

# 基片缺陷与磁光盘原始误码

曹丹华 吴裕斌 阮玉

(华中理工大学光电子工程系, 武汉 430074)

**摘 要** 分析了基片缺陷导致磁光盘产生原始误码的原因。首次建立了磁光盘读出光场与基片杂质特性的数学模型, 利用数值分析方法研究了读出信号畸变、误码长度与杂质特性的关系。分析结果表明, 一定大小的基片杂质是否产生误码, 与杂质距记录层的距离、杂质距读写光斑的距离以及读出阈值电平等因素有关。

**关键词** 磁光盘, 基片, 杂质, 误码, 信号畸变。

## 1 引 言

通常磁光记录膜通过溅射的方法沉积在玻璃或塑料基片上。基片性能好坏在很大程度上影响盘片质量, 带有杂质的基片是盘片产生误码的重要根源。其原因在于基片中的杂质改变了入射和反射光波场的分布, 致使信号能量衰减。在热磁记录过程中, 畸变的入射光场导致盘面记录磁畴特性变化, 该变化或表现为磁畴缩小或磁畴漏缺。磁畴记录特性变化在读出过程中体现为反射光偏振面旋转角度不足, 进而表现为信号能量衰减。另一方面, 在读出过程中, 入射光波场由于杂质影响, 到达盘面时其能量已有所衰减。该光场经盘面反射, 在返回途中再次遭杂质拦截, 光场能量会进一步损失, 致使读出信号能量产生较大衰减。

综上所述, 磁光盘读出信号能量衰减源于两方面原因: 不良的记录磁畴和读出光场能量损失。目前, 研究基片杂质与磁光盘误码的关系多采用实验手段。本文旨在利用傅里叶分析方法研究基片杂质导致盘片产生误码的机理。

## 2 读出光场数学模型的建立<sup>[1~4]</sup>

Nishiwaki 针对只读式光盘研究了基片杂质对记录、读出特性的影响<sup>[2]</sup>, 在分析过程中, 假设杂质为不透明体, 在一定程度上限制了分析范畴。本文针对磁光盘读出中的特殊性(反射场中同时存在 P 波和 S 波), 引入复反射比因子  $r_{s, \exp(i\delta)}$ , 运用光波衍射理论和傅里叶分析方法, 推导读出光场与基片杂质的数学关系式。为了更广泛地研究多种基片杂质(包括透明体和不透明体)对磁光盘读出光场的影响, 分别引入杂质透射率  $T_s$  和相位因子  $\Delta$ , 用于描述杂质对光场振幅和相位的调制作用。

图 1 给出了磁光盘读出过程中光波场的传播路径。光场经过基片入射到记录层, 杂质位

于基片内。图中坐标系  $(\xi, \eta)$ 、 $(x, y)$  和  $(u, v)$  分别代表物镜孔径面、杂质平面和记录平面, 杂质平面与记录面的距离为  $z$ , 记录面与孔径面的间距为焦距  $f$ 。描述杂质的特征参量为位置坐标  $(x_i, y_i, r_i)$  和半径  $r_s$ 。另外平面  $S_1 \sim S_5$  用于表示光波传播过程中经过的几个特殊平面, 其中  $S_1$ 、 $S_2$  分别代表紧贴物镜前、后的两个面,  $S_3$ 、 $S_4$  为紧靠杂质前后的两个面,  $S_5$  代表记录层表面和基片内表面。这里假设基片的透过率为 1 (不含杂质的区域), 且忽略基片的双折射效应。

