

# 宽温环境下磁光盘瞬态温度场的研究

曹丹华 李再光

阮 玉

(激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

(华中理工大学光电子工程系, 武汉 430074)

**提要** 本文利用有限单元法, 在宽温环境(-20℃~+88℃)下, 对层状膜结构磁光盘的瞬态温度场进行了模拟, 着重分析了环境温度对磁光盘温度场的影响, 研究了不同环境温度下磁光盘记录灵敏度同记录光脉冲宽度的关系, 为进一步研究宽温环境下磁光盘的热磁记录和磁光读出特性提供了分析手段。

**关键词** 有限单元法, 热磁记录, 磁光存储, 瞬态温度场

## Analysis of instantaneous temperature distribution in magneto-optical films at different ambient temperatures

*Cao Danhua, Li Zhaiguang*

(National Laboratory of Laser Technology, Wuhan 430074)

*Ruan Yu*

(Dept. of Optoelectronic Engineering, Huazhong Univ. of Sci. & Tech., Wuhan 430074)

**Abstract** With finite-element method, numerical calculations of instantaneous temperature distribution in layered magneto-optical (MO) films are given. In the analysis, the emphasis is put on the ambient temperature dependence of temperature profile in layered structure, and the pulse duration dependence of minimum writing power is found at various ambient temperatures. The analysis presents an useful means to further study the characteristics of thermomagnetic recording and magneto-optical readout of MO disks used at different ambient temperatures.

**Key words** finite-element method, thermomagnetic recording, magneto-optical storage, instantaneous temperature distribution

### 1 引 言

磁光盘是新一代高密度、可擦除式信息存储媒体的代表, 其动态读出性能与热磁记录、磁光读出过程密切相关。研究磁光盘热磁记录和磁光读出特性的前提是建立记录介质层内的瞬

态温度场。有关磁光盘的瞬态温度特性国内外都曾有过报道<sup>[1-3]</sup>,但这些分析研究大都着重于分析特定温度下磁性层热学、光学特性、膜层结构对膜内温度场的影响。本文利用有限单元法建立了环境温度变化和磁光盘瞬态温度场的关系,为宽温磁光盘的研制及其动态性能的研究提供了理论基础。

## 2 瞬态温度场数学模型的建立

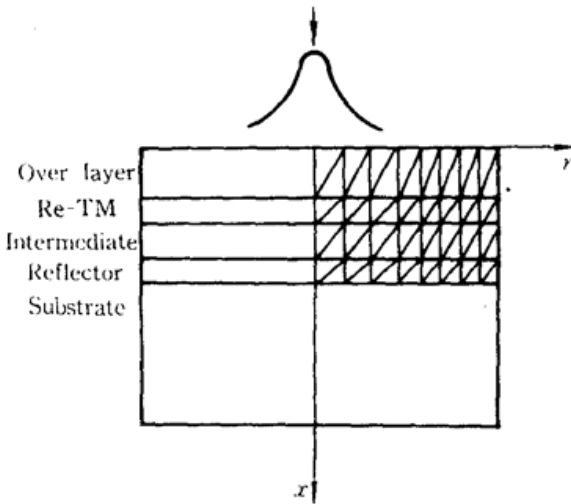


Fig. 1 Layered magneto-optical recording structure

$P_0$ : 第  $i$  层膜内的功率体积密度 ( $\text{W}/\text{m}^3$ );  $\Gamma$ : 物体边界;  $T_a$  环境温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $i=1, 2, 3, 4$  分别指保护层、Re-TM 层、中间层和反射层。

当膜面受到脉冲高斯光束照射时,磁性层中的功率体积密度可表示为

$$Q_2(x, r, t) = \frac{P_0}{\pi r_0^2} (1 - R) \beta \exp\left(-\frac{r^2}{r_0^2}\right) \exp(-\beta x) S(\tau) \quad (2)$$

$$S(\tau) = U(t) - U(t - \tau) = \begin{cases} 1, & 0 < t \leq \tau \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

其中,  $P_0$  为从激光器输出至膜面的光功率(简称为盘面功率);  $r_0$  为高斯光束半径;  $R, \beta$  分别为磁性层的反射率和吸收系数;  $\tau$  为光脉冲宽度。

