

## 增强偏振态二维无序分布特性的光学晶体退偏器

陈哲<sup>1,2</sup>, 吕锋<sup>1</sup>, 葛菁华<sup>1</sup>, 张军<sup>1,2</sup>, 余健辉<sup>1,2</sup>, 林宏奂<sup>3</sup>, 隋展<sup>3</sup>

(1. 暨南大学光电工程系, 广东 广州 510632; 2. 光电信息与传感技术广东普通高校重点实验室 (暨南大学), 广东 广州 510632; 3. 中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 针对光楔型退偏器输出光偏振态存在的条形带状分布问题, 文中通过增加晶体斜面结构和光轴方向复杂组合, 设计和制作了一种具有增强偏振态二维无序分布特性的光学晶体退偏器, 增强了偏振态在二维通光平面内的无序分布。仿真和实验显示, 出射光在通光平面内偏振态连续条形带状分布明显减弱, 有效改善了退偏光的偏振态二维分布均匀性。晶体斜面结构和光轴方向的组合越复杂, 偏振态二维分布将会越无序, 退偏效果也越好。

**关键词:** 晶体退偏器; 双折射晶体; 偏振态; 光轴; 无序分布

**中图分类号:** TN214 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)05-1258-07

## Optical crystal depolarizer to enhance two-dimensional disorderly distribution of SOP

Chen Zhe<sup>1,2</sup>, Lv Feng<sup>1</sup>, Ge Jinghua<sup>1</sup>, Zhang Jun<sup>1,2</sup>, Yu Jianhui<sup>1,2</sup>, Lin Honghuan<sup>3</sup>, Sui Zhan<sup>3</sup>

(1. Department of Optoelectronic Engineering, Ji'nan University, Guangzhou 510632, China;  
2. Key Laboratory of Optoelectronic Information and Sensing Technologies of Guangdong Higher Education Institutes, Ji'nan University, Guangzhou 510632, China; 3. Research Center of Laser Fusion, CEAP, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of polarization zonal distribution of optical state of polarization (SOP) in the output light of wedge-shaped depolarizer, an optical crystal depolarizer with high disorderly distribution of SOP on the cross section of output light was designed and built. The optical crystal depolarizer combined many more crystal slope structures and optical axes to make the polarization change in light plane and to improve depolarizing efficiency. The simulation and experiments showed that the polarization zonal distribution of output light was weaken obviously and the uniformity of depolarization was improved on the transverse plane of light. The more intricately both crystal slope structures and optical axes were combined, the more disorderly the polarization distribution of the depolarizer would be, and the better the depolarization effect would be.

**Key words:** crystal depolarizer; birefringence crystal; state of polarization; optical axes; disorderly distribution

收稿日期: 2012-09-05; 修订日期: 2012-10-03

基金项目: 国家自然科学基金(61177075、11004086、61008057); 中央高校基本科研业务费专项资金(21612437、21612117、21612450); 广东高校优秀青年创新人才培养计划项目(LYM10024)

作者简介: 陈哲(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事新型光纤无源器件、光纤通信、光纤传感技术、光电检测技术、光学设计及光电系统计算机仿真等方面的研究。Email: thzhechen@jnu.edu.cn

## 0 引 言

在惯性约束聚变(ICF)高功率固体激光系统中,需要给 ICF 激光驱动器后级系统提供一个已初步整形并具有一定能量、带宽、高信噪比与高光束质量的激光脉冲作为“种子”光源<sup>[1]</sup>,而提供稳定的激光脉冲“种子”光源的关键技术之一就是光学退偏器理论和技术<sup>[2]</sup>,光学退偏器方案能够有效地降低偏振变化引起的系统不稳定性,以及光纤传输过程中可能造成的影响,此外,退偏器在光纤通信、激光全息、天文学仪器等领域有着十分重要的应用<sup>[3]</sup>。现有的退偏振方法根据其原理主要分为空域平均法、时域平均法、光谱平均法和能量平均法四大类<sup>[4]</sup>,有的只能对连续光进行退偏<sup>[5-6]</sup>,有的只能对宽光谱光源进行退偏<sup>[7-9]</sup>,有的利用散射效应作为退偏机理,会使光偏离原方向且引起较大强度损失<sup>[3]</sup>,由于在 ICF 激光驱动器前端所产生的光脉冲是单色、单次、窄光谱、短脉冲,故需要采取空域平均退偏法<sup>[1]</sup>。

