

# 利用可变光阑实现双轴晶体动态外锥折射\*

凌铭, 董渊, 金光勇, 梁柱

(长春理工大学 激光技术研究所, 长春 130012)

**摘要:**介绍了一种获得晶体动态外锥折射的方法. 用全固态绿光激光器和双轴晶体  $\text{kNbO}_3$ , 通过改变位于已消球差的双胶合透镜后表面处可变光阑的通光孔径, 即改变入射光束的会聚角度, 来实现入射光会聚角对外锥折射锥角的调制, 由此得出双轴晶体  $\text{kNbO}_3$  外锥折射的锥角表达式. 实验结果表明, 周期性改变孔径光阑通光孔径的大小(入射光束的会聚角度)时, 外锥折射锥角也同步地发生周期性的改变; 外锥折射锥角等于入射于双轴晶体端面上的光线的会聚角. 利用可变光阑可实现双轴晶体动态外锥折射并获得可控激光环, 实验所测锥角角度与理论计算符合较好.

**关键词:**双轴晶体; 动态外锥折射; 可变光阑; 锥角

**中图分类号:** O436.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4213(2009)12-3261-3

## 0 引言

锥形折射是晶体光学中的概念, 哈密顿于 1832 年从光的波动理论上预言了该现象, 洛埃于 1833 年用实验加以证明, 这在当时, 是对光的波动理论的有力支持<sup>[1]</sup>. 上世纪末期, 国内许多科研机构对锥折射现象进行了深入研究, 不仅获得了大张角的激光锥面光束, 而且实现了锥光控制, 可进行激光圆锥扫描, 为锥折射现象的应用奠定了技术基础<sup>[2]</sup>.

晶体中的外锥折射是将一块双轴晶体切割后, 使其通光面垂直于其中一个光线光轴, 在两个通光面上放置两个精确相对的小孔, 其中一个孔用会聚光照射, 光到达第二个孔后出射, 波法线就会形成以第二孔为顶点的空心锥形光束. 对已经确定的晶体, 只能产生一个确定的外锥折射锥角<sup>[3]</sup>, 但用可变光阑实现双轴晶体动态外锥折射, 至今未见报道.

本文根据双轴晶体锥形折射效应原理, 通过理论计算, 在实验上用可变光阑实现了双轴晶体的动态外锥折射, 并获得了较好的实验结果, 为锥光折射的进一步研究, 提供了实验支持.

## 1 实验方案设计

根据双轴晶体锥形折射效应, 通过改变位于已消球差的双胶合透镜后表面处可变光阑的通光孔径, 可实现入射光会聚角对外锥折射锥角的调制, 我们称之为双轴晶体动态外锥折射. 双轴晶体入射端面上会聚光束的焦点对应着会聚透镜同一孔径带上的光线, 在双轴晶体沿光线光轴方向取出这一孔径

带上的光线即成为空心锥形折射光束<sup>[4-6]</sup>.

根据上述原理, 我们设计了利用可变光阑实现双轴晶体动态外锥折射的实验, 装置示意图如图 1.

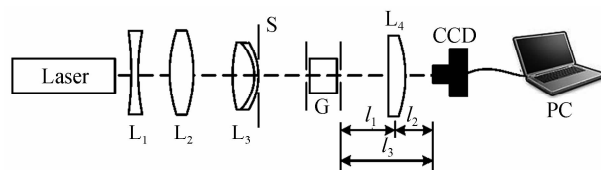


图 1 可变光阑实现双轴晶体动态外锥折射实验装置示意图  
Fig. 1 The experiment schematic diagram of biaxial crystal dynamic outer conic refraction by using iris

用全固态 Nd:YAG 倍频绿光激光器, 发射功率为 3 mW.  $L_1$ 、 $L_2$  为望远准直扩束光学系统, 作用是增大光线在  $L_3$  上的入射高度.  $L_3$  为已校正球差的双胶合透镜<sup>[5]</sup>, 见图 2, 其参量为  $f' = 10$  mm,  $R_1 = 33.077$  mm,  $R_2 = -5.564$  mm,  $R_3 = -10.249$  mm,  $d_1 = 2.5$  mm,  $d_2 = 0.5$  mm, 材料分别选用  $\text{Bk}_7$  和  $\text{SF}_1$ , 在该透镜后表面处放置一个可变光阑  $S$ <sup>[7-8]</sup>. 双轴晶体  $G$  选用  $\text{kNbO}_3$  晶体, 加工成  $7$  mm  $\times$   $6.5$  mm  $\times$   $5$  mm 长方体, 两通光面互相平行且垂直于其中一个光线光轴, 且双轴晶体  $\text{kNbO}_3$  的左侧通光面位于透镜  $L_3$  的后焦点处, 在距双轴晶体  $\text{kNbO}_3$  出射端面  $l_1 = 20$  mm 处放置一个焦距为  $f'_4 = 15$  mm 正透镜  $L_4$ , 并且在与  $L_4$  右侧相距  $l_2 = 7$  mm 处放置一个 CCD 摄像系统<sup>[9-10]</sup>.

