

多光束全息光学头的实现及伺服信号分析*

王继平 阮 玉

(华中理工大学光电子工程系 武汉 430074)

提要 提出了多光束全息光学头的全新思想,它综合了多光束光学头并行存储和全息光学头灵巧紧凑的优点,在提高数据传输速率的同时还可以缩短随机存储时间。在此基础上,对该光学头的伺服信号进行了理论分析,并进行了实验研究。

关键词 多光束,全息光学头,并行跟踪

1 引 言

目前,信息技术正在深入各行各业,这促使存储系统不断向着增加存储容量、提高数据传输速率和缩短存储时间的方向发展。光盘存储系统具有可卸换性、可靠性高、成本低和使用寿命长等显著优点,从而在信息存储领域得到了广泛的应用。但是,由于目前商品化的光盘驱动器都是采用单光束进行读写,传统的提高光盘转速和增加信息存储位密度方法已很难大幅度提高它们的数据传输速率。一种比较简单且易于实现的方法是采用多光束光盘驱动器,它将多个光点同步定位在光盘的几个相邻轨道上,从而可实现并行读写,随着通道数的不同,它的数据传输速率可以达到目前光盘驱动器的几倍到几十倍^[1~4]。

由于多光束光盘驱动器需要实现多个光点的精确控制,分离各个通道的数据信号和伺服信号,因此,它的光学头结构比较复杂,阻碍了性能的进一步提高。本文提出用计算机设计的全息光学元件来实现多光束光学头的数据信号检测和伺服信号检测,从而简化整个光学头的结构。本文还讨论伺服信号的提取。

2 多光束全息光学头的实现

在多光束全息光学头中,全息元件设计的要点在于能将多个通道的衍射光束分开,不致发生重叠,从而可以方便地分离各个通道的数据信号和伺服信号。下面用二元位相全息光学元件来证明全息元件完全能够实现此功能。

设全息光学元件要记录的物光波复振幅为 $A(x, y) \exp[i\varphi(x, y)]$, 它是从探测器上一点发出的光波,载波为 $R \exp(i2\pi x/T)$, 它们在全息元件所在平面上的光强分布为

$$I(x, y) = R^2 + |A(x, y)|^2 + 2RA(x, y) \cos[2\pi x/T - \varphi(x, y)] \quad (1)$$

* 国防科工委国防预研基金资助项目。

收稿日期: 1998-08-31; 收到修改稿日期: 1998-11-16

由于全息元件面积较小(直径小于 6 mm),可近似认为物光只有位相发生变化,则影响条纹分布的只有 $\cos[2\pi x/T - \varphi(x, y)]$ 项,将它输入计算机进行非线性限幅运算,同时用偏值项 $\cos[\pi q(x, y)]$ 来调节条纹宽度,可得到二元函数.将其表示为傅氏级数的形式

$$f(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{\sin \pi n q(x, y)}{\pi n} \exp\{in[2\pi x/T - \varphi(x, y)]\} \quad (2)$$

由于物光只有位相发生变化,上式中 $q(x, y)$ 为常数,可记为 q .使用阵列半导体激光器照射该全息光学元件,则第 n 个单元的第一级衍射光可记为

$$a_{1n} = i2R \sin \theta \frac{\sin \pi q}{\pi} \exp(i2\pi x/T) \exp[-i\varphi(x, y)] \exp(iky \sin \alpha_n) \quad (3)$$

式中 α_n 为阵列半导体激光器第 n 个单元发出的光与 z 轴的夹角.式中,线性位相项 $\exp(iky \sin \alpha_n)$ 将使像点沿 y 轴方向偏移一段距离,从而可以和其他光束的像点分开.可见,这种全息光学元件完全有能力将各个通道的衍射光束分开,可以满足多光束光学头的要求.

图 1 是多光束全息光学头的光路图.在多光束光学头中,数据的读写由光点阵列来完成,为了正确地获取信号,需要将每个光点精确定位到各自的轨道上,由于光点阵列与轨道夹角的变化,传统的径向移动光学头的跟踪方法很难达到这个要求,目前一般采用单光点径向跟踪加光点阵列旋转的方法来实现这个目的.光路中道威棱镜的作用是使光点阵列产生旋转,从而实现光点阵列与轨道夹角的伺服控制,这也是多光束光学头与单光束光学头的差别所在.