空域平均型退偏器的原理是利用晶体光楔产生不同的相位延迟,从而使出射光具有不同的偏振态。由于在光楔斜面上同一厚度处具有相同的相位延迟,因而出射光偏振态呈条形带状分布。采用空域平均退偏法的光楔型退偏器,一般使用偏振度(偏振度表示偏振光占总光强的比重)来评价退偏器的退偏效果。一个退偏后的光斑,其整体偏振度可能已经很小,在一些情况下如果偏振态呈条形带状分布,这样的退偏效果并不好。虽然国内外研究者对光楔型退偏器进行了研究<sup>[1,4,10-18]</sup>,但主要是对任意入射方向的偏振光进行退偏,以及波长、楔角、光斑尺寸等对退偏效果的影响进行研究,很少涉及输出光偏振态存在的条形带状分布问题。为解决输出光偏振态存在的条形带状分布问题,需要设计一种新的退偏器,能够使出射光的偏振态在通光平面内二维方向上有着无序分布,克服条形带状连续性分布的问题。文中运用空域平均退偏法原理<sup>[19]</sup>,通过增加晶体斜面结构和光轴方向复杂组合,设计了一种光学晶体退偏器,能够对任意偏振态的单色脉冲光实施有效退偏,同时增强偏振态在二维方向的无序分布,达到改善退偏效果的目的。

## 1 双光楔组合晶体退偏器局限性分析

双光楔组合晶体退偏器的晶体斜面结构使得经

过退偏器的出射光在通光平面内沿垂直于光楔厚度变化方向各处的相位延迟是相等的,所以出射光会形成偏振态一致性的条形带状分布,其结构如图 1 所示,双光楔组合晶体退偏器的结构如图 2 所示。设经

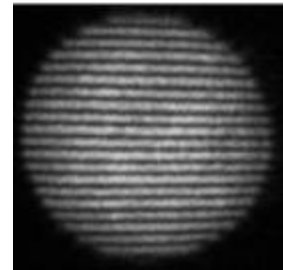


图 1 经双光楔组合晶体退偏器及检偏器后,输出光强在二维平面内的分布

Fig.1 Light intensity distribution of output light on cross plane of light after a double wedge optical crystal depolarizer and a polarization analyzer

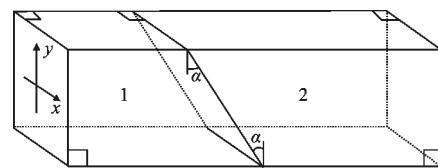


图 2 双光楔组合晶体退偏器

Fig.2 Sketch of double wedge optical crystal depolarizer

过退偏器退偏后的出射光束在其横截面内,任何直线方向上(直线  $l$  的方程为  $y=kx+b$ ,  $k$  为线性倾斜角的正切值,  $b$  为直线与  $y$  轴截距,  $-\frac{D}{2} \leq b \leq \frac{D}{2}$ ,  $D$  为光束横截面边长;以及直线  $x=d$ ,  $-\frac{D}{2} \leq d \leq \frac{D}{2}$ )的平均偏振度为  $\bar{P}_{line}(k, b)$  和  $\bar{P}_{line}(d)$ 。这个平均偏振度指标主要评估退偏后的出射光横截面内偏振态带状分布情况,其定义为:

$$\bar{P}_{line}(k, b) = \frac{\sqrt{\bar{S}_1(x, y)^2 + \bar{S}_2(x, y)^2 + \bar{S}_3(x, y)^2}}{\bar{S}_0(x, y)} = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{C} \int_l S_1(x, y) ds\right)^2 + \left(\frac{1}{C} \int_l S_2(x, y) ds\right)^2 + \left(\frac{1}{C} \int_l S_3(x, y) ds\right)^2}}{\frac{1}{C} \int_l S_0(x, y) ds} = \frac{\sqrt{\left(\int_l S_1(x, y) ds\right)^2 + \left(\int_l S_2(x, y) ds\right)^2 + \left(\int_l S_3(x, y) ds\right)^2}}{\int_l S_0(x, y) ds} \quad (1)$$

