

反射式体全息存储角度复用新方案*

岳峰, 赵业权, 申岩, 贾宝申, 于胜杰

(哈尔滨工业大学 航天学院 航天工程系, 哈尔滨 150001)

摘要:基于体全息的反射式记录原理,设计并搭建了不同于传统透射式光路的紧凑型反射式体全息存储光路,提出一种新的采用双透镜共焦方法实现数据存储的角度复用方案.通过此系统实现了单点 2 000 幅图像的连续存储.实验结果表明,反射式光路可以增大全息图的衍射率进而提高存储图像的质量;而双透镜共焦方案易实现且便于控制,可以实现图像的连续存储和高准确度复用;同时减少了光学系统的复杂度,并把复用维度从一维扩展到了水平和垂直二维方向,提高了存储的密度.

关键词:体全息存储;角度复用;双透镜共焦;反射式

中图分类号:O438.1

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2009)02-361-4

0 引言

目前,随着计算机科学和现代信息处理技术的不断发展,人们对于具有大容量、高传输率、可快速存取的数据存储系统提出了日益迫切的要求.体全息数据存储系统因其具有上述特点将成为下一代数据存储系统^[1-5].同时随着新型优良全息记录材料(如光折变晶体和光聚合物)的出现以及相关元器件的研制,实用化的全息存储系统逐渐推出^[6-9].

全息数据存储器的存储速率可以达到 1 Gbps,因为它以页为单元进行数据存储的,存取速度为微秒级.由于存储数据是基于全息技术,所以相对于传统的光盘存储,全息数据存储器有更好的容错性.理论上,全息存储的存储密度可以达到 1 Tbit/cm³.而要实现体全息数据的高密度存储,就是在晶体的同一位置尽可能的存入较多的数据,这是基于布喇格效应,通过复用技术实现的.在衍射率为零的布喇格零位点存储不同的数据,可以实现在存储介质的同一点存储大量数据,这就是复用技术^[1].

然而,传统的复用技术是通过旋转反射镜平台,改变参考光入射到透镜上的角度来实现复用的,这种方法对旋转平台的准确度要求比较高,而且复用率有限,只能在一维方向上进行复用^[5].本文设计了不同于传统的反射式体全息存储光路,同时提出一种方便易于实现,而且可以在水平和垂直两个自由度内实现复用的方案,即双透镜共焦法,这样就扩展了复用的维度,在准确度控制上也更加容易实现.

1 反射式全息原理和共焦法

1.1 反射式全息原理

在以往的全息存储系统中,大部分使用的是透

射式光路设计.透射式全息存储和反射式全息存储的重要区别在于记录过程中物光和参考光之间的相对位置.如果物光和参考光位于晶体的同侧,则所采用的光路为透射式光路;如果物光和参考光位于晶体的两侧,则所采用的光路为反射式.

图 1(a)和(b)分别为透射式和反射式全息图干涉面记录情况,从图中可以对透射式和反射式全息存储原理做出比较.

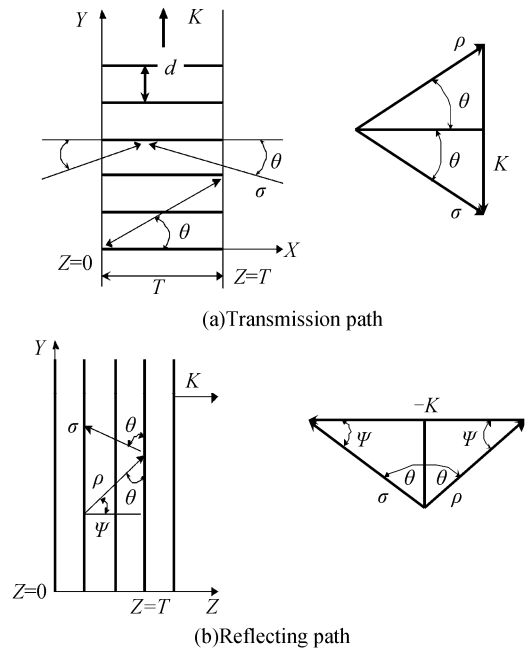


图 1 透射式和反射式全息图干涉面的记录
Fig. 1 The record of interference figure in transmission path and in reflecting path

假设在透射式全息存储的过程中,物光和参考光所形成的干涉面的方向垂直于全息图表面,如图 1(a),则干涉面的光栅矢量 K 平行于全息图表面.如果再观光波矢量和衍射后光波矢量分别为 ρ 和 σ ,图 1(a)就表示满足布喇格入射时, ρ, σ 和 K 之间的矢量三角关系.

$$\sigma = \rho - K \quad (1)$$

* 中国工程物理研究院基金(10676038)资助
Tel:0451-86417509 Email:johnhockson@163.com
收稿日期:2007-10-08

式(1)就是布喇格衍射方程的矢量表达式.

