

文章编号:1004-4213(2010)07-1308-4

双轴晶体锥光效应光盘径向寻迹研究

武志超, 梁柱

(长春理工大学 理学院, 长春 130022)

摘要:根据晶体锥光效应提出一种光控制方法. 在双轴晶体中光波沿光轴方向入射时, 其传播方向随光偏振方向的不同而改变, 通过控制磁光偏振调制器上磁场强度改变光的偏振方向, 从而实现激光束方向的控制. 据此分析了双轴晶体锥光效应光盘寻迹的基本原理并设计出总体方案, 数值模拟计算得到晶体入射光偏振角度与寻迹位移的关系, 初步验证了此方案的合理性, 该方案与传统机电跟踪寻迹方式相比具有结构轻巧, 动态响应快等优点. 同时, 也为光开关、扫描等技术提供了一种新的思想和方法.

关键词:锥光效应; 寻迹; 光学头

中图分类号: TN248.1

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20103907.1308

0 引言

随着信息技术的不断发展, 光盘作为载体已经广泛应用于信息记录和交换, 它具有信息容量大、经久耐用、成本低、非接触激光束扫描存取等特点. 至今, 研究人员纷纷提出了多种技术方案以提高信息记录密度, 例如蓝光技术^[1]、多层存储和超分辨率技术^[2]等. 与此同时, 对光盘的读取与伺服速度和准确度的要求也越来越高^[3-6], 因此, 光学头的设计也是存储技术中的一项关键技术.

传统的光学头有大量的机械装置, 很大程度上限制了光学头的大小、质量和速度. 为提高光盘微调径向寻迹速度, 开发固态器件替代机电寻迹装置是必然趋势, 双轴晶体锥光效应光盘寻迹是一种较好的方案, 本文分析了其原理进而提出了设计的方案并进行数值模拟, 初步验证了其合理性. 利用双轴晶体锥光效应控制激光束传播方向的技术可以应用在其它很多领域, 具有广阔的发展前景.

1 双轴晶体的锥形折射

一束很窄的非偏振平行光从各向同性介质垂直入射到晶片上, 并且与晶体中一个光轴 k 重合, 这时, 在晶体中传播的波矢方向沿着光轴方向与电位移矢量的偏振方向无关, 但是光线的传播方向与电矢量的偏振方向有关. 由于入射光波由许多电矢量沿着不同方向的平面波组成, 因此, 电矢量方向不同的光波, 光线的传播方向 S 也不同, 这些光线分布在

一个锥面上. 最终, 从晶体中透射出来的光将形成一个空心圆筒, 称为内锥折射, 如图 1.

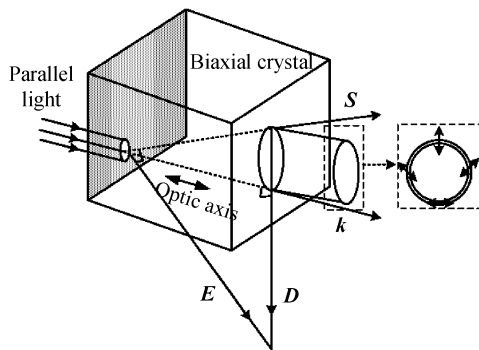


图 1 双轴晶体内锥形折射图
Fig. 1 Schematic of conical refraction effect in biaxial crystal

2 双轴晶体锥光效应光盘寻迹的基本原理与总体方案

2.1 基本原理

如图 2, 激光通过偏振片变为线偏振光, 再通过磁光偏振调制器时, 受法拉第效应的影响线偏振面发生改变, 偏振方向旋转了 θ 角, 改变后的线偏振光沿双轴晶体的光轴方向传播时光线发生折射, 折射方向随偏振方向的不同而不同, 当偏振方向变化一个周期时在出射面上的光线轨迹形成一个圆周, 且此圆的直径相对于信道宽度足够大, 其部分圆弧就可以在光盘信道附近来回振荡, 所以只需径向跟踪伺服信号反馈的各种信息传送到磁光偏振调制器中, 通过磁光偏振调制器控制晶体入射光的偏振方向达到径向跟踪的目的.