式中： $\int_{\Gamma} S_j(x, y) ds (j=0, 1, 2, 3)$  表示斯托克斯参量沿直线  $\Gamma(y=kx+b)$  做曲线积分； $ds = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} = \sqrt{1+k^2} dx$ ； $c$  为被积分方向线段的长度。将  $y=kx+b$  代入公式(1)中可以进一步得到以下的结果：

$$\bar{P}_{\text{line}}(k, b) = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^3 \left( \int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} \sqrt{1+k^2} S_j(x, kx+b) dx \right)^2}}{\sqrt{1+k^2} \int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} S_0(x, kx+b) dx} = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^3 \left( \int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} S_j(x, kx+b) dx \right)^2}}{\int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} S_0(x, kx+b) dx} \quad (2)$$

式中： $D$  为被考查光束横截面的直径； $\Sigma$  为连加计算符。

由于对于  $y=kx+b$  不能表示垂直于  $x$  轴的直线，所以还需要考虑垂直于  $x$  轴方向(直线  $x=d$ )上的  $\bar{P}_{\text{line}}(d)$ ：

$$\bar{P}_{\text{line}}(d) = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^3 \left( \frac{1}{D} \int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} S_j(d, y) dy \right)^2}}{\frac{1}{D} \int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} S_0(d, y) dy} = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^3 \left( \int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} S_j(d, y) dy \right)^2}}{\int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} S_0(d, y) dy} \quad (3)$$

根据偏振度的定义，若  $0 < \bar{P}_{\text{line}}(k, b) < 1$  且  $0 < \bar{P}_{\text{line}}(d) < 1$ ，则表明出射光的偏振态在横截面内不同方向的带状域内为部分偏振光；若  $\bar{P}_{\text{line}}(k, b) = 1$  且  $\bar{P}_{\text{line}}(d) = 1$ ，则表明出射光的偏振态在横截面内不同方向的带状域内为完全偏振光。这两种情况的出射光的偏振态在横截面内存在一定程度的带状分布。

根据上述评判标准对双光楔组合晶体退偏器进行分析。设双光楔组合晶体退偏器结构如图 2 所示，两块光楔的楔角相等，斜面相互紧贴。入射光束垂直于第一块光楔前表面入射，晶体的光轴均垂直于入射光的入射方向。第一块光楔的光轴与  $x$  轴平行( $\theta_1 =$

$0$ )，第二块光楔的光轴与  $x$  轴成  $\frac{\pi}{4}$  ( $\theta_2 = \frac{\pi}{4}$ ) 角。

出射光束斯托克斯参量的各元素为：

$$\begin{bmatrix} S'_{i0}(x, y) \\ S'_{i1}(x, y) \\ S'_{i2}(x, y) \\ S'_{i3}(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \cos \sigma b - \frac{1}{2} (S_2 + S_3) \sin 2\sigma b \\ S_2 \cos \sigma b - S_3 \sin \sigma b \\ S_1 \sin \sigma b - \frac{1}{2} (S_3 - S_2) \sin 2\sigma b \end{bmatrix} \quad (4)$$

事实上，只要取直线  $\Gamma: y=kx+b$  的  $k=0$ ，即  $y=b$  代入公式(2)，得：

$$\bar{P}_{\text{line}}(k, b) \Big|_{k=0} = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^3 \left( \int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} S'_j(x, b) dx \right)^2}}{\int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} S'_0(x, b) dx} = 1 \quad (5)$$