多光束全息光学头的数据信号和伺服信号都由全息光学元件和光电探测器阵列来完成,图 2 显示了用全息元件和六像限光电探测器阵列检测数据信号和伺服信号的原理.

如图 2 所示,全息光学元件(HOE)分成四个部分: A, B, C, D .入射到 A, C 部分的光束分别聚焦在六像限探测器阵列的四像限探测部分的垂直分裂线上,入射到 B, D 部分的光束分别聚焦在六像限探测器阵列两端的分立探测元上,图中只画出了两个通道的光线.由于在全息光学元件上, A, C 部分的分界线相当于一个刀口,因此根据刀口法的原理可以得到聚焦伺服信号为 $FES = (I_a + I_d) - (I_b + I_c)$,可以用任意一个通道提取 FES . B, D 部分的对称线和光盘轨道平行,根据推挽法可得到各个通道径向跟踪伺服信号为 $TES_i = Ie_i - If_i (i = 1, 2, 3, 4)$.光点阵列旋转控制信号可由通道 1 和通道 4 的径向跟踪伺服信号之差得到,即 $IRES = TES_1 - TES_4$.各个通道的数据信号可以由每个通道上六个探测元的输出信号之和得到,即数据信号为: $DS_i = I a_i$

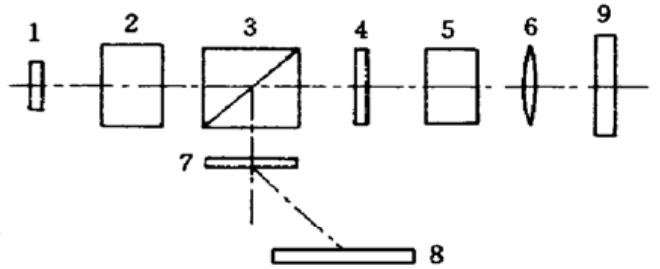


图 1 多光束全息光学头光学系统
1: 半导体激光器阵列; 2: 准直器; 3: 偏振分束器; 4: 1/4 波片; 5: 道威棱镜; 6: 聚焦物镜; 7: 全息光学元件; 8: 六像限光电二极管阵列; 9: 光盘

Fig. 1 Optical system of multi-beam holographic optical head
1: laser diode array; 2: collimator; 3: polarizing beam splitter; 4: quarter wave plate; 5: Dove prism; 6: focusing lens; 7: HOE; 8: six-segment photodiode array; 9: optical disk

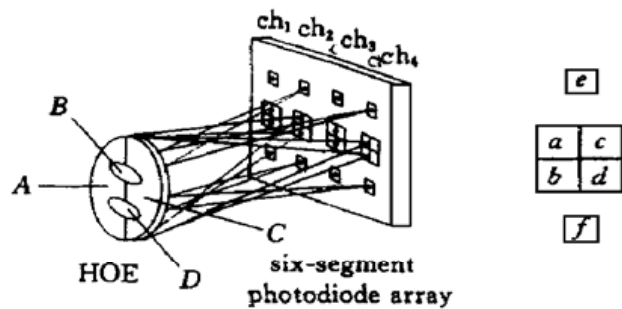


图 2 数据信号和伺服信号检测原理
Fig. 2 Data signal and servo signal detection method layout

光学元件上, A, C 部分的分界线相当于一个刀口,因此根据刀口法的原理可以得到聚焦伺服信号为 $FES = (I_a + I_d) - (I_b + I_c)$,可以用任意一个通道提取 FES . B, D 部分的对称线和光盘轨道平行,根据推挽法可得到各个通道径向跟踪伺服信号为 $TES_i = Ie_i - If_i (i = 1, 2, 3, 4)$.光点阵列旋转控制信号可由通道 1 和通道 4 的径向跟踪伺服信号之差得到,即 $IRES = TES_1 - TES_4$.各个通道的数据信号可以由每个通道上六个探测元的输出信号之和得到,即数据信号为: $DS_i = I a_i$

+ $I_{b_i} + I_{c_i} + I_{d_i} + I_{e_i} + I_{f_i}$ ($i = 1, 2, 3, 4$)。在以上各式中, $I_{a\sim f}$ 分别代表各探测单元的输出信号。