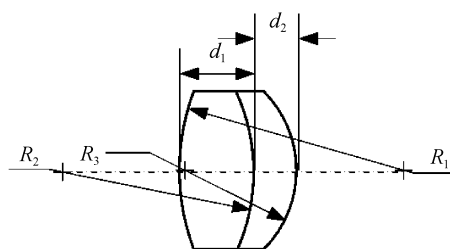


图 2 双胶合透镜示意图  
Fig. 2 The schematic diagram of double cemented lens

\* 吉林省杰出青年科技发展项目(20060121)资助  
Tel: 0431-85582465 Email: lingming5397364@yahoo.com.cn  
收稿日期: 2009-01-05 修回日期: 2009-03-23

实验中发现,当周期性改变孔径光阑的大小时,由 CCD 探测到的距双轴晶体出射端面  $l_3 = 27$  mm 处的空心光束的直径大小也发生了周期性的改变,由此反映出双轴晶体的外锥折射的锥角的大小也同步地做周期性变化,表现出了动态外锥折射特性.若 CCD 摄像系统测量得到的  $l_3 = 27$  mm 处空心光束的直径为  $D_1$ ,正透镜  $L_4$  处空心光束的外径为  $D_0$ ,则外锥折射的锥角表达式为

$$u = \frac{2f'_4 \times \arctan[(\frac{D_0 - D_1}{2})/l_2]}{f'_4 + l_1} \quad (1)$$

## 2 实验结果分析

根据上述方案进行了动态外锥折射实验.图 3 为在不同的可变光阑通光口径条件下得到的双轴晶体外锥折射的垂轴截面光环.

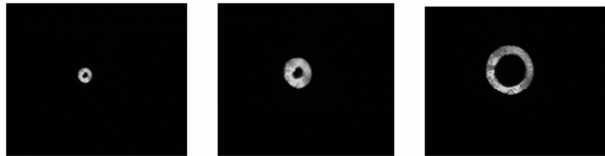


图 3 不同光阑通光口径下得到的外锥折射的截面光环  
Fig. 3 The annular beams of outer conic refraction under the condition of the different sizes of iris

实验中发现,当周期性的改变孔径光阑的大小时,由 CCD 探测到的距双轴晶体右出射端面  $l_3 = 27$  mm 处的空心光束的直径大小也同步发生周期性改变,由此反映出双轴晶体的外锥折射的锥角的大小也同步做周期性变化,表现出了动态外锥折射特性.

为研究通过可变光阑所对应的光线张角(即入射光束的会聚角)和双轴晶体外锥折射锥角之间的关系,由光路图 1,通过测试光阑孔径和光阑到双轴晶体之间的距离,可得到入射到双轴晶体端面处的会聚角,通过测量  $D_0$  和  $D_1$  的值,即可由式(1)得到双轴晶体外锥折射锥角.

我们测试了 10 组可变光阑的通光孔径、入射角以及双轴晶体外锥折射锥角的实验数据.表 1 为所测数据表.

表 1 会聚角和外锥折射锥角的数据表

光阑孔径/mm	入射会聚光角度/(°)	外锥折射锥角 $u$ /(°)
1.50	8.530	8.40
2.00	11.309	11.11
2.25	12.680	12.49
2.50	14.035	13.85
2.75	15.375	15.09
3.00	16.698	16.61
3.25	18.002	18.32
3.50	19.287	19.12
3.75	20.552	20.38
4.00	21.797	21.71

根据表 1 数据,用计算机得到数据拟合曲线如图 4.

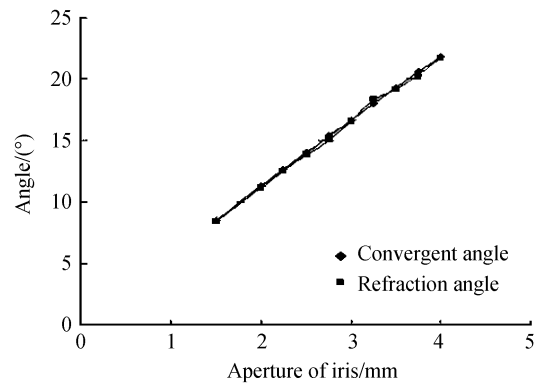


图 4 会聚角和外锥折射锥角数据图

Fig. 4 The schematic diagram between the incident light convergent angle and the outer conic refraction angle

由晶体光学原理可知,只有在晶体入射端面上的一点所对应的入射光线才可以透过双轴晶体,形成外锥折射.由于双胶合透镜  $L_3$  已经校正了球差,不存在焦深,因此所有从可变光阑 S 出射的光线都聚焦于双轴晶体端面上的一点.为了使入射到双轴晶体端面上的会聚角度发生变化,在实验中  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  和双轴晶体固定不动,通过改变可变光阑的通光孔径,使得通过位于透镜  $L_3$  后表面光阑 S 的光线所对应入射高度发生改变,由于双轴晶体的入射端面与双胶合透镜  $L_3$  的后主平面之间的距离为定值  $f_3$ ,从而改变了入射到晶体端面处的光线的会聚角度.