因此说明经双光楔组合晶体退偏器退偏后的出射光在横截面内沿着  $x$  轴( $k=0$ )方向恒有  $\bar{P}_{\text{line}}(k, b) \Big|_{k=0} = 1$ ，即沿着  $x$  轴方向的光线保持着同一种偏振态，偏振态将出现明显的条形带状分布。

基于光学设计软件 ASAP 仿真计算经过双光楔组合晶体退偏器后的偏振态分布。在通光平面内，偏振度测量仿真实验装置如图 3 所示，晶体单光楔退偏器 DP 的侧视图为一个直角梯形，楔角为  $\alpha$ ，DP 的快轴方向平行于前表面且为水平方向，入射光光束直径为  $2R$ ，经过起偏器 P 垂直入射到 DP 的前表面，其偏振态为已知(在 ASAP 中可设置)。D 为光功率测量装置，用于测量计算出射光的光功率， $W_i$  为通光方向沿水平方向的线偏振器。仿真计算表明，垂直于光楔厚度变化方向上的偏振态具有一致性，如图 4 所示，图中图案是用线、椭圆等表示对应空间点处的输出光是线偏振光，椭圆偏振光等状态；经过检偏器  $W_i$  后的光强出现明显的条形带状分布，如图 5 所示。

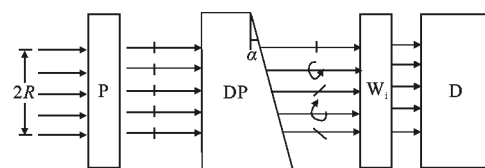


图 3 偏振度测量的仿真实验装置图

Fig.3 Setup of experiments in simulation to calculate the degree of polarization



图 4  $W_1$  之前的偏振态分布仿真图

Fig.4 Simulation picture of distribution of state of polarization

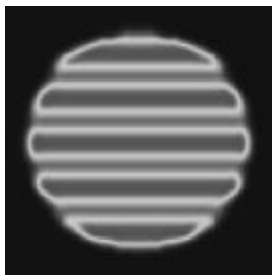


图 5 经  $W_1$  检偏后的光强分布仿真图

Fig.5 Simulation picture of distribution of light intensity after analyzer  $W_1$

## 2 具有增强偏振态二维无序分布特性的光学晶体退偏器设计

在对双光楔组合晶体退偏器局限性分析的基础上,提出通过增加晶体斜面结构和光轴方向复杂组合的方案,以实现偏振态在通光平面内二维方向的无序分布。如图 6 所示,晶体光楔 1 的前表面是竖直面,平行于  $xoy$  平面,后表面是绕  $x$  轴倾斜的斜面;晶体光楔 2 的前、后表面分别绕  $x$  轴与  $y$  轴倾斜;晶体光楔 3 的前表面绕  $x$  轴倾斜,后表面是平行于  $xoy$  平面的竖直面,所有斜面的倾斜角均为  $\alpha$ 。

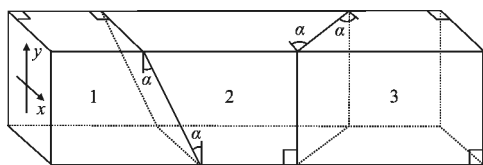


图 6 三光楔组合晶体退偏器

Fig.6 Sketch of three-wedge optical crystal depolarizer

根据图 6 可以把光线依次经过 1、2、3 三块光楔对应相位延迟量  $\varepsilon_1(x, y)$ 、 $\varepsilon_2(x, y)$ 、 $\varepsilon_3(x, y)$  转化为:

$$\begin{cases} \varepsilon_1(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n L_1(x, y) = -\frac{2\pi}{\lambda} \Delta n \cdot y \tan \alpha \\ \varepsilon_2(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n L_2(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n \cdot y \tan \alpha - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n \cdot x \tan \alpha \\ \varepsilon_3(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n L_3(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n \cdot x \tan \alpha \end{cases} \quad (6)$$