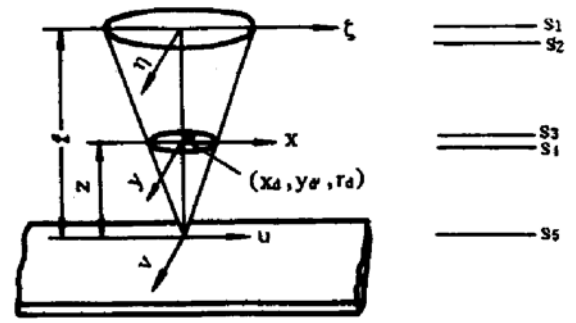


Fig. 1 Light propagation from the aperture plane to the recording plane and back

当物镜孔径半径为  $a_L$  时, 其光瞳函数可表示为:

$$f_L(\xi, \eta) = \text{circ}(\sqrt{\xi^2 + \eta^2}/a_L) \quad (1)$$

若杂质的透过率为  $T_i$ , 引入的相位差为  $\Delta$ , 则杂质的透过函数描述为:

$$f_i(x, y) = 1 - [1 - T_i \exp(i\Delta)] \text{circ}[(r - r_i)/r_s], \quad (2)$$

其中,  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ,  $r_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$ 。

设平面  $S_1$  上的复光场为二维高斯分布, 即

$$W_1(\xi, \eta) = \exp[-\pi(\xi^2 + \eta^2)/r_g^2] = \text{Gaus}(\xi/r_g) \text{Gaus}(\eta/r_g), \quad (3)$$

经三次傅里叶变换可导出平面  $S_5$  上的光波场  $W_5(u, v)$  为:

$$W_5(u, v) = \frac{1}{j\lambda z} \exp(ikz) \exp\left(ik \frac{u^2 + v^2}{2z}\right) F_{f_x, f_y} \left\{ W_3(x, y) \exp\left[ik \frac{x^2 + y^2}{2z}\right] \right\} \\ * F_{f_x, f_y} \left\{ 1 - [1 - T_i \exp(i\Delta)] \text{circ}\left(\frac{r - r_i}{r_s}\right) \right\}, \quad (4)$$

其中,  $f_x = u/\lambda z$ ,  $f_y = v/\lambda z$ 。

在磁光盘系统中, 入射光波场的能量集中在某一偏振方向(如  $P$  偏振方向)上。经盘片反射后, 由于盘片的磁光克尔效应, 原光场能量有一部分向另一偏振方向( $S$  偏振方向)转移, 两方向上能量之比与盘片克尔角  $\theta_k$  有关。尽管反射场中包含有两种偏振态, 在光波场返回途中, 对于某一偏振方向, 仍然可以采用前面的分析方法逐个导出平面  $S_4 \sim S_1$  上的光场分布。若  $W_{51}(u, v)$  和  $W_{52}(u, v)$  分别表示  $W_5(u, v)$  经盘面反射后的  $P$  光场和产生的  $S$  光场, 且有

$$W_{52}(u, v)/W_{51}(u, v) = r_{sp}(u, v) \exp[i\delta(u, v)] \quad (5)$$

其中,  $r_{sp}$ 、 $\delta$  分别为  $S$  波和  $P$  波振幅比和相位差, 则有

$$W_{4i}(x, y) = \frac{1}{j\lambda z} \exp(ikz) \exp\left(ik \frac{x^2 + y^2}{2z}\right) F_{f_x, f_y} \left[ W_{5i}(u, v) \exp\left(ik \frac{u^2 + v^2}{2z}\right) \right] \quad (6)$$

式中  $i = 1, 2$ 。

由两次傅里叶变换得到,

$$W_2(\xi, \eta) = \frac{1}{\lambda^2 f z} \exp[ik(f - z)] \exp\left(ik \frac{\xi^2 + \eta^2}{2f}\right) F_{f_\xi, f_\eta} \left\{ F_{-f_x, -f_y} \left[ W_{4i}(x, y) f_i(x, y) \right] \right. \\ \left. \times \exp\left(-ik \frac{x^2 + y^2}{2z}\right) \right\} \exp\left[ik(u^2 + v^2)\left(\frac{1}{2f} - \frac{1}{2z}\right)\right], \quad (7)$$

式中,  $f_\xi = \xi/\lambda f$ ,  $f_\eta = \eta/\lambda f$ 。且有,

$$W_{1i} = W_2(\xi, \eta) f_L(\xi, \eta) \exp[ik(\xi^2 + \eta^2)/2f]. \quad (8)$$