其余各层内的功率体积密度可作为零处理。

利用有限单元法可求解如(1)式所示的偏微分方程。为使连续温度场离散化,可将整个温度场分为  $E$  个三角形单元和  $n$  个节点,对于某一单元  $e$ ,其三节点温度分别为  $T_i, T_j$  和  $T_m$ 。

设

$$J[T(x, r, t)] = k \left( r \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + r \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial T}{\partial r} \right) + Qr - \rho c r \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

由 Galerkin 加权余量法可知,对任一单元  $e$  有下式成立:

$$\begin{bmatrix} \partial J_e / \partial T_i \\ \partial J_e / \partial T_j \\ \partial J_e / \partial T_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{ii} & g_{ij} & g_{im} \\ g_{ji} & g_{jj} & g_{jm} \\ g_{mi} & g_{mj} & g_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ T_j \\ T_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{ii} & f_{ij} & f_{im} \\ f_{ji} & f_{jj} & f_{jm} \\ f_{mi} & f_{mj} & f_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial T_i / \partial t \\ \partial T_j / \partial t \\ \partial T_m / \partial t \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} p_i \\ p_j \\ p_m \end{bmatrix} \quad (4)$$

令

$$G_e = \begin{bmatrix} g_{ii} & g_{ij} & g_{im} \\ g_{ji} & g_{jj} & g_{jm} \\ g_{mi} & g_{mj} & g_{mm} \end{bmatrix}, \quad F_e = \begin{bmatrix} f_{ii} & f_{ij} & f_{im} \\ f_{ji} & f_{jj} & f_{jm} \\ f_{mi} & f_{mj} & f_{mm} \end{bmatrix}, \quad P_e = \begin{bmatrix} p_i \\ p_j \\ p_m \end{bmatrix}$$

矩阵  $G_e, F_e$  和  $P_e$  中各元素的含义参见附录,由附录可知,矩阵  $G_e$  和  $F_e$  与记录膜层的热学性

本文分析的磁光盘的膜层结构如图 1 所示。

由传热学理论可知,膜内各点温度  $T(x, r, t)$  满足如下热扩散方程:

$$\rho_i c_i \frac{\partial T(x, r, t)}{\partial t} = k_i \nabla^2 T(x, r, t) + Q_i(x, r, t), \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

边界条件为

$$-k \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\Gamma} = \alpha (T - T_a) |_{\Gamma}$$

$$T(x, r) |_{t=0} = T_0$$

其中,  $\alpha$ : 物质表面对流换热系数 ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ );  $\rho_i$ : 第  $i$  层膜的物质密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $c_i$ : 第  $i$  层膜的比热 ( $\text{J}/\text{kg}/\text{K}$ );  $k_i$ : 第  $i$  层膜的导热系数 ( $\text{W}/\text{m}/\text{K}$ );

$Q_i$ : 第  $i$  层膜内的功率体积密度 ( $\text{W}/\text{m}^3$ );  $\Gamma$ : 物体边界;  $T_a$  环境温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $i=1, 2, 3, 4$

质有关,  $P$ . 则反映外界条件和膜层自身物理性质。利用  $J$  取极值的条件

$$\frac{\partial J}{\partial T_l} = \sum_{l=1}^n \frac{\partial J_l}{\partial T_l} = 0, \quad l = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

可推得离散温度场  $T_1, T_2, \dots, T_n$  满足如下方程式 :

$$\begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1n} \\ g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n1} & g_{n2} & \dots & g_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \dots & f_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial T_1 / \partial t \\ \partial T_2 / \partial t \\ \vdots \\ \partial T_n / \partial t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

设  $T = [T_1 \ T_2 \ \dots \ T_n]^T$ ,  $\frac{\partial T}{\partial t} = \left[ \frac{\partial T_1}{\partial t} \ \frac{\partial T_2}{\partial t} \ \dots \ \frac{\partial T_n}{\partial t} \right]^T$ , 则由 Galerkin 差分格式可导出瞬态温度场的递推公式为

$$T_l = [(2G + (3/\Delta t)F)]^{-1}(2P_l + P_{l-\Delta t}) + [2G + (3/\Delta t)2F]^{-1}[(3/\Delta t)F - G]T_{l-\Delta t} \quad (7)$$

