

光盘伺服系统中临界角法研究

陈海清 常洋燕

(华中理工大学, 武汉)

摘要: 本文重点分析临界角法基本工作原理、设计与误差信号处理的有关问题。

Study on method for the critical angle of the servo system for optical disk

Chen Haiqing, Chang Yangyan

(Huazhong University of Science and Technology)

Abstract: Problems of the basic working principle, design and error signal handling for a method of the critical angle are analysed emphatically.

一、引言

光学头是光盘机装置的核心部分, 所以要求物镜、光源及其它光学零件的性能都是接近完善的。从物镜射出的光束必须准确聚焦在高速回转的光盘上, 并且在工作时不能跳槽。光盘的跳动量及偏心率必须要加以控制。对于调焦方向上精度控制应小于焦深、径向(导轨)方向上应小于 $\pm 0.1\mu\text{m}$ 。为了控制这两个方向的精度, 要用光学方法分别检测这两个方向的误差信号^[1]。虽然, 象散法、刀口法、傅科法等是当前一些大公司比较广泛采用的方法, 并且技术比较成熟, 但是其中需采用柱面透镜, 机械机构不仅应包括 x 、 y 、 z 三维的调整, 同时还要考虑绕光轴方向的旋转调整。因此, 无论从占空比或是结构成本比考虑都是不甚理想的, 存在着一定局限性。临界角法是奥林巴斯公司推出的一种方法, 探测灵敏度高, 结构简单, 调整方便, 成本低。该公司生产的一次写入光盘机光学头采用了这种方法。光学头的光路如图1所示。

二、临界角法工作原理及误差信号处理

此法是利用接近临界角时光的反射率迅速变化的现象, 获得光束的非对称性分布。因为正确调焦时, 入射到接收器上的光束是平行光, 故全部被全反射, 但是调焦不正确时, 射入的是发散光或会聚光, 使一边光束不全反射, 结果光能分布不对称, 根据其分布情况可检测误差信号^[2]。

图2所示为该方法的基本工作原理图。

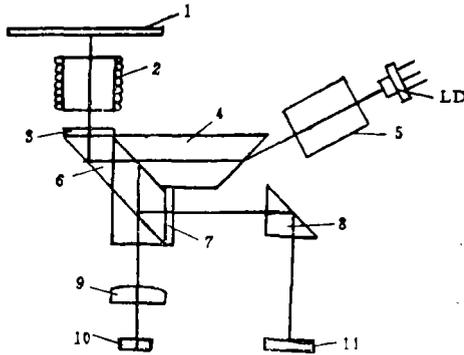


图1 一次写入光学头光学系统
 1—光盘 2—调焦物镜
 3— $\lambda/4$ 波片 4—整形棱镜
 5—准直物镜 6—直角棱镜
 7—偏振片 8—临界角棱镜
 9—会聚物镜 10、11—四象限探测器

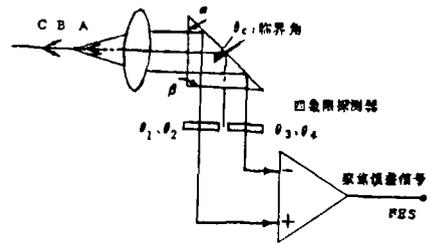


图2 基本工作原理图

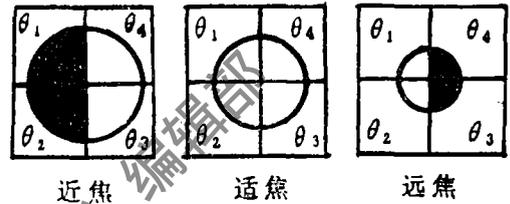


图3

图3所示为四象限探测器分别对应近焦、适焦和远焦三种情况时的光能分布。

聚焦误差信号表示为：

$$FES = \frac{(\theta_1 + \theta_2) - (\theta_3 + \theta_4)}{\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4}$$

$$FES = \begin{cases} > 0 & \text{近焦} \\ = 0 & \text{适焦} \\ < 0 & \text{远焦} \end{cases}$$

跟踪误差信号表示为：(外差法)

$$TES = \frac{(\theta_1 + \theta_4) - (\theta_2 + \theta_3)}{\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4}$$

在设计具体电路之前，应首先来分析讨论其临界面上能量损失问题。设光盘面偏移焦平面 δ 距离，由高斯公式可知，光盘面的成象位置 L' 为：

$$\frac{1}{L'} + \frac{1}{f_0 + \delta} + \frac{1}{f_0} \tag{1}$$

式中， f_0 为会聚物镜的焦距。

由(1)式得：

$$L' = f_0 \left(1 - \frac{f_0}{\delta} \right) \tag{2}$$

设会聚物镜的成象孔径为 R_0 ，由于出射光线是不平行的，边缘光线存在的最大倾角为：

$$\delta\theta = \frac{R_0}{L'} = \frac{R_0 \delta}{f_0 (f_0 + \delta)} \tag{3}$$

则进入临界角棱镜的光线相对反射面法线偏转了一个角度

$$\delta\theta_c = \frac{\delta\theta}{n_1} = \frac{R_0\delta}{n_1 f_0 (f_0 + \delta)} \quad (4)$$

