

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 1-0205-03

全息光盘的同轴光学系统设计

王 也¹ 陶世荃²

(¹ 中国传媒大学理学院, 北京 100024; ² 北京工业大学应用数理学院, 北京 100022)

摘要 为了使全息光盘技术进一步走向实用化,有必要使读写系统更为简化和小型化,设计了一个物光和参考光的同轴光学系统,物光和参考光利用一束激光,处于光束的中间部分作为物光,而光束的周围的环型光束经过 2 个环型反射镜后,形成会聚光用来作为参考光。该参考光束与物光在前组傅里叶变换透镜的后焦面干涉进行全息图的记录。通过合理设计环型反光镜的几何参数,可以保证物光和参考光形成较大的夹角,有助于提高全息光盘存储的复用度,提供了较好的选择性。整个光学系统结构更加紧凑,缩小了整体尺寸,有助于进一步发展更加实用的小型化全息光盘驱动器。

关键词 全息; 全息光盘; 同轴; 环型反射镜; 镜头

中图分类号 TP333; O438.1 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/CJL200936s1.0205

A Coaxial Optical System for Holographic Disc Storage

Wang Ye¹ Tao Shiquan²

(¹ College of Science, Communication University of China, Beijing 100024, China)
(² College of Applied Sciences, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract It is necessary to develop a miniaturization of the holographic disc storage systems for its practical and commercial application. A novel coaxial system of holographic disc driver was designed. One laser beam was used as information beam and reference beam simultaneously. The center part of the laser beam acts as the information beam. And the other part of the laser beam around the ring, which becomes a convergent beam after it is reflected by two annulus shaped mirrors, acts as the reference beam. The information beam and the reference beam interfere in the back focal plane of the first Fourier transform lens. The larger angle between the information beam and the reference beam can be obtained through optimizing the geometric parameters of the mirrors. Then the complex level of holographic storage is improved and the better selectivity is provided. This system has a compact profile and is useful to make a miniaturization holographic disc driver in the future.

Key words holography; holographic disc; coaxial; annulus mirrors; lens

1 引 言

数字全息光盘存储技术作为一种非常具有潜力的新型信息存储技术,具有极高的存储密度和数据传输速度,成为下一代光盘发展的目标^[1]。最近几年,有机的光致聚合物作为体全息存储材料得到迅速发展,其理化性能有了很大的提高,由于这种材料非常适合做成大面积盘式材料,大批量生产的成本也比较低廉,使它越来越有可能发展成为类似于传统的 CD-ROM, DVD-ROM 的商用全息光盘。然而,目前常见的全息光盘存储系统多采用物光和参

考光离轴的光学系统,整个系统体积庞大、结构复杂^[2,3],不利于存储器的小型化和商业化,因此采用物光和参考光共轴的同轴体全息存储系统成为一个重要的研究方向,它可以做成紧凑一体的小型化读写镜头,缩小体全息存储器的体积,利于走向商业化^[4,5]。根据文献^[6]的相关资料介绍,目前有利利用物光和参考光共用同一组傅里叶变换镜头来实现共轴光路,但是为了提高全息存储的复用度,需要增加相位调制器等器件,并且为了满足较大的通光口径,镜头设计复杂,像差校正比较困难。为此,本文在这

基金项目: 国家自然科学基金(69977005)和中国传媒大学校基金(YNG0608)资助课题。

作者简介: 王 也(1974—),男,博士,讲师,主要从事光学设计、精密仪器与机械、光信息处理等方面的研究。

E-mail: wangyale@cuc.edu.cn

方面做了一些新研究,设计中采用 2 个环型球面反射镜来实现参考光的光路,简化镜头的设计和光路,降低设计困难和成本。

2 透射式光路与角度选择性关系

目前全息光盘存储技术采用多种复用方式,其中角度复用(或称角度编码)是使用最早、研究最充分的复用技术^[7]。体积全息图的角度选择性使不同的信息页面可以非相干地叠加在同一空间区域,存储在材料的共同体积中,相互之间用不同的参考光角度加以区别^[8,9]。当用于记录的光路采用透射式时,如图 1 所示,物光和参考光从记录介质的同一侧入射。读出时,读出光路和探测光路必须分别处在记录介质的两侧。