三块光楔光轴的组合方式如下:晶体光楔 1、2、3 的光轴方向与  $xoy$  平面平行,晶体光楔 1 的光轴沿  $x$  轴方向,晶体光楔 2 的光轴沿直线  $y=x$  方向(即与  $x$  轴成  $\frac{\pi}{4}$  角),晶体光楔 3 的光轴沿直线  $y=-x$  方向(即与  $x$  轴成  $-\frac{\pi}{4}$  角),如图 7 所示。

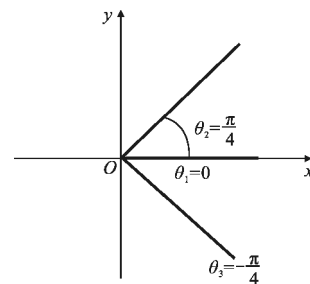


图 7 三光楔组合晶体退偏器的光轴组合方式

Fig.7 Combination of optical axes in a three wedge optical crystal depolarizer

设在入射光束横截面的任一位置  $(x, y)$  的光线其斯托克斯参量均为  $S = [S_0 \ S_1 \ S_2 \ S_3]^T$ ,入射光横截面边长为  $D$ 。光线经过依次经过 1、2、3 三块光楔对应相位延迟量分别为  $\varepsilon_1(x, y)$ 、 $\varepsilon_2(x, y)$ 、 $\varepsilon_3(x, y)$ ,经过三光楔后任意位置  $(x, y)$  处出射光线的斯托克斯参量为

$$S'(x, y) = \begin{bmatrix} S'_0(x, y) \\ S'_1(x, y) \\ S'_2(x, y) \\ S'_3(x, y) \end{bmatrix} \text{ 出射光束的斯托克斯参量为}$$

$$S' = [S'_0 \ S'_1 \ S'_2 \ S'_3]^T。$$

$$S'(x, y) = M\left(-\frac{\pi}{4}, \varepsilon_3(x, y)\right) M\left(\frac{\pi}{4}, \varepsilon_2(x, y)\right) M(0, \varepsilon_1(x, y)) S =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon_3 & 0 & \sin \varepsilon_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\sin \varepsilon_3 & 0 & \cos \varepsilon_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon_2 & 0 & -\sin \varepsilon_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \sin \varepsilon_2 & 0 & \cos \varepsilon_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \varepsilon_1 & \sin \varepsilon_1 \\ 0 & 0 & -\sin \varepsilon_1 & \cos \varepsilon_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varepsilon_2 + \varepsilon_3) & \sin \varepsilon_1 \sin(\varepsilon_2 - \varepsilon_3) & -\cos \varepsilon_1 \sin(\varepsilon_2 - \varepsilon_3) \\ 0 & 1 & \cos \varepsilon_1 & \sin \varepsilon_1 \\ 0 & \cos(\varepsilon_2 + \varepsilon_3) & -\sin \varepsilon_1 \cos(\varepsilon_2 - \varepsilon_3) & \cos \varepsilon_1 \cos(\varepsilon_2 - \varepsilon_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix}$$

代入公式(2)、(3)进行分析,若入射光偏振方向与其中一块光楔的光轴方向平行,在  $k=0$  或  $k=1$  时,出射光在通光平面内有  $\bar{P}_{\text{line}}(\mathbf{k}, \mathbf{b})|_{k=0}=1$ , 即在该方向的光线保持同一偏振态, 偏振态出现明显条形带状分布。在其他偏振方向入射时,  $0 < \bar{P}_{\text{line}}(\mathbf{k}, \mathbf{b})|_{k=0} < 1$ , 偏振态条形带状分布减弱。

根据这一思路,首先通过多光轴方向互成  $45^\circ$  的光楔, 能够实现对任意偏振态的垂直入射光实施退偏, 满足偏振度要求。再将两套这样的晶体组合使用,二者之间相对于入射光方向成小角度旋转,通过晶体斜面结构、光轴方向的复杂组合来实现偏振态无序分布, 克服双光楔退偏器带来的偏振态条形带状分布问题, 提高退偏振质量。此时对任意偏振态入射光, 恒有  $0 < \bar{P}_{\text{line}}(\mathbf{k}, \mathbf{b})|_{k=0} < 1$ , 偏振态条形带状分布减弱。由六块石英晶体组合构成的具有增强偏振态二维无序分布特性的光学晶体退偏器如图 8 所示。图 9 中, 第一套组合石英晶体(1, 2, 3), 石英晶体 1 的光轴