式中, n_1 为玻璃的折射率。

现讨论 $\delta\theta_c < 0$ 的情况, 而且 $\delta\theta_c$ 很小, 引入近似公式处理菲涅耳公式。

$$r_{\parallel} = \frac{n_2 \cos\theta_1 - n_1 \cos\theta_2}{n_2 \cos\theta_1 + n_1 \cos\theta_2}$$

$$\cos\theta_1 = \frac{\sqrt{n_1^2 - 1} + \delta\theta_c}{n_1}$$

$$\sin\theta_1 = \frac{1 - \sqrt{n_1^2 - 1}\delta\theta_c}{n_1}$$

则

$$r_{\parallel}^2 = 1 - \frac{4n_1^2 \sqrt{2\delta\theta_c}}{m}$$

其中, $m = 4\sqrt{n_1^2 - 1}$

同理,

$$r_{\perp}^2 = 1 - \frac{4\sqrt{2\delta\theta_c}}{m}$$

则

$$R = \frac{r_{\parallel}^2 + r_{\perp}^2}{2} = 1 - \frac{2\sqrt{2\delta\theta_c}}{m} - \frac{2n_1^2 \sqrt{2\delta\theta_c}}{m} \quad (5)$$

由(5)式分析可知, 不同孔径的光线, 其反射率是有差异的, 而入射到临界角棱镜的光线是呈高斯分布的, 设它为:

$$I(r) = I_0 e^{-2r^2/\omega^2}$$

显然, 经过临界角棱镜后, 其分布很复杂, 这里不加以讨论。

从分析可知, 增大探测器与临界角棱镜的距离时, 可增大光斑尺寸。

临界角法是十分灵敏的, 一般为了增加灵敏度, 抵消装校误差, 都要采用2~3次反射, 这对噪声有平均的作用。

无论采用象散法、傅科法, 还是临界角法, 所得到的聚焦误差信号, 都要经后继电子电路加以适当的处理来产生聚焦伺服信号。从电路设计角度出发, 象散法与临界角法的基本原理都是相同的。

表1给出了对相变光盘伺服电路的要求。

在相变光学头的研制中, 我们采用临界角法检测聚焦误差信号, 对于轨道误差信号的检测采用了外差法。一般来说, 检测轨道误差时, 其检测方法可根据光盘类型来选取。例如对于预先形成坑的VD或CD可采用三光束法或外差法。对有轨道导向槽(预刻槽)的DRAW型光盘, 主要是采用推挽法、外差法等。

光学头的接收元件主要是硅光电二极管和pin光电二极管。pin光电二极管的p层和n层之间夹有一层高电阻层, 由此得到附加反向偏压。当光盘需要高速响应时, pin光电二极管

表1 相变光盘伺服电路的要求

1. 读写速度	72.5MHz	
2. 伺服焦距范围	500 $\mu\text{m} \pm 0.2\mu\text{m}$, 10mW/ μm , 频率 2kHz	
3. 伺服轨道范围	200 $\mu\text{m} \pm 0.1\mu\text{m}$, 10mW/ μm	
4. 信号	>100mW	
5. 电源	+5V	+12V

是最佳的接收元件。为了得到聚焦及轨道误差信号, 应采用四象限或六象限光电接收元件。此外, 对再现信号光微弱的光磁盘来说, 采用具有光电倍增作用的APD(雪崩硅光电二极管)作接收元件。因APD有大的附加反相偏压(100~200V), 由此引起雪崩倍增效应, 内部就有增益, 所以有高的信噪比, 具有动作速度比pin光电二极管快的优点^[3]。

三、临界角棱镜的参数确定

临界角棱镜对安装定位精度、半导体激光器的波长漂移都提出较高的限制要求。对其安装定位精度一般限制在1'~2'范围内。临界角棱镜材料选择原则是色散尽量小。倘若激光光源为半导体激光器, $\lambda = 830\text{nm}$, 临界角棱镜材料选用K₁₃玻璃。可根据下式求出对应830nm的K₁₃玻璃的折射率:

$$n^2 = A_0 + A_1\lambda^2 + A_2\lambda^{-2} + A_3\lambda^{-4} + A_4\lambda^{-6} + A_5\lambda^{-8}$$

$$n_{830} = 1.491651, n \sin \alpha = 1$$

$$\alpha = \sin^{-1}(1/n) = 42.09779^\circ = 42^\circ 5' 52''$$

$$\beta = 180^\circ - 2\alpha = 95.8044^\circ = 95^\circ 48' 16''$$

临界角棱镜的全反射面应镀制多层光强分光膜, 从而提高光能利用率。为满足该棱镜安装精度的需要, 通常将其侧面胶合固定在一个转盘上, 适量旋转转盘以调整好入射光线、棱镜、出射光线及探测器之间的定位关系。当然, 探测器在x、y二个方向上应有调整余量。

参 考 文 献

- [1] Earman A M, Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., 1982; 329
- [2] Bouwhuis G, Braat J J M, Appl. Opt., 1978; 17: 1993
- [3] Mansuripar M, Appl. Opt., 1986; 49: 19

作者简介: 陈海清, 男, 1947年出生。副教授。现从事激光光盘技术的研究。
常洋燕, 男, 1968年出生。硕士研究生。攻读方向: 光信息存储技术。

收稿日期: 1990年1月13日。 收到修改稿日期: 1990年3月15日。