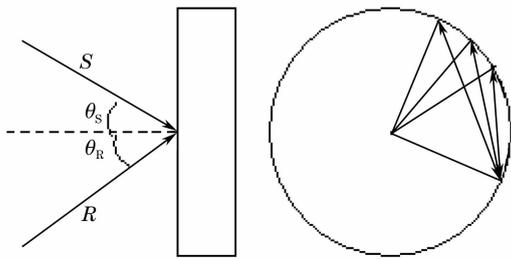


图 1 透射式光路的几何关系

Fig. 1 Geometry of transmission holograms

根据耦合波理论,透射式体全息图的峰值衍射效率(在布拉格角读出时的衍射效率)为

$$\eta_0 = \sin^2 \nu, \quad (1)$$

式中 ν 为光栅强度。若材料折射率变化的幅值为 s , 厚度为 d , 使用的光波长为 λ , 记录时参考光束和物光束与介质法线之间的夹角分别为 θ_R 和 θ_S (角度 θ_S 为负值), 则

$$\nu = \pi \Delta n d / \lambda (\cos \theta_R \cos \theta_S)^{1/2}. \quad (2)$$

透射式光路的角度选择性定义为衍射效率对读出角度失配曲线中主瓣的全角宽度。根据体全息图角度选择性的理论,在弱耦合条件下 ($\nu \ll \pi$), 透射式体全息图的选择角 $\Delta\theta$ 为

$$\Delta\theta = \frac{2\lambda \cos \theta_S}{nd \sin 2\Phi}, \quad (3)$$

式中 $2\Phi = |\theta_R - \theta_S|$, 即为两写入光束之间的夹角。其中,所有角度都是指介质内部角。由(3)式可见,两写入光束的夹角非常小时,相应的角度选择性很差;若不考虑介质折射的因素, θ_R 或 θ_S 越大,选择角越小,角度选择性越好;但介质越厚,选择性越好。由于介质折射的影响,写入角过大时选择角反而会变大,角度选择性变差。实际的存储系统对所有全息图

会采用固定的角度间隔,这就决定了写入角的差别不能太大,可以在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 范围内选择^[7]。目前,常见的同轴光学系统大多采用物光和参考光共用同一傅里叶变换镜头,这样不仅要求傅里叶镜头有较大的口径,而且两光束的夹角 2Φ 受镜头的限制,不能做到很大,限制了角度选择性,因此也就降低了全息存储的复用度。

3 同轴读写镜头的光路设计

3.1 全息光盘存储器同轴光路的设计

根据上述理论和要求,为了满足角度选择性对两光束的夹角要求,提高存储的复用度,同时减小傅里叶变换镜头的口径,设计了一种新型的同轴光路,如图 2 所示。

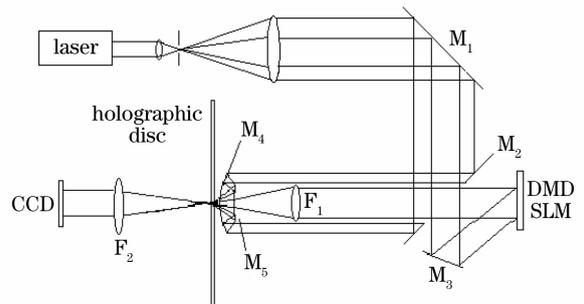


图 2 同轴光路示意图

Fig. 2 Coaxial optics configuration of holographic disc storage

从激光器中出射的光束经过均匀化、扩束、滤波准直后,变成照度均匀的光束,然后经过反射镜 M_1 , 光束偏转 90° 到达反射镜 M_2 , 该反射镜是一个中心空的平面反射镜,中心一部分光透过中间的孔照射在平面反射镜 M_3 上,另外一部分光反射,照射在另一个环型球面反射镜 M_4 上。到达反射镜 M_3 的光束再次反射,以一定角度入射到空间光调制器 (SLM) 上,经过调制,形成了加载存储信息的物光束。由反射镜 M_2 反射的空心光束分别经过环型球面反射镜 M_4 以及环型球面反射镜 M_5 的 2 次反射,形成会聚光,该会聚光束的焦点位置与第 1 个傅里叶变换镜头 F_1 的焦点位置重合,利用这一光束作为参考光束。这样从 SLM [数字微镜 (DMD) 器件] 反射出来的物光经过 F_1 后,与参考光在 F_1 镜头的后焦面附近发生干涉,生成透射式全息图,全息光盘放置在此位置,即可实现信息的存储。读出时,关闭 SLM 以实现无反射光,仅用参考光照射全息图,可以获得全息图的再现,同时该参考光不会引入杂光到 CCD 像面。这样就实现了同轴系统的数据写入