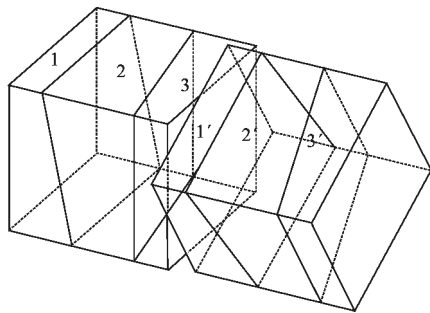


图 8 六光楔组合晶体退偏器结构示意图

Fig.8 Schematic diagram of a six wedge optical crystal depolarizer

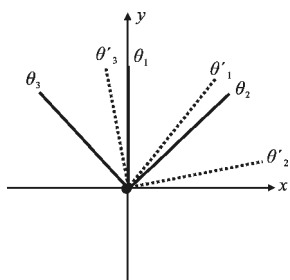


图 9 六光楔组合晶体退偏器的光轴组合方式

Fig.9 Combination of optical axes in a six-wedge optical crystal depolarizer

与  $y$  轴夹角  $\theta_1=0$ , 石英晶体 2 的光轴方向与  $y$  轴夹角  $\theta_2=\pi/4$ , 石英晶体 3 的光轴方向与  $y$  轴夹角  $\theta_3=\pi/4$ , 分别位于  $y$  轴两侧。第二套组合石英晶体沿入射方向旋转  $\alpha$  ( $15^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$ ), 石英晶体 1', 2', 3' 光轴方向与  $y$  轴夹角分别为  $\alpha, 45-\alpha, 45+\alpha$ 。

利用 ASAP 光学设计软件, 对六光楔组合晶体退偏器的退偏效果进行仿真分析, 观察偏振态的空间分布和检偏后光强分布, 分别如图 10 和图 11 所示, 图 10 中图案是用线、椭圆等表示对应空间点处的输出光是线偏振光、椭圆偏振光等状态。仿真计算结果表明, 通过两组退偏器的组合, 提供多角度的光轴方向和晶体斜面结构, 可以减弱光束的偏振态条形带状一致性分布。退偏后的出射光在通光平面内能够实现偏振态在二维方向的无序变化, 条形带状分布明显减弱, 有效地提高了偏振态的空间分布均匀性, 从而改善了光退偏质量。