3 伺服信号分析

设光盘面上复振幅分布为 $F(u_i, v_i)$, 它是物镜出瞳面上的复振幅分布 $f(x', y')$ 的傅里叶变换。当入射光照射到光盘面上时, 光盘上的凹坑会对入射光产生衍射作用, 要知道探测器上最终的光强, 需要求出反馈回物镜出瞳的光波的复振幅分布。设光盘的复振幅反射系数为 $R(u_i, v_i)$, 则光盘反射光的复振幅分布为 $F(u_i, v_i)R(u_i, v_i)$ 。反射回出瞳的复振幅分布 $a(x', y')$ 为 $F(u_i, v_i)R(u_i, v_i)$ 的逆傅里叶变换, 则由图 2 可知, 探测器 A-C, B-D 上的复振幅分布为

$$E_{A-C(B-D)}(u, v) = \iint_{A-C(B-D)} a(x', y') \exp[-ik(x'u + y'v)/z] dx' dy' \quad (4)$$

式中 z 为探测器至全息光学元件的距离, A-C, B-D 为积分区域, 因此聚焦伺服信号为

$$\begin{aligned} \text{FES} = & \left[\iint_a |E_{A-C}(u, v)|^2 dudv + \iint_b |E_{B-D}(u, v)|^2 dudv \right] - \\ & \left[\iint_b |E_{B-D}(u, v)|^2 dudv + \iint_a |E_{B-D}(u, v)|^2 dudv \right] \end{aligned} \quad (5)$$

对式(5)进行数值计算即可得到聚焦伺服信号的波形如图 3(a) 所示。

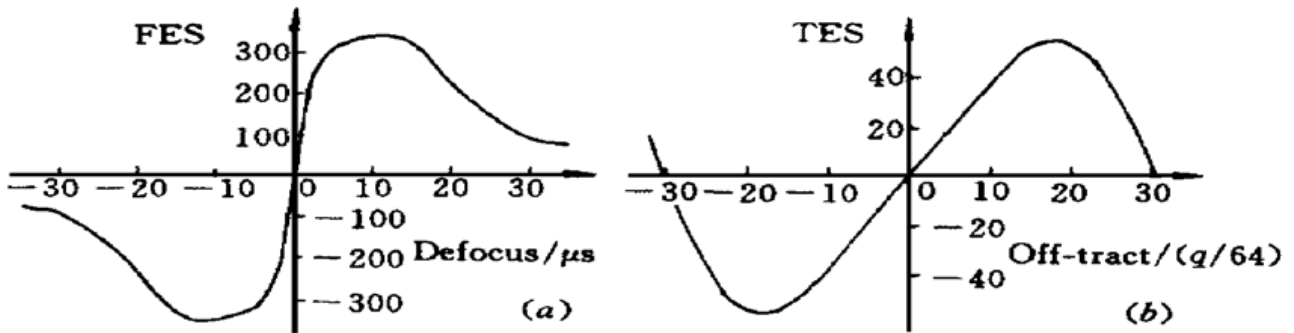


图 3 聚焦伺服信号 (a) 和跟踪伺服信号 (b)

Fig. 3 Focusing servo signal (a) and tracking servo signal (b)

从图 3(a) 中可以看出, 当离焦量从零开始上升时, 伺服信号上升很快, 因此当光盘处于工作状态时, 这一特性能确保光盘始终处于焦深范围内。当离焦量较大时, 伺服信号开始慢慢下降, 这是由于探测器上的光斑逐渐变大, 超出了探测器的范围, 因此导致伺服信号下降。轨道跟踪伺服信号是通过全息光学元件上光强分布的左右不平衡来提取的。全息片 B 和 D 负责将 HOE 上左右两部分光强分别耦合到探测器 e 和 f 上, 因此轨道跟踪伺服信号可由式(6) 得到

$$\text{TES} = \iint_b |a(x', y')|^2 dx' dy' - \iint_a |a(x', y')|^2 dx' dy' \quad (6)$$

图 3(b) 中离轨误差以 $q/64$ 为单位, q 为轨道间距, 从图上可以看出, 当离轨误差为四分之一轨道间距, 也就是光点处于凹坑边缘时跟踪伺服信号达到最大值。而当离轨误差达到二分之一轨道间距时, 离轨误差降为零。当离轨量进一步增加时, 跟踪伺服信号变为反方向, 这表明光点已经进入相邻轨道的跟踪伺服范围。由于光点阵列旋转伺服信号是通过 ch_1 和 ch_4 的 TES 之差得到的, 因此这里不再讨论。