相应地, 读出光强  $I_s$  可表示为:

$$I_s(\xi, \eta) = [ |w'_{11}(\xi, \eta)|^2 + |W'_{12}(\xi, \eta)|^2 + 2|W'_{11}(\xi, \eta)|^2 |W'_{12}(\xi, \eta)|^2 \cdot \cos \delta(\xi, \eta) ] \cos^2 [\phi - \theta_s(\xi, \eta)] \quad (9)$$

其中,  $\theta_s(\xi, \eta) = \arctg [ |W'_{12}(\xi, \eta)| / |W'_{11}(\xi, \eta)| ]$ ,  $\varphi$  为检偏角。

读出信号功率  $P_s(T_d, \Delta, r_s, r_d)$  和畸变功率  $P_d(T_d, \Delta, r_s, r_d)$  为:

$$P_s(T_d, \Delta, r_s, r_d) = \iint I_s(\xi, \eta) d\xi d\eta, \quad (10)$$

$$P_d(T_d, \Delta, r_s, r_d) = P_s(1, 0, r_s, r_d) - P_s(T_d, \Delta, r_s, r_d). \quad (11)$$

参见(9)式, 式中相位因子  $\delta(\xi, \eta)$  表征磁光膜复反射性质和基片双折射效应。当基片各向异性较严重时, 读出信号光强将产生明显波动。除此之外,  $I_s(\xi, \eta)$  还与因子  $\theta_s(\xi, \eta)$  密切相关,  $\theta_s(\xi, \eta)$  取决于 S 波与 P 波振幅之比, 记录光场  $W_s(u, v)$  畸变越小,  $\theta_s(\xi, \eta)$  越接近于  $\theta_s$ , 反之  $\theta_s(\xi, \eta)$  越小。可以看到,  $\theta_s(\xi, \eta)$  实际表征着记录光场  $W_s(u, v)$  的畸变程度。

### 3 数值分析与结果讨论

定义信号衰减率为:

$$\varepsilon_s = [V_s - V(r_d, r_s)] / V_s,$$

其中  $V_s$  为无缺陷时的读出信号电平。

由数值分析得到信号衰减率  $\varepsilon_s$  与缺陷位置  $r_d$  的关系如图 2 所示, 其中  $z = 600 \mu\text{m}$ ,  $r_s = 120 \mu\text{m}$ 。在数值计算中发现对于  $0 \sim 1.2 \text{ mm}$  间的不同  $z$  值,  $\varepsilon_s$  随  $r_d$  变化的趋势相似, 即读出点离杂质中心越远, 读出信号畸变越小。

设盘面中满足如下关系式的区域为误码区域:

$$\varepsilon_s(r_d, r_s) > V_{TS},$$

则误码长度  $L_e$  与阈值  $V_{TS}$ 、杂质半径  $r_s$  的关系如图 3 所示。

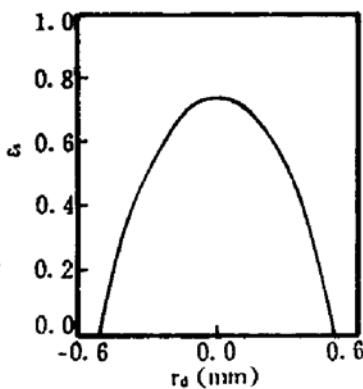


Fig. 2 Signal distortion as a function of  $r_d$

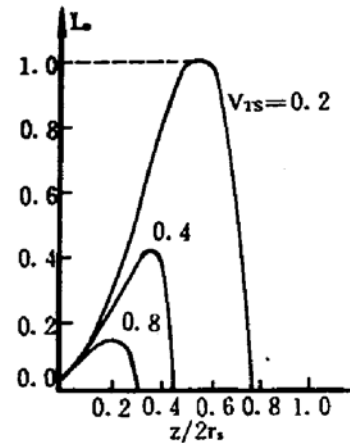


Fig. 3 Bit error length  $L_e$  as a function of normalized distance  $z/2r_s$  for various values of  $V_{TS}$