与读出。通过该结构,可以获得物光与参考光之间更大的夹角,对2个环型球面反射镜进行适当的优化设计后,使此夹角在 $40^\circ\sim 45^\circ$ 之间,能够明显提高全息存储的角度选择性,增加复用度。

3.2 设计举例

根据上述原理和要求,设计了全息光盘的读写镜头。其中,DMD器件的像素尺寸为 $13.8\ \mu\text{m}\times 13.8\ \mu\text{m}(1024\times 768)$,CCD的像素尺寸为 $12\ \mu\text{m}\times 12\ \mu\text{m}(1024\times 1024)$,DMD为矩形反光孔径,令参考光包围在其外边,以对角线尺寸来计算,按照物光和参考光的等面积通光来设计口径。表1列出了镜头设计的主要参数。其中,前焦距和后焦距分别指 F_1 和 F_2 的焦距的有效前后截距,口径为镜头的最大通光直径,2个环型球面反射镜的光轴与傅里叶变换透镜共轴,对应的参数如表2所示,反射镜的编号与图2中的序号是对应的,设计时考虑 F_1 的结构,将二者集成化。

表1 同轴 F_1 和 F_2 镜头基本设计参数

Table 1 Design parameters of F_1 and F_2 for coaxial system

	Focal length /mm	Aperture /mm	Front work length /mm	Back work length /mm
F_1	90.000	27	88.433	41.698
F_2	78.260	21.000	27.310	39.996

表2 环形反射镜 M_4 和 M_5 的设计参数

Table 2 Design parameters of annulus mirrors M_4 and M_5

	Out diameter /mm	Inside diameter /mm	Radius of curvature /mm
M_4	55.000	36.500	-72.000
M_5	34.500	22.100	-258.000

按照表1和表2中的光路设计物光和参考光镜头,读写系统拥有较小整体尺寸。读写镜头部分总长度仅为88 mm,最大口径为55 mm。如果有更小的DMD器件或SLM时,还可以将镜头的口径和光学系统做得更小,这样非常有助于傅里叶变换镜头的多种像差校正,提高再现图像的质量。所以,采用

这一光路和同轴设计思想,有助于发展更小型化的全息光盘存储器。

4 结 论

在数字全息光盘存储器中,利用环型球面反射镜来形成参考光,不仅可以有效地增加同轴光学系统中物光和参考光的夹角,提高角度选择性,增加全息存储的复用度,而且,也相应地减小了傅里叶变换镜头的口径和系统的整体尺寸,对像差的校正,改善再现图像质量,降低误码率,提高存储密度有很大的作用。这一设计有助于实现小型化数字全息光盘驱动器,向商业化和实用化方向发展。

参 考 文 献

- Lambertus Hesselink. Ultra-high-density data storage [J]. *Communication of the ACM*, 2000, **43**(11): 33~36
- Wang Ye, Wan Yuhong, Tao Shiquan. Fix reposition errors and compensation method of holographic disc [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2005, **13**(6): 741~746
王也,万玉红,陶世荃. 全息光盘的重复定位误差及补偿方法[J]. *光学精密工程*, 2005, **13**(6): 741~746
- Wang Ye, Liu Changjiang, Wan Yuhong *et al.*. Lens design for digital volume holographic storage systems[C]. *SPIE*, 2004, **5638**: 665~670
- S. Orlov, W. Phillips, E. Bjornson *et al.*. High data rate (10 Gbit/sec) demonstration in holographic disk digital data storage system[C]. *CLEO-Technical Digest*, 2002. 70~71
- G. W. Burr, C. M. Jetterson, H. Coufal *et al.*. Volume holographic data storage at an areal density of 250 gigepixels/in² [J]. *Opt. Lett.*, 2001, **26**(7): 444~446
- Hideyoshi Horimai, Xiaodi Tan, Jun Li. Collinear holography [J]. *Appl. Opt.*, 2005, **44**: 2575~2580
- Tao Shiquan, Wang Dayong, Jiang Zhuqing *et al.*. *Optical Holographic Storage* [M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 1998. 269
陶世荃,王大勇,江竹青等. *光全息存储*[M]. 北京:北京工业大学出版社, 1998. 269
- L. Hesselink, M. C. Bashaw. Optical memories implemented with photorefractive media[J]. *Opt. and Quantum Electron.*, 1993, **25**(9): 611~661
- Sergei S. Orlov, William Phillips, Eric Bjornson *et al.*. High-transfer-rate high-capacity holographic disk data-storage system [J]. *Appl. Opt.*, 2004, **43**: 4902~4913