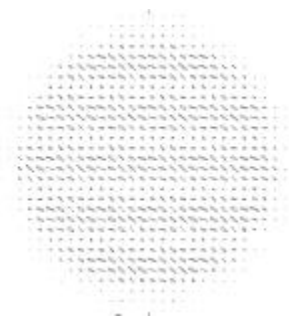


图 10 偏振态分布仿真示意图

Fig.10 Simulation picture of distribution of state of polarization

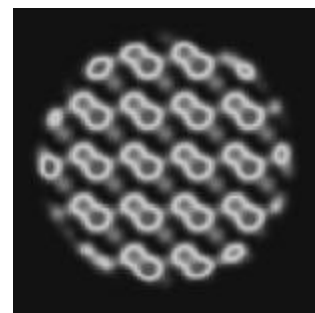


图 11 检偏后的光强分布仿真图

Fig.11 Simulation picture of distribution of light intensity after analyzer

### 3 实验结果与分析

设计制作了多组多光楔组合晶体退偏器, 按照图 12 实验装置分别进行了入射光波长为  $1\ 064\ \text{nm}$

和 632.8 nm 的测试。为了拍摄照片方便选 632.8 nm 的氦氖激光器为测试光源。

起偏器和检偏器为二个偏振片,扩束后的光斑直径约 6 mm,根据全偏振态消光比测试法<sup>[20]</sup>对多个组合晶体退偏器进行测试,通过旋转退偏器,改变入射光偏振方向与退偏器的相对角度,测试在所有偏振态中的最大输出光强为  $I_{max}$ ,最小输出光强为  $I_{min}$ ,则偏振度  $P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$ , 同时也可通过观察检偏后的光强分布来分析偏振态的空间分布情况。632.8 nm 入射光分别经过双光楔、三光楔、四光楔、五光楔、六光楔组合晶体退偏器后的偏振度和检偏后光强分布实验结果如表 1 和表 2 所示。

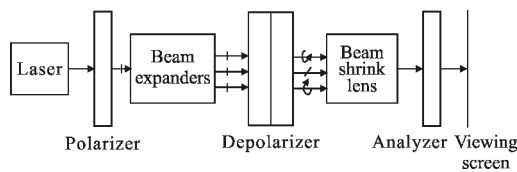


图 12 偏振度测试和偏振态观察实验装置示意图

Fig.12 Setup of experiment in the test of DOP and in the observation of SOP

表 1 多光楔组合晶体退偏器偏振度测试结果

Tab.1 Test results of degree of polarization for multiplex wedge optical crystal depolarizer

	P	0°	30°	50°	70°	90°
Three-wedge combination	$I_{max}/au$	173.9	174.3	176.8	177.7	174.1
	$I_{min}/au$	167.0	167.2	166.5	168.1	169.1
	P/%	2.024	1.991	3.000	2.776	1.475
Four-wedge combination	$I_{max}/au$	155.8	157.4	157.6	155.2	155.5
	$I_{min}/au$	149.5	150.3	151.4	150.7	149.9
	P/%	2.064	2.307	2.967	1.700	1.834
Five-wedge combination	$I_{max}/au$	156.8	156.4	158.6	157.3	157.5
	$I_{min}/au$	151.0	151.2	152.7	151.6	151.7
	P/%	1.884	1.691	1.895	1.845	1.876
Six-wedge combination	$I_{max}/au$	138.6	140.2	139.6	138.7	138.8
	$I_{min}/au$	135.2	136.5	135.5	134.6	134.5
	P/%	1.242	1.337	1.490	1.500	1.573

表 2 偏振光经过不同光楔数目的退偏器检偏后出射光强分布对比

Tab.2 Comparison of depolarization effect of depolarizers with different numbers of optical wedges

Incident direction	Two-wedge combination	Three-wedge combination	Five-wedge combination	Six-wedge combination
0°				
45°				
75°				
105°				

表 1 所示,多光楔组合晶体退偏器随着光楔数目的增加,偏振度在降低,但下降幅度很小;数据还表明,随着光楔数目的增加,光能也在逐渐降低。如表 2 所示,在不同方向的线偏振光入射条件下,双光楔组合晶体退偏器始终呈现偏振态连续条形带状分布;三光楔组合晶体退偏器减弱了偏振态条形带状分布,但当入射光在某些方向入射时仍会出现偏振态条形带状分布;五光楔、六光楔等多光楔组合晶体退偏器可以在任意方向线偏振入射光条件下,大大增强偏振态在通光平面内二维方向的无序分布,而且晶体斜面结构、光轴方向越复杂,偏振态分布将会越无序。利用 1 053 nm 红外光测试光源的实验测试结果与利用 632.8 nm 可见光测试光源的偏振态分布情况相一致。

### 4 结 论

文中针对空域平均型晶体退偏器输出光普遍存在的偏振态条形带状分布的问题,提出一种能够增强偏振态二维无序分布特性的多光楔组合晶体退偏器,通过增加晶体斜面结构和光轴方向复杂组合,增强了偏振态在通光平面内二维方向的无序分布。仿真计算和实验结果表明:任意线偏振入射光经过多光楔组合晶体退偏器后,出射光在通光平面内偏振