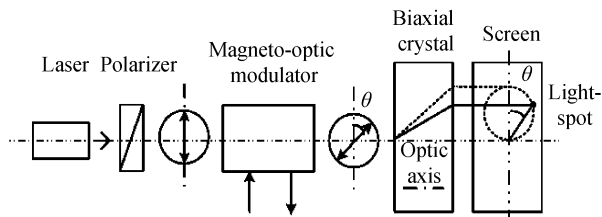


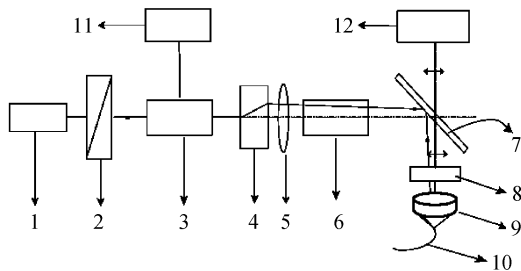
图2 可控内锥光现象

Fig. 2 Phenomenon of conical under control

传统的机械寻迹方法由于伺服环路中的调节执行部件是线圈、电机(绕组的电感及电枢的转动惯量)等储能元件,因此,它的输出(位移)不可能随输入及时变化,而总是有些延迟;同时由于受控对象等的惯性,使受控调节动作不能及时纠正被控制量的误差以及控制器的延迟性,使误差信号不能及时转化为调节动作,这些都是由于机械的惯性所致.双轴晶体锥光效应光盘寻迹方法去掉了大部分的机械装置,避免了传统方法中由惯性等问题引起的种种弊端,大大改善了普通光盘寻迹的效果.

2.2 双轴晶体锥光效应光盘寻迹的总体方案

晶体锥光效应光盘寻迹方案如图3.激光器发出的光,首先经过起偏器、磁光偏振调制器和双轴晶体,最后经过物镜到达光盘信道,但由于光盘的入射光和反射光都用一个物镜,为避免相互干涉,入射光和反射光靠偏振光分束器分离.第二个磁光偏振调制器(即磁光偏振调制补偿器)是确保入射到偏振光分束器的光束偏振方向保持不变,电矢量垂直于纸面的线偏振入射光被分束镜反射,反射后的线偏振光通过波片后变成圆偏振光,经物镜聚焦在光盘上.从光盘反射的光束再经物镜和四分之一波片后又变成线偏振光,但此时光的偏振方向与入射光偏振方向垂直,它可以透过偏振光分束器进入柱面透镜.柱面透镜对离焦像有着强烈的像散作用,在光电探测二极管阵列上能定量检测出离焦或径向跟踪误差所对应的光电流变化(具体的检测方法下篇再详述),



1.Laser; 2.Polarizer; 3.Magneto-optic modulator; 4.Biaxial crystal
5.Lens; 6.Magneto-optic modulation compensator; 7. Polarizing beam splitter; 8.Quarter wave plate; 9.Objective lens 10.Channel; 11.Servocontroller; 12.Reader and tracking detection

图3 双轴晶体锥光效应光盘寻迹方案

Fig. 3 Scheme of optical disk tracking based on biaxial crystal conical effect

同时接收光盘正确的信息.检测出的跟踪误差信息被送入到伺服控制器,通过伺服控制器改变磁光偏振调制器中的磁场,进而改变光的偏振方向,晶体将光的偏振变化转换为光束方向变化和光束在光盘的径向位置变化,从而实现了光束的径向寻迹.

3 数值计算与分析

采用激光波长为 405 nm 的蓝紫光 and 数值孔径为 0.85 的物镜^[7]来缩小光斑的尺寸,光斑直径大约为 0.24 μm ,提高了光盘存储密度.在此基础上分析光盘信道寻迹方案的合理性.