与透射式全息存储类似,当一个反射式全息图被一束自左向右传播的光束照射时,衍射后光束的传播方向是从右向左,如图 1(b).假设干涉面是不倾斜的,则光栅矢量 K 垂直于光栅表面,即再现光矢量 ρ_i 与光栅平面有一个夹角 θ .上图中的矢量图就表示了布喇格角入射时各种矢量之间的关系式

$$\sigma = \rho_i - K \quad (2)$$

反射式全息存储光线的传播过程非常类似于晶体中晶面的布喇格反射,每一层干涉面只反射再现光波的一部分,并且,只有在一个合适的角度,衍射后的子波光线才会使相长干涉.在反射全息图中,满足布喇格条件的只有一个反射角,因此,不会有共轭再现,再现图像的串扰会得到抑制.

1.2 双透镜共焦法复用方案

假设参考光的角度、位置或者激光的波长发生微小的改变,再现图像的衍射率都有不同的布喇格曲线相对应;通过改变参考基准光束的角度,在晶体的同一个位置可以存储多个数据位,称这种复用为角度复用.在反射式光路的基础上本文提出了一种新的角度复用方案,即采用双透镜共焦的方法实现信息复用.

双透镜共焦方案的光学原理如图 2.其中, L_1 和 L_2 是两片相同的凸透镜, f 表示它们的焦距.所谓的共焦,严格意义上是指 L_1 的后焦平面和 L_2 的前焦平面重合.图中虚线表示的是透镜 L_1 移动后的位置及其光轴的位置.从图 2 中可以看出, L_1 移动了距离 d ,则光束入射到晶体的角度改变了 θ ,但是其入射点的位置并未发生改变,从而实现了角度复用.实验证明,这种方法是完全可行的.通过和传统的寻址器进行比较,不难发现采用双透镜共焦的方法,不需要光束偏转器件,只需要高准确度的机械运动平台,并通过平台的平行和垂直移动,就可以实现参考光束入射角度的水平和垂直的二维调节.这样可使得系统的体积更小,结构紧凑,而且对准确度的控制更为方便.图 3 为系统中实际构建的双透镜光路,光路中采用的两片透镜均为双胶合消色差透镜,直径 $\varphi = 30 \text{ mm}$,焦距 $f = 50 \text{ mm}$.

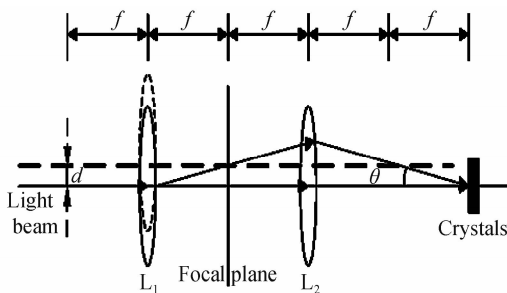


图 2 双透镜共焦法的光学原理
Fig. 2 Optical elements of double-lens with same focus

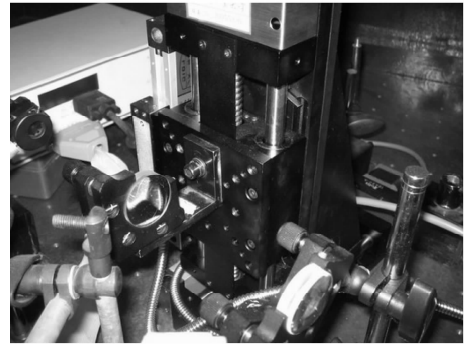


图 3 实验中构建的双透镜共焦光路
Fig. 3 Experimental set-up of two-lens confocal optical path

2 存储系统光路设计及实验

2.1 反射式体全息光路及实验平台

图 4 中为体全息存储实验平台,表 1 为体全息存储系统各器件明细表.根据夫琅和费衍射理论,从激光发出的光束形成平面波.而通过空间光调制器的像素孔,由许多点光源形成的衍射效应使光束以球面波的形式传播.空间光调制器打开的像素点光束可以通过,而关闭的像素点光束不能通过;所以打开的像素点的作用类似于一个小孔,通过它的光束以二维傅里叶变换形式影响到周围的像素点,进而加载信息到信号光.