4 实 验

在多光束全息光学头中,全息光学元件的加工精度直接影响数据信号和伺服信号的提取。本实验中,要求 HOE 条纹的位置精度达到 $0.1\ \mu\text{m}$,为了达到这个要求,同时考虑到加工的方便,作者利用中国科学院微电子中心的电子束曝光机加工制作了全息光学元件。制作过程如下:(1)将设计好的 HOE 图案利用电子束曝光机所能识别的格式(例如 CIF 格式)描述出来;(2)在石英基片上涂上一层铬膜,再在铬膜上涂上电子光刻胶;(3)用电子束曝光机将图形扫描到上述铬版上,再通过曝光、显影等即可得到光掩模;(4)将光掩模的图案转印到玻璃基片上,通过离子刻蚀即可获得二元位相全息光学元件。图 4 是该全息光学元件局部放大一百倍后的照片。图 5(a)是单光束照射全息光学元件时探测器上的光斑分布图,图 5(b),(c)分别是当光盘近焦和远焦时,用四束互成一定角度的平行光照射全息光学元件时探测器上的光斑分布图。可见,采用四束光照射全息光学元件时,每个通道的光斑变化都类似,具有很强的—致性,全息光学元件能够完成多光束光学头的伺服信号检测。

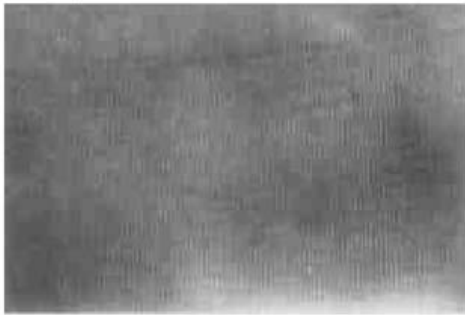


图 4 全息光学元件
Fig. 4 HOE

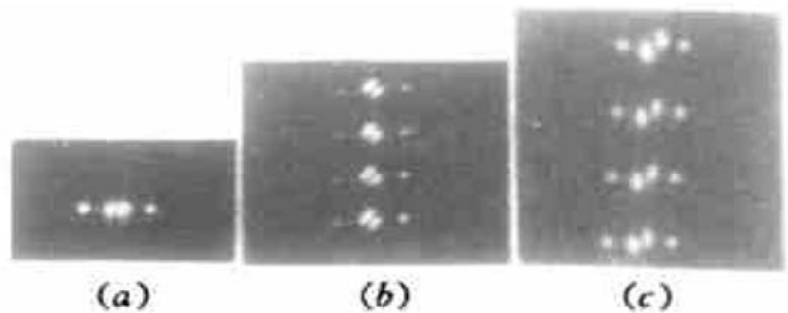


图 5 探测器上的光斑分布

Fig. 5 The optical spot on the detector

参 考 文 献

- 1 R. Katayama, K. Yoshihara, Y. Yamanaka *et al.*. Multi-beam optical disk drive for high data transfer rate system. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1992, **31**(2B): 630~ 634
- 2 H. Dobashi, T. Tanabe, M. Yamamoto *et al.*. Three-track readout method using two offset beams. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1996, **35**(1B): 454~ 458
- 3 D. B. Carlin, J. P. Bednarz, C. J. Kaiser *et al.*. Multichannel optical recording using monolithic arrays of diode lasers: errata. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(24): 4613~ 4618
- 4 K. Yoshihara, R. Katayama, Y. Yamanaka *et al.*. Digital video recording system using multi-beam magneto-optical disk drive. *SPIE*, 1990, **1316**: 58~ 64

On Multi-beam Holographic Optical Head

Wang Jiping Ruan Yu

(*Optoelectronics Engineering Department, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074*)

Abstract The multi-beam holographic optical head which combines the multi-beam optical head with holographic optical head is proposed. This optical head has a light and compact structure, and works with parallel mode. Consequently, it not only can improve data transfer rate of driver but also shorten the random access time. In this paper, the multi-beam holographic optical head is investigated theoretically and experimentally.

Key words multi-beam, holographic optical head, parallel tracking