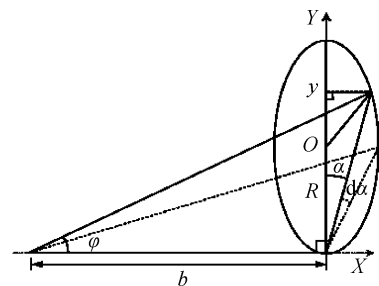
如图4,从双轴晶体出射光的 y 轴分量与 α 之间的关系为

$$y = 2R \cos^2 \alpha \quad \alpha \in [-\pi/2, \pi/2] \quad (1)$$

式中 $2R = b \tan \varphi_{\max}$,以 KNbO_3 晶体为例,内锥折射的孔径角公式为

$$\tan \varphi_{\max} = \frac{\sqrt{(n_3^2 - n_2^2)(n_2^2 - n_1^2)}}{n_1 n_3} \quad (2)$$

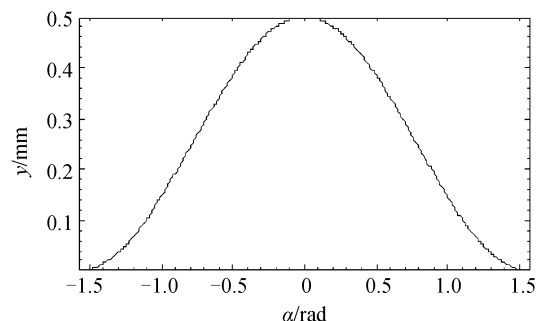
则 $\tan \varphi_{\max} = 0.06248$.

图4 y 与 α 关系Fig. 4 Diagrammatic sketch of α and y

取双轴晶体厚度 $b = 8 \text{ mm}$ 时

$$y = 8 \times 0.06248 \cos^2 \alpha = 0.49984 \cos^2 \alpha \text{ 所以 } \alpha$$

与 y 之间的变化关系如图5.

图5 y 与 α 变化趋势Fig. 5 Vary trend of y and α

从图5可以看出曲线斜率越大说明 y 随 α 变化越明显,即: y 随偏振方向改变量 $d\alpha$ 的变化越灵敏,经过求导得出此时 $\alpha = \pm \pi/4$,因此在光盘寻迹中可以充分利用这一特点提高寻迹灵敏度.

$$dy = -2R \sin 2\alpha \cdot d\alpha \quad (3)$$

y 的变化量与寻迹光线角度的变化量之间的关系, 如图 6.

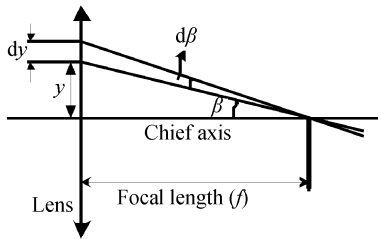


图 6 dy 与 $d\beta$ 关系

Fig. 6 Diagrammatic sketch of dy and $d\beta$

由图 6 所示写出 y 变化量 dy 与 $d\beta$ 关系式为

$$dy = f \cdot \sec^2 \beta \cdot d\beta \quad (4)$$

又由于 $d\beta$ 为微小角度, 因此, 寻迹位移 S 可写为

$$S = f' \times d\beta \quad (5)$$

根据图 5 分析所得的结论, 令 $y = 0.24992$, 取 $f = 15$ mm, 物镜焦距 $f' = 2.29$ mm, 把式 (3) 和式 (4) 代入到式 (5) 中, 可得出光盘寻迹位移 S 与入射光偏振方向的改变量 $d\alpha$ 之间的关系式为

$$S = -2Rff' / (f^2 + R^2) \cdot d\alpha \quad (6)$$

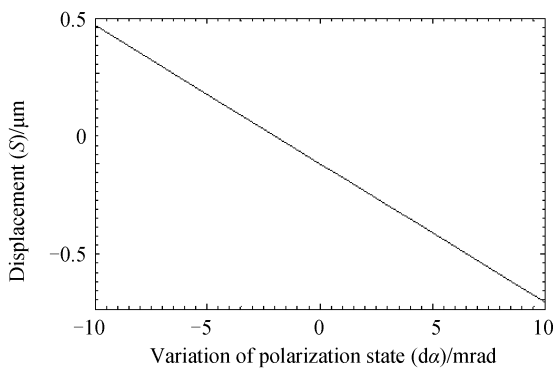


图 7 位移 S 随 $d\alpha$ 变化关系

Fig. 7 The relationship between S and $d\alpha$

图 7 表明, 当偏振方向改变 5 mrad 时, 光盘寻迹位移移动 $0.38 \mu\text{m}$, 而光盘信道轨距为 $0.32 \mu\text{m}$, 说明利用双轴晶体锥光效应寻迹时光偏振方向的微小变化引起了寻迹位移很大的变化, 很适合光盘寻迹, 通过改变磁光偏振调制器中的磁场, 进而改变光的偏振方向, 晶体将光的偏振变化转换为光束方向变化和光束在光盘的径向位置变化, 实现了光束的寻迹且寻迹非常灵敏.