图 4 体全息存储光路系统平台
Fig. 4 Experimental equipment of optical holographic storage system

表 1 体全息存储系统各器件明细表

存储系统元器件	性能规格
Nd-YAG Laser (TEM ₀₀ 单横模)	波长 532 nm 输出功率为 80 mW
存储材料	近化学计量比 Mn:Fe:LiNbO ₃ 晶体 0.2mol%MnO ₃ ;0.1mol%Fe ₂ O ₃ 尺寸为 5 mm×10 mm×2 mm,
SLM	分辨率为 1 024×768 像素大小为 26 μm×26 μm 通道面积为 26.6mm(H)×20.0mm
信号光和参考光之间的角度 (TSA)组合电动位移平台	6° 水平和垂直二维平移 200 mm 分辨率 1μm,重复定位准确度小于 3μm
准直透镜组数值孔径	0.3
CCD	扫描面积为 3.61(水平)×2.7(垂直) mm;分辨率为 420 线

图 5 为反射式体全息存储光路设计示意图,激光器发出的单一光束被偏光分束镜分成两束相关光,一束为信号光,另一束为参考光.信号光通过空间光调制器加载图像信息,然后与参考光在存储介

质中产生干涉并存入图像和文字信息,最后只由两束相干光中的参考光就可以实现数据的重现,将数据读出.

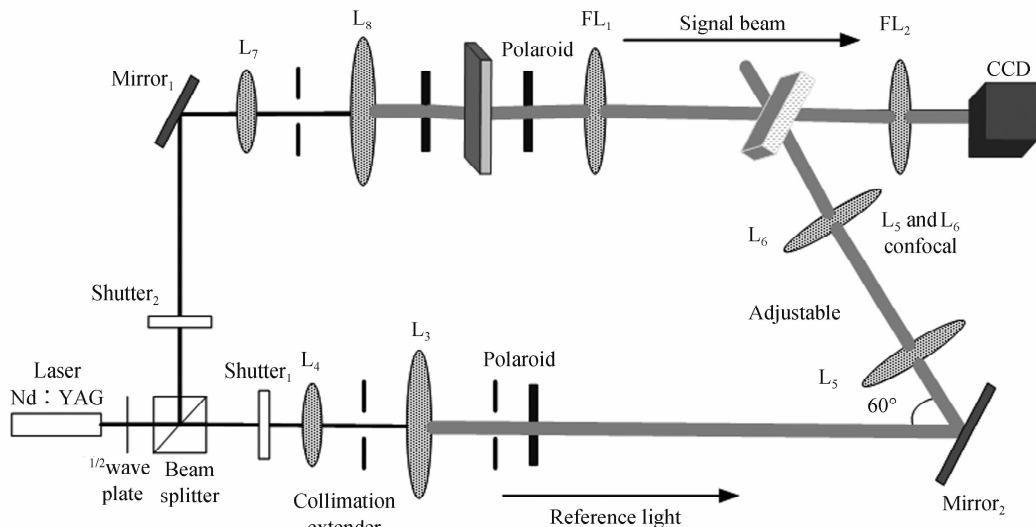
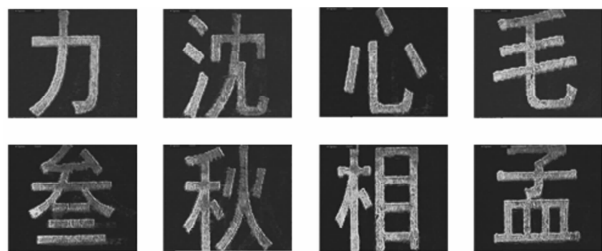


图 5 体全息存储光路

Fig. 5 The volume holographic storage light path

2.2 存储实验

利用改进的反射式全息存储光路,并结合双透镜共焦角度复用方案,通过对位移平台的高准确度控制,在水平和垂直二维方向上实现了在近化学计量比铌酸锂晶体单位体积内 2 000 幅全息图像的连续存储,存储效果较为理想,存储并再现的图像如图 6.



(a)Reconstructed 301-308 images



(b)Reconstructed 1001-1008 mages

图 6 全息存储图像再现

Fig. 6 Volume holographic reproduced image

通过图 6 从晶体中存储的 2 000 幅全息图像中所选出的 16 幅再现全息图的比较,发现随着存储图像数量的增加,图像的质量并未有明显下降.其中一个重要原因是由于所使用光折变近化学计量比晶体性能的提高,它的衍射效率为 68.3%,响应时间达到亚秒级.在系统存储过程中,所采用的每一幅图像大

小约为 5 MB,一幅图像的存储时间约为 0.2 s,从而可以计算出往晶体内存储图像的速率为 25 MB/s,存储 2 000 幅图像,所用时间为 10~15 min;而且连续存储的相邻图像之间没有串扰,说明存储能力仍有很大的进步空间.同时从实验与透射式全息存储相比较,反射式全息图由于其光路设计上的不同而有很多优点.例如,有利于与现有的光盘系统接轨;非常有利于设计一种紧凑的光学系统;可以提高衍射效率;由于对波长有很强的选择性,所以,一个反射式全息图可以用白光再现,使读取数据更加方便.