### 3 数值分析结果与讨论

采用数值分析法编写的程序可对不同材料组成的多层膜结构进行瞬态温度场模拟, 该程序可任意选择向后差分、Galerkin 差分和 Crank-Nicolson 差分三种算法之一, 也可选择固定步长或变步长方式。

计算中磁光盘各膜层的热学和光学特性如表 1 所示。

Table 1 Optical and thermal parameters of materials used in examples

Material	Reflectivity	Thermal Conductivity (W/m/K)	Density × specific heat ( $10^6 \text{ J/m}^3/\text{K}$ )
Overlayer (Intermediate)	0.04	1.5	1.9
Re-TM	0.50	40	3.2
Reflector	0.84	240	2.67
Substrate	0.04	1.1	2.1

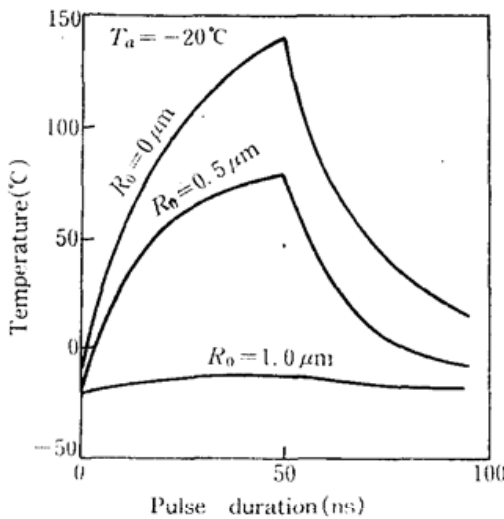


Fig. 2 Time dependence of the magnetic film's temperature at various radii, for ambient temperature of  $-20^\circ\text{C}$

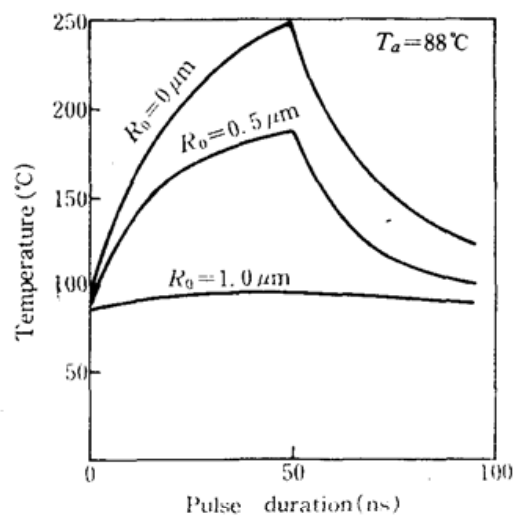


Fig. 3 Time dependence of the magnetic film's temperature at various radii, for ambient temperature of  $88^\circ\text{C}$

图 2 和图 3 给出了特定环境温度(在此也是盘片的初始温度)下,磁性层表面不同半径处

温度同光脉宽的关系。图 4 分析了不同环境温度下磁性层中心点温度随光脉宽变化的情况。计算中,盘面功率  $P_0$  为 5 mW,光斑半径  $r_0$  为  $0.5 \mu\text{m}$ 。

由图 2 和图 3 可知,不论环境温度为何值,膜面温度变化的趋势是一致的,受到激光照射后,膜面局部温度迅速上升,如中心点温升在 50 ns 时达  $160^\circ\text{C}$ ,又当激光器输出功率为零时,膜面中心点温度在随后的 50 ns 内急剧下降达  $130^\circ\text{C}$ 。另外也可看到,环境温度直接影响着膜面温度,膜层中各点温度随环境温度(加热以前的)升高而增高,或随环境温度下降而降低,这一特点在图 4 中得到了充分体现,在图中任意两条曲线上,任意两对应点间的温差等于对应的环境温度之差。

