

文章编号: 1001-3806(2002)06-0461-02

大口径电光晶体高精度定轴研究*

任 钢¹ 彭 玲¹ 郑奎兴^{1,2} 蔡邦维¹

(¹四川大学光电系,成都,610064)

(²中国工程物理研究院高温高密度等离子体物理国家重点实验室,绵阳,621900)

摘要: 大口径 KDP 电光开关是新一代高功率激光器多程放大系统的关键部件。分析了定轴误差对开关性能的影响,介绍了首次研制成功的 240mm×240mm×14mm 大尺寸 KDP 开关晶体的制造、定轴及性能测试装置和检测结果。

关键词: 电光开关; KDP; 晶体定轴; 高功率激光器

中图分类号: O734+.1 文献标识码: A

Study on high accurate orientation for large aperture electro-optical crystal

Ren Gang¹, Peng Ling¹, Zheng Kuixing^{1,2}, Cai Bangwei¹

(¹ Department of Optoelectronics, Sichuan University, Chengdu, 610064)

(² National Key Laboratory of Laser Fusion, CAEP, Mianyang, 621900)

Abstract: The large aperture KDP electro-optical switch is a key unit for the new high power laser multipass amplification system. In the article, the influence of orientation error on the switch performance is discussed, the manufacture, orientation, performance testing system are introduced. The testing results for a 240mm×240mm×14mm large aperture KDP switching crystal, developed by us for the first time, are reported.

Key words: electro-optical switch; KDP; crystal orientation; high power laser

引 言

众所周知,利用 KDP(KD*P)晶体的线性电光效应原理制成的电光开关称为普克尔(Pockels)盒。高功率激光系统的特点是光束口径大(300mm~400mm),并采用先进的多程放大技术获取高能量提高效率,而大口径等离子体电极电光开关是该技术的关键部件之一,它的作用是隔离控制后向反射激光,防止系统大口径光学元件的破坏,维护系统的运行安全。电光开关晶体按垂直于它的光轴切割制造,定轴精度直接影响开关的性能指标。随着高功率激光技术的进展,特别是新一代驱动器将采用阵列式 Pockels 开关,为了减少通光损耗、整体定位误差,保证开关的高效率,对晶体的定轴精度要求小于 2mrad±0.1mrad。因此,使用检测小尺寸晶体光轴的常规 X 射线和偏光显微镜法已不适用于大

尺寸晶体的高精度定轴。作者分析了晶体定轴误差对开关性能的影响,建立了大口径晶体高精度定轴测试装置,介绍了首次研制成功的尺寸为 240mm×240mm×14mm 方形 KDP 及 Ø76mm×95mm KD*P 开关晶体的制造、定轴和性能测试结果。

1 晶体定轴误差对开关性能的影响

电光开关的性能与 KDP(KD*P)晶体的质量、定轴误差、加工精度、安装调试、高压放电等因素有关。就加工技术而言,晶体应以垂直于光轴方向切割,使晶体光轴与光束传输方向平行。然而大尺寸晶体从主胚切割成型后晶面与光轴之间的夹角总是偏离 90°,致使光束传输方向与晶体光轴有一定夹角 θ ,引起

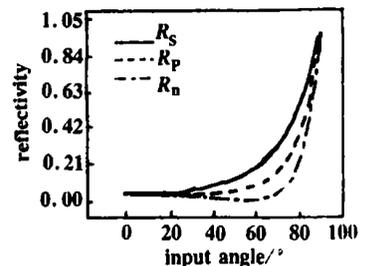


Fig. 1 Changing of KDP ($n_o = 1.4938$, $n_e = 1.4599$) surface reflecting loss with input angle

* 国家惯性约束聚变领域资助项目。

作者简介:任 钢,男,1978 年出生。硕士研究生。主要从事激光与光通信方面的研究。

收稿日期:2001-10-19;收到修改稿日期:2001-12-20

表面反射损耗。如图 1 所示, R_s, R_p, R_n 分别表示 S 光、P 光、自然光的反射率。晶体定向误差引起单次透光退偏损耗曲线如图 2 所示^[1]。图中, ■为晶体倾斜; ◆为晶体绕轴旋转。

上述曲线表明, 晶体定轴误差在 0~ 4mrad 范围内退偏损耗小, 可忽略不计, 但大于 5mrad, 损耗迅速增加。当入射光功率密度高达

5GW/cm², 并在多程放大器中多次通过时, 这种损耗造成的危害是很大的。考虑安装、高压放电起伏还要增加退偏损耗, 直接影响电光开关的消光比、开关效率、开关上升时间和开关速率等性能, 所以要将 KDP 晶体的定轴误差控制在小于 2mrad。