4 总结

本文就双轴晶体锥光效应光盘径向寻迹的方案做了初步探讨, 数值模拟计算验证了双轴晶体锥光效应适合于光盘的径向寻迹. 与传统的光盘寻迹方法相比, 它具有光斑移动迅速、动态响应快等优点, 避免了传统的光盘寻迹方法中机械器件惯性所造成的种种弊端; 简化了光学头构造, 更适合于光盘轻型化、小型化的生产; 在磁光偏振调制器和磁光偏振调制补偿器中只需要加很小的磁场就可以达到光盘径向寻迹的效果, 符合实际情况的要求.

参考文献

- [1] JUNG WAN K, IN SIK PARK, DU SEOP YOON, *et al.* Optical storage system for 0.4 mm substrate media using 405nm laser diode and numerical aperture 0.65/0.60 objective lens[J]. *Jpn J Appl Phys*, 2001, **40**(3B):1604-1608.
- [2] COX I J. Increasing the bit packing densities of optical disk system[J]. *Appl Opt*, 1984, **23**(19):3260-3261.
- [3] EN De, CHEN Cai-he, CUI Yu-ming, *et al.* Study and fabrication on integrated planar optic disk pickup[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(05):529-532.
恩德, 陈才和, 崔宇明, 等. 集成光学平板光盘读出头研制[J]. 光子学报, 2004, **33**(05):529-532.
- [4] JIAN Xian-zhong, LI Jun, CHEN Jia-bi, *et al.* Research on signal readout system in multilayer waveguide memory based on fougault prism[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(Sup1):256-258.
简献忠, 李筠, 陈家壁, 等. 基于付科棱镜波导多层光盘信号读出研究[J]. 光子学报, 2007, **36**(Sup1):256-258.
- [5] WANG Yu-xing, GONG Ma-li, YAN Ping, *et al.* Analysis of crosstalk between radial tilt error and tracking error signal of optical disc system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(11):1445-1449.
王宇兴, 巩马理, 闫平, 等. 光盘系统中盘片径向倾斜对循迹伺服影响分析[J]. 光学学报, 2004, **24**(11):1445-1449.
- [6] WEI Gao-shang. Analysis of DVD optic head server signal[J]. *Applied Laser*, 2004, **24**(4):237-239.
魏高尚. DVD 光学头伺服误差信号分析[J]. 应用激光, 2004, **24**(4):237-239.
- [7] TIAN Jing-yi, GONG Ma-li, YAN Ping, *et al.* The design of bi-aspherical single objective lens with numerical aperture of 0.85[J]. *Laser Technology*, 2005, **29**(2):116-118.
田静仪, 巩马理, 闫平, 等. 0.85 数值孔径双非球面单片物镜的设计[J]. 激光技术, 2005, **29**(2):116-118.

Disk Radial Tracking Based on Biaxial Crystal Conical Effect

WU Zhi-chao, LIANG Zhu

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

Abstract: A new method of optical control is put forward based on conical effect in biaxial crystal. When the incident light spread along optical axis direction, the propagation direction will change with the polarization direction. By controlling the magnetic field on the magneto-optic modulator, the polarization direction can be changed, thus the laser beam direction control is realized. The fundamental of disk tracking is analyzed and overall plan is also designed, the relationship between polarizing angle and tracking displacement is obtained by numerical simulations, so this plan is reasonable. Compared with traditional tracking means of machine-electricity, this kind of plan has the following advantages: light weight, small volume and fast transient response. A new method for optical switch and scanning is provided meanwhile.

Key words: Conical effect; Tracking; Optic head



WU Zhi-chao was born in 1979. He is pursuing Ph. D. degree, and his research interests focus on laser technology and application.



LIANG Zhu was born in 1938. He is now a professor at Changchun University of Science and Technology, and his research interests focus on laser theory, technology and application.