态连续条形带状分布被减弱,有效改善了退偏光的偏振态二维分布均匀性。通过对比也发现,晶体斜面结构、光轴方向组合越复杂,偏振态二维分布将会越无序,退偏效果也越好。

#### 参考文献:

- [1] Deng Qinghua, Sui Zhan, Li Mingzhong, et al. A new homochromous depolarizer applied in ICF [J]. *High Power Laser and Particle Beam*, 2005, 17(9): 1391-1393. (in Chinese)
- [2] Wang Jianjun, Li Mingzhong, Deng Qinghua, et al. Polarization control technology of fiber front-end system in ICF driver [J]. *High Power Laser and Particle Beam*, 2006, 18(5): 803-806. (in Chinese)
- [3] Xu Fuyun, Li Guohua. Study on history and present situation of depolarizer and their applications[J]. *Optical Instruments*, 1995, 17(2): 37-40. (in Chinese)
- [4] Luo Yong. Study of design method of depolarizer [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006. (in Chinese)
- [5] Zhao Jieli. Study on compound depolarization effect of wave plate and revolver[J]. *College Physics*, 2006, 25(08): 20-21. (in Chinese)
- [6] Ren Guangjun, Yao Jianquan, Zhao Jieli. The matrix research of multiplex depolarizers[J]. *Laser Technology*, 2007, 31(3): 314-316. (in Chinese)
- [7] Liu J, Fang Q, Yin Y, et al. Low-DOP depolarizer for linearly polarized light independent of direction of vibration [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(3): 536-539.
- [8] Chi Hao, Zhang Xianming, Chen Kangsheng, et al. Coherence analysis of Lyot depolarizer [J]. *Journal of Zhejiang University(Engineering Science)*, 2000, 34(2): 140-142. (in Chinese)
- [9] Yin Yafang, Fang Qiang, Liu Jihong, et al. Performance analysis of Lyot depolarizer on different optical sources [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2004, 25(6): 448-453. (in Chinese)
- [10] Jaff Etal. New method of measuring linear dichroism in the ultraviolet: application to helical polymers [J]. *Rev Sci Instrum*, 1967, 38(7): 1152-1154.
- [11] Jerome C K. Depolarizer: US, 4198123[P]. 1980-05-06.
- [12] Xu Fuyun, Li Min, Wang Qingpu, et al. Study on a new type quartz depolarizer[J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 1990, 2(2): 110-111. (in Chinese)
- [13] Xu Fuyun, Tan Junming, Li Min, et al. Study on quartz wedge depolarizer [J]. *Journal of Applied Optics*, 1990, 1(6): 25-26. (in Chinese)
- [14] Wu Fuquan, Li Guohua, Feng Taizhong, et al. Effects of the shape and size of incident beam on the depolarizing degree of the quartz depolarizer with monochromatic light [J]. *Journal of QUFU Normal University (Natural Science)*, 1994, 20(4): 42-45. (in Chinese)
- [15] Wu Fuquan, Li Guohua, Feng Taizhong, et al. Study on depolarizing mechanism and performance of the polychromatic light crystalline quartz rotation depolarizer[J]. *Journal of QUFU Normal University (Natural Science)*, 1995, 21(4): 55-58. (in Chinese)
- [16] Li Guohua, Zhang Dawei. Three-element compound delayed depolarizer[J]. *Laser Technology*, 2001, 25(6): 430-432. (in Chinese)
- [17] Ge Jinghua, Chen Zhe, Luo Yingda, et al. New double-wedge crystal depolarizer for monochromatic pulse light[J]. *Applied Optics*, 2010, 31(5): 865-870. (in Chinese)
- [18] Ge Jinghua, Chen Zhe, Luo Yingda, et al. Optimized design of parameters for wedge-crystal depolarizer [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, 110-116, 3351-3357.
- [19] Luo Yingda. Mechanism of depolarization and theoretical design of monochromatic pulse laser [D]. Guangzhou: Ji'nan University, 2009. (in Chinese)
- [20] Fan Zhengyun. The studies on measuring technology about polarization properties in lasers [D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2009. (in Chinese)