2 晶体的定轴及修正

电光开关的定轴装置如图 3 所示。

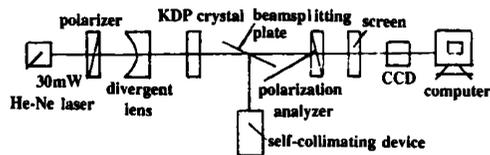


Fig. 3 Orientation testing equipments for electro optical crystal

用 He-Ne 激光准直全光路, 使其与平行光管 (精度 3'') 共轴, 作为测量基准。将被测晶体两面抛光, 平面度小于 $\lambda/2$, 两面平行度小于 10'', 装在五维调节平台上, 置于两正交偏振器之间。上下移动, 旋转, 左右倾斜, 反复调节晶体。在屏上, 将出现一组明暗相间的圆环, 一个暗十字贯穿整个圆形。如果干涉图完整、对称, 旋转晶体, 中心不动, 平行光管中的光斑保持在中心, 暗十字的中心就是同心圆环纹的中心, 它对应晶体的光轴, 此时, 入射光束与晶体光束平行, 定轴误差趋于 0。如果晶体定轴有偏差, 自准直平行光管反射像将偏离中心, 通过测微目镜可以读出定轴偏差值。笔者建立的这套定轴装置, 精度为 3'', 比 X 射线和偏光显微镜定轴精度提高 1~ 2 个数量级。光轴有偏差的 KDP 晶体, 在定轴仪的监控下, 反复进行修正, 达到所需的精度为止。移动调节架, 可对晶体任一位置进行扫描测量, 由此确定晶体的均匀性、应力双折射、双轴晶等缺陷。

3 测量结果

笔者在国内首次成功制作了 240mm × 240mm × 14mm 方型大尺寸电光开关晶体。其特性检测结果如下。

3.1 晶体静态性能检测

晶体两面未加半波电压时, 对其光轴偏差 θ 进行测量。由于定轴精度与晶体表面面形有关, 先将 240mm × 240mm × 14mm KDP 样品置于大型相移数字波面干涉仪光路中。检测结果见图 4: 单次透



Fig. 4 The transmitted wave front of 240mm × 240mm KDP electro optical switching crystal

射波前畸变 $0.19\lambda(p-v)$, $\lambda = 632.8\text{nm}$, 表面粗糙度小于 20nm (RMS)。再将样品置于图 3 所示的晶体定轴装置光路中, 测得最佳通光轴与晶体表面的法线夹角 $\theta = 30'' (0.15\text{mrad})$ 。图 6a 是 CCD 拍摄样品的锥光干涉图, 图 6b 是将晶体位置移动拍摄得的干涉图, 表明该位置晶体具有双轴特征, 由此, 可检测晶体的均匀性。将晶

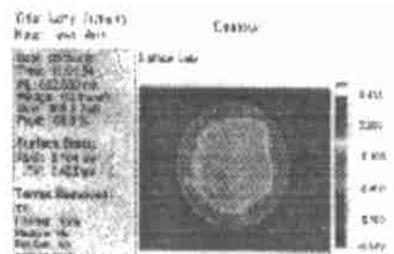


Fig. 5 The transmitted wave front of 76mm × 95mm electro optical switching crystal

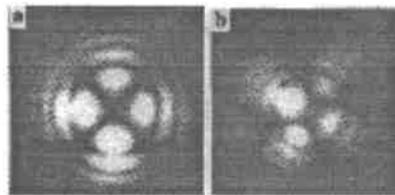


Fig. 6 Cone shaped beam interference of the crystal

体组装成等离子体电极电光开关, 实验测得静态透过率为 90%, 消光比为 132。其偏低主要来自光窗和晶体的应力退偏所致^[2]。

笔者还首次研制成功 $\varnothing 76\text{mm} \times 95\text{mmKD}^* \text{P}$ 电光开关晶体。干涉仪检测结果见图 5: 单次透射波前畸变 $0.71\lambda(p-v)$, 最佳通光轴与表面法线夹角

是恢复的输出光场分布。绝对误差 $\varepsilon_g(r_3)$ 示于图 7, 且不超过 0.02。光束顶部的不均匀度 η 为 1.65%, 与第 1 条途径相比, 大为减小。所得“平顶”均匀性很好, 且边缘非常陡峭、旁瓣很小, 光斑边缘无尖峰, 恢复效果很好。比较图 2 和图 5 可知, BOE1