从图 4 的实验结果中可看出,入射光线的会聚角和外锥折射的锥角近似相等,每一个入射角对应于每一个外锥折射的锥角.

## 3 结论

本文通过改变可变光阑的通光孔径实现了双轴晶体动态外锥折射,得出了该方法的外锥折射的理论锥角公式,获得了一种动态外锥折射的新方法.理论计算和实验表明:用改变可变光阑的通光孔径来实现外锥角的变化,可产生角度范围变化较宽的外锥角,简单易控,能得到准确度较高的所需角度.此种技术可广泛应用于激光雷达、激光制导、光电扫描成像等技术中,有广阔的使用前途.

### 参考文献

- [1] BORN M, WOLF E. Principles of optics[M]. 4th ed. London: Pergamon press, Oxford, 1970: 101-107.
- [2] NING Guo-bin, LIANG Zhu. Research on conic scanning of biaxial crystals[J]. Changchun Tnst, Opt & Fine Mech, 1999, 22(1): 1-5.  
宁国斌,梁柱.激光圆锥扫描器研究[J].长春光学精密机械学院学报, 1999, 22(1): 1-5.
- [3] NING Guo-bin, LIANG Zhu. Dynamic laser outer conical

- refraction[J]. *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(10):1399-1403.
- 宁国斌,梁柱. 激光动态外锥折射实验研究[J]. *光学学报*, 1998, **18**(10):1399-1403.
- [4] LIANG Zhu. The principle of optical guide [M]. Beijing: Beihang University Press, 2005:48-50.
- 梁柱. 光学原理教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005:48-50.
- [5] LI Chang-wei, LÜ Bai-da. Partial coherent Cosh- Gauss beams [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(2):245-249.
- 李长伟,吕百达. 部分相干余弦-高斯光束[J]. *光子学报*, 2009, **38**(2):245-249.
- [6] YOSHISADA HAYAMIZU. Analysis of internal conical refraction using ray tracing formulas for the biaxial crystal[J]. *Opticalreview*, 2006, **13**(4):169 - 183.
- [7] ZHANG Shuai, LI Jin-quan, ZHANG Bin. Study on focusing properties of annular beams through circular lens beam[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(5):887-890.
- 张帅,李金全,张彬. 环状光束通过透镜的聚焦特性研究[J]. *光子学报*, 2008, **37**(5):887-890.
- [8] ZHANG Peng, NIU Yan-xiong, MA Na, *et al.* Theoretical analysis of the effect of aperture on nonlinear-refraction optical limiting[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(5):793-797.
- 张鹏,牛燕雄,马娜,等. 光阑对非线性折射光限幅效果影响的理论研究[J]. *光子学报*, 2007, **36**(5):793-797.
- [9] ZHANG Wei, LÜ Xiao-Xu, YANG Feng-tao, *et al.* Multi-wavelength digital holography recorded by monochromatic CCD and color reconstructed image display[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(11):2003-2007.
- 张维,吕晓旭,杨锋涛,等. 单色 CCD 记录多波长数字全息图及再现像彩色显示[J]. *光子学报*, 2007, **36**(11):2003-2007.
- [10] KE Li, DU Qiang, SU Zhe. OCT image denosing method based on multi-scale Wiener filtering[J]. *Opt Precision Eng*, 2008, **16**(4):740-745.
- 柯丽,杜强,苏哲. 应用多级维纳滤波的 OCT 图像除噪方法[J]. *光学精密工程*, 2008, **16**(4):740-745.

## Realization of Biaxial Crystal Dynamic Outer Conic Refraction by Using Iris

LING Ming, DONG Yuan, JIN Guang-yong, LIANG Zhu

(Laser Technology Institute, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

**Abstract:** The biaxial crystal dynamic outer conical refraction is obtained. After using  $\text{kNbO}_3$  and the solid-state laser emitted green beam, the transmission aperture of iris located in the back surface of aplanatic cemented double lens, is alternated in order to carry out that the incident light convergent angle modulate the outer conic refraction angle, so that the angle expression about outer conic refraction of biaxial crystal  $\text{kNbO}_3$  is accomplished. The experiment shows that the outer conical refraction angle synchronously varies when the size of iris aperture is alternated in periods and the angle is equal to the convergence angle of the beams, which incident to the end face of the biaxial crystal. The biaxial crystal dynamic outer conic refraction can be applied in the fields of laser radar and photric scanning. The theory calculation is coincident with the tested data.

**Key words:** Biaxial crystal; Dynamic outer conic refraction; Iris; Conic refraction angle



**LING Ming** was born in 1967. He works at National Center of Quality Supervision and Inspection of Automobile Parts as an associate researcher, and he is studying for the Ph. D. degree at Laser Technology Institute, Changchun University of Science and Technology. His research interests focus on solid-state laser, nonlinear optics and optics design.