数值分析中发现(见图 3): 阈值  $V_{TS}$  越低, 某一缺陷产生的误码长度越宽, 对于某一阈值  $V_{TS}$  和杂质半径  $r_s$ , 存在特征值  $z_s$  (与该值对应的  $L_e$  最大)。当  $z > z_s$  时, 误码长度随  $z$  值增大 (对应于杂质逐渐远离记录面) 急剧缩短; 当  $z < z_s$  时,  $L_e$  随  $z$  值降低而减小。

这里有待指出, 缺陷位于基片内表面 (对应于  $z = 0 \text{ mm}$ ) 和基片外表面 (对应于  $z = 1.2 \text{ mm}$ ) 是两种较为特殊的情况。由数值分析结果发现, 缺陷位于上述特殊位置时是否对读写过

程产生严重影响,以至产生误码与缺陷自身的大小密切相关。位于基片外表面的较小缺陷由于远离焦平面一般对读写过程不产生严重影响,而位于外表面内的较大缺陷(如半径大于 1 mm)可能对读写过程产生严重影响,并导致误码。位于基片内表面的缺陷也可看为记录介质膜缺陷,它对读写过程的影响较大。当缺陷尺寸小于光斑尺寸时,缺陷位于基片内表面所产生的影响大于它位于基片外表面时的影响。

值得注意的是,当缺陷尺寸与光斑尺寸同量级时,由于衍射作用该缺陷对读写光场产生影响的最不利位置可能不在基片外表面,也不在基片内表面,而是位于基片内部且靠近记录层的平面内。如缺陷半径  $r_s$  为  $0.5 \mu\text{m}$  时(取  $V_{TS} = 0.2$ ),该缺陷产生最大误码长度  $L_s$  所处的位置  $z_s$  约为  $0.55 \mu\text{m}$ ;对于同一缺陷,取  $V_{TS} = 0.4$  时,对应的  $z_s$  约为  $0.36 \mu\text{m}$ ,这一规律在图 3 中有所体现。换句话说,  $1 \mu\text{m}$  大小的缺陷位于基片内表面时产生的误码长度为  $L_{s0}$ ,而同一缺陷位于  $z = 0.55 \mu\text{m}$  ( $V_{TS} = 0.2$ ),或  $z = 0.36 \mu\text{m}$  ( $V_{TS} = 0.4$ ) 处产生的误码长度为  $L_m$ ,则有  $L_m > L_{s0}$ 。

**结 论** 盘片自身存在缺陷(如介质缺陷、基片缺陷和预沟槽缺陷)是导致磁光盘产生原始误码的原因。本文针对主要缺陷形式之一——基片缺陷,研究了其对磁光盘读出过程的影响。研究结果表明:某一大小的基片缺陷是否产生误码取决于盘片记录层特性、杂质距记录层的距离、杂质距读写光斑距离以及阈值电平等多种因素。

### 参 考 文 献

- [1] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*. New York, McGraw-Hill, 1968:30~56
- [2] S. Nishiwaki, Dropout signal analysis for optical disk. *Appl. Opt.*, 1988, 27(16): 3511~3517
- [3] V. B. Jipson, C. C. Williams, Two-dimensional modeling of an optical disk read out. *Appl. Opt.*, 1983, 22(14): 2202~2209
- [4] E. O. Brigham, *The Fast Fourier Transform*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1974

## Analysis of the Relationships Between Substrate Defects and Bit Errors for Magneto-Optical Disks

Cao Danhua Wu Yubin Ruan Yu

(Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Sci. & Tech., Wuhan 430074)

(Received 23 July 1994; revised 14 February 1995)

**Abstract** The causes of substrate defects producing bit errors for magneto-optical disks are analysed, and the mathematical model for describing the relation of readout waveform distribution and the foreign substance contained in substrates is established. On the basis, an analysis of the relationships between readout signal distortion, bit error length and foreign substances is given by numerical method. It is shown that whether a foreign substance of some size causes bit errors or not depends on many factors, such as the distance of a foreign substance from the recording plane, and the distance of a foreign substance from the readout spot, as well as the readout threshold voltage.

**Key words** magneto-optical disk, substrate, foreign substance, bit error, signal distortion