-wen, MA Heng-jian, WANG Guang-ming. Principle and performance analysis of Lyot depolarizer [J]. *Acta Photonica Sinica*, 1997, **26**(10): 924-928. 孙广文, 马恒坚, 王光明. Lyot 光纤消偏器的原理及性能分析[J]. *光子学报*, 1997, **26**(10): 924-928.
- [12] CHI Hao, ZHANG Xian-min, CHEN Kang-sheng, *et al.* Coherence analysis of Lyot depolarizer [J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2000, **34**(02): 140-142. 池灏, 章献民, 陈抗生, 等. Lyot 退偏器的相干分析[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2000, **34**(02): 140-142.
- [13] ZHANG Jing-hua. Analysis of lyot optical fiber depolarizer by mueller matrix [J]. *Journal of Shanghai University (Nature Science)*, 2002, **8**(02): 141-144. 张靖华. Lyot 型光纤消偏器的 Mueller 矩阵分析[J]. *上海大学学报(自然科学版)*, 2002, **8**(02): 141-144.
- [14] GE Jing-hua, CHEN Zhe, LUO Ying-da, *et al.* New double-wedge crystal depolarizer for monochromatic pulse light [J]. *Journal of Applied Optics*, 2010, **31**(05): 864-870. 葛菁华, 陈哲, 罗英达, 等. 适用于单色脉冲光的新型双光楔晶体退偏[J]. *应用光学*, 2010, **31**(05): 864-870.
- [15] CHEN Zhe, LÜ Feng, GE Jing-hua, *et al.* Optical crystal depolarizer to enhance two-dimensional disorderly distribution of SOP [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, **42**(05): 1258-1264. 陈哲, 吕锋, 葛菁华, 等. 增强偏振态二维无序分布特性的光学晶体退偏器[J]. *红外与激光工程*, 2013, **42**(05): 1258-1264.
- [16] GAO Hong-gang, PEI Qing-kui. The design of Rochon polarizing prism [J]. *Optical Technique*, 1994, **3**(05): 26-30. 高宏刚, 裴庆魁. Rochon 起偏分束棱镜的结构设计[J]. *光学技术*, 1994, **3**(05): 26-30.
- [17] HU Shu-ji. Discussion on transmissivity of Rochon prism [J]. *Journal of Hangzhou Teachers College (Nature Science Edition)*, 2005, **4**(05): 376-379. 胡树基. 洛匈(Rochon)棱镜透光率的研究[J]. *杭州师范学院学报(自然科学版)*, 2005, **4**(05): 376-379.