3 结论

作为高密度的存储技术,角度复用是一种很重要且常用的方法.而传统的存储光路和复用技术,在复用度上有一定的局限性,只能实现一维的角度复用.设计并构建了在存储性能上有较大改善的反射式全息存储光路,提出了一种更易于实现高准确度控制的双透镜共焦复用方案.通过利用近化学计量比铌酸锂晶体作为存储介质的存储实验证明,这种方案更易控制,而且实现了水平和垂直方向的连续存储,存储的响应时间更短;随着图像数量的增多并没有显著降低图像的质量;扩展了存储维度,提高了存储密度,扩大了数据在介质中的容量.

参考文献

- [1] JOHN R, JOSEPH J, SINGH K. Holographic digital data storage using phase-modulated pixels[J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2005, 43(7):183-194.
- [2] REN Li-yong, WANG Han-yi, YAO Bao-li, et al. Real-time

- non-destructive measurement of diffraction characteristic of dynamic volume holograms based on phase conjugate[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(6):1018-1022.
- 任立勇, 王韩毅, 姚保利, 等. 基于相位共轭的动态体全息衍射特性的实时非破坏性测量[J]. *光子学报*, 2007, **36**(6):1018-1022.
- [3] FENG Wen-yi, YAN Ying-bai, JIN Guo-fan. Volume holographic wavelet correlation processor[J]. *Opt Eng*, 2000, **39**(9):2444-2450.
- [4] GUO Yuan-jun, LIU Li-ren, LIU De-an, *et al.* Absorption characteristic and nonvolatile holographic recording in $\text{LiNbO}_3 : \text{Cr} : \text{Cu}$ crystals [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(12):1878-1883.
- 郭袁俊, 刘立人, 刘德安, 等. $\text{LiNbO}_3 : \text{Cr} : \text{Cu}$ 晶体吸收特性及非挥发全息存储研究[J]. *光子学报*, 2006, **35**(12):1878-1883.
- [5] PU A, DENKEWALTER R, PSALTIS D. Realtime vehicle navigation using a holographic memory[J]. *Opt Eng*, 1997, **36**(10):2737-2746.
- [6] OU-YANG Chuan, HE Qing-sheng, WANG Feng-tao, *et al.* Volume holographic correlation system with large capacity[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(9):1095-1098.
- 欧阳川, 何庆声, 王凤涛, 等. 大容量体全息相关系统[J]. *光学学报*, 2003, **23**(9):1095-1098.
- [7] YANG Chun-hui, XU Yan-bo, WANG Rui, *et al.* Research on photorefractive properties of near stoichiometric $\text{Ce} : \text{Mn} : \text{LiNbO}_3$ crystals[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(5):909-911.
- 杨春晖, 许艳波, 王锐, 等. 近化学计量比 $\text{Ce} : \text{Mn} : \text{LiNbO}_3$ 晶体光折变性能研究[J]. *光子学报*, 2007, **36**(5):909-911.
- [8] HU Wen-gang, WANG Yong-zhong, HUA Wen-shen. Characterization of filter spatial light modulator in optical correlator[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(9):1603-1605.
- 胡文刚, 王永仲, 华文深. 在光学相关器中测试滤波空间光调制器的相位调制特性[J]. *光子学报*, 2007, **36**(9):1603-1605.
- [9] PSALTIS D, MOK F. Holographic memories[J]. *Scientific American*, 1995, **232**(5):53-58.

New Scheme of Reflection Volume Holographic Storage Angle-multiplexing

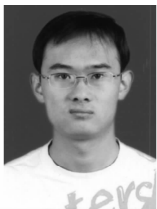
YUE Feng, ZHAO Ye-quan, SHEN Yan, JIA Bao-shen, YU Sheng-jie

(Astronautics Engineering Department, Astronautics School, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Received date: 2007-10-08

Abstract: The principle of reflection volume holographic storage technology was introduced. A new reflection holographic storage beam path that was different from conventional transmission beam path was designed and established. Based on this principle, a new angle-multiplexing scheme was suggested, which was two-lens confocal method. Two thousand holographic images were stored continuously in a signal-point using this system. This method was performed experimentally that been controlled easier and finishing images memory continuously. And it achieved high diffraction efficiency and improved the quality of images. The two-lens confocal scheme decreased the complexity of system and could be multiplexed with high-accuracy. It expands multiplexing dimension from one to two and increases memory density.

Key words: Volume holographic storage; Angle-multiplexing; Two-lens confocal; Reflection type



YUE Feng was born in 1982. He received the B. S. degree from Mechanical Engineering School, North University of China in 2005. Now, he is studying at Astronautics School, Harbin Institute of Technology for the M. S. degree, and his research interests focus on holographic real-time storage and dynamic display.