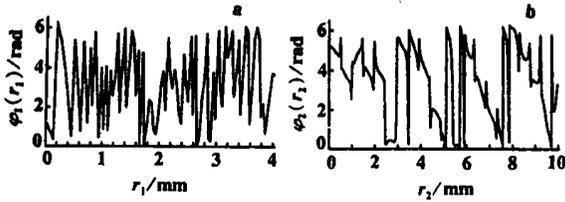


Fig. 5 a- phase distribution at the BOE1 b- phase distribution at the BOE2

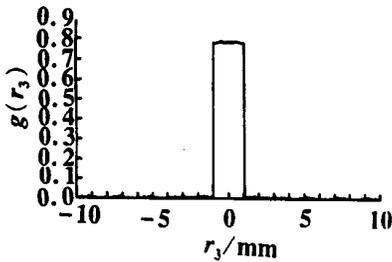


Fig. 6 Retrieval field distribution at the output plane

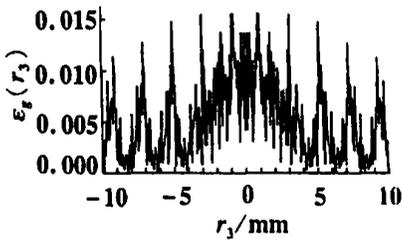


Fig. 7 Error distribution $\varepsilon_g(r_3)$

上的相位分布相近, 而 BOE2 上的相位分布相差较大, 这说明在二元光束整形系统中, 第 2 块相位板对整形结果起了重要作用。

3 结论

用 HIO 算法设计了用于光束空间整形的二元光学元件, 从两条不同的途径对高斯光束整形, 都得到了均匀性很好的“平顶”光斑, 且边缘陡峭、旁瓣很小。以均匀的平顶光束为恢复对象, 比以 sinc 函数分布的光束为恢复对象所得结果要好。整形结果表明 HIO 算法是处理光束整形的有效算法。

参 考 文 献

- [1] 谭峭峰, 严瑛白, 金国藩 *et al.* 光学技术, 1999(6): 74~ 76.
- [2] Gerchberg R W, Saxton W O. *Optik*, 1972, 35: 237~ 246.
- [3] Fienup J R. *Appl Opt*, 1982, 21(15): 2758~ 2769.
- [4] 张静娟, 姬 扬, 姚德成 *et al.* 物理学报, 1996, 45(5): 789~ 795.
- [5] 羊国光. 光学学报, 1993, 13: 577~ 584.
- [6] Yang G Zh, Dong B Zh, Gu B Y. *Appl Opt*, 1994, 33(20): 209~ 218.
- [7] Zhang G Q, Gu B Y, Yang G Zh. *Appl Opt*. 1995, 34(35): 8110 ~ 8115.
- [8] Tan X, Gu B Y, Yang G Zh. *Appl Opt*, 1995, 34(8): 1314~ 1320.
- [9] Lane R G. *Opt Commun*, 1987, 63: 6~ 10.
- [10] Parker C R, Bones P J. *Opt Commun*, 1992, 92: 209~ 214.
- [11] Takajo H, Takahashi T, Shizuma T. *J O S A*, 1999, A16: 2163 ~ 2168.
- [12] 吕百达. 强激光的传输与控制. 北京: 国防工业出版社, 1999.

(上接第 462 页)

$\theta = 0.6 \text{ mrad}$ 。主要原因是定轴偏差修正困难, 还要承担晶体炸裂风险, 所以修正没有到位。

3.2 晶体动态性能检测

将等离子体电极开关加上 $V_{\pi} = 9.8 \text{ kV}$ 半波电压, 测得开关速度为 $95 \mu\text{s}$, 开关效率达到 98%, 其性能满足物理实验要求^[2]。

4 结 论

大口径 KDP 晶体等离子体电极电光开关的性

能与晶体的质量、定轴精度、安装调试、高压等离子体电极放电等多种因素有关。为了提高它的工作性能, 进一步深入的研究工作还在继续进行。

参 考 文 献

- [1] Goldhar J, Henesian M A. *IEEE J Q E*, 1986, QE22: 1137 ~ 1147.
- [2] 鲁敬平, 郑奎兴, 张雄军 *et al.* 强激光与粒子束, 2000, 12(1): 137~ 140.