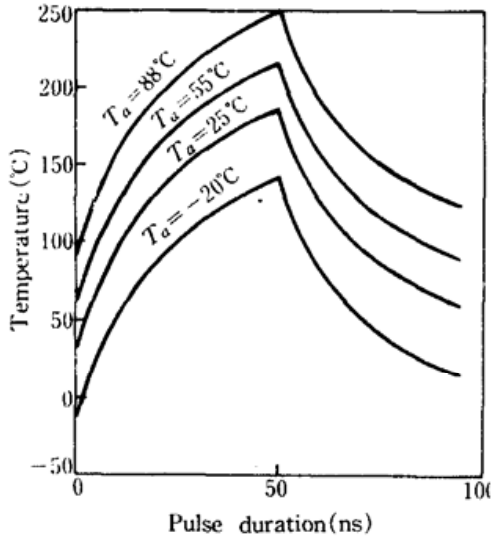


Fig. 4 Time dependence of the magnetic film's temperature for specific radius at various ambient temperatures

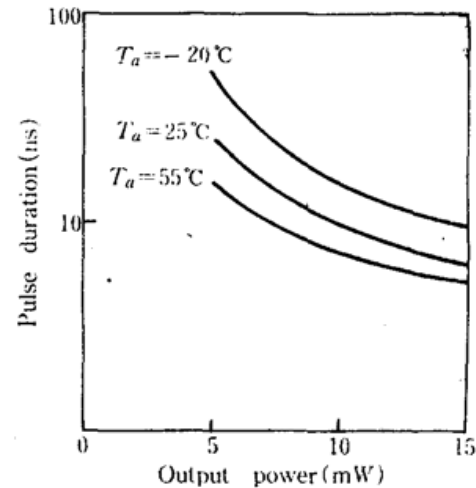


Fig. 5 Pulse duration dependence of minimum output power at various ambient temperatures

图 5 给出了不同环境温度下,盘面记录功率和光脉宽的关系。在此,膜面居里温度为  $130^\circ\text{C}$ ,要求记录信息直径为  $1 \mu\text{m}$ ,计算中膜面对流换热系数的取值为前面计算中取值的十分之一,且图 5 的横坐标为盘面功率  $P_0$ 。由图可知,环境温度为  $25^\circ\text{C}$ ,盘面功率为 5 mW 时,记录  $1 \mu\text{m}$  直径的信息,要求光脉宽达 24 ns,而当环境温度降至  $-20^\circ\text{C}$  时,若保持盘面功率不变且记录同等大小的信息,则需将光脉宽延长至 50 ns,这意味着数据传输速率将降低。若不想降低数据传输速率,则应提高盘面功率,如将  $P_0$  从 5 mW 提高至 8 mW,所需光脉宽可减至 20 ns。由此可知,在记录信息时,利用大功率窄脉冲光可得到较好的升温特性。另外,由图还可知,当环境温度升高时,若盘面记录功率不变,则应缩短光脉宽。

### 参 考 文 献

- 1 姜 奇,沈德芳,干福熹,光学学报,9(10),925(1989)
- 2 S. C. Shin, *J. Magn. & Magn. Matl.*, 61, 301(1986)
- 3 M. Mansuripur, G. A. N. Connell et al., *Appl. Opt.*, 21(6), 1106(1982)

## 附 录

$$\begin{aligned}
g_{ii} &= d(b_i^2 + c_i^2), \\
g_{jj} &= d(b_j^2 + c_j^2) + (\alpha S_i/4)(r_j + r_m/3), \\
g_{mm} &= d(b_m^2 + c_m^2) + (\alpha S_i/4)(r_m + r_j/3), \\
g_{ij} &= g_{ji} = d(b_i b_j + c_i c_j), \\
g_{im} &= g_{mi} = d(b_i b_m + c_i c_m), \\
g_{jm} &= g_{mj} = d(b_j b_m + c_j c_m) + (\alpha S_i/12)(r_j + r_m), \\
f_{ii} &= (S/30)\rho c(3r_i + r_j + r_m), \\
f_{jj} &= (S/30)\rho c(r_i + 3r_j + r_m), \\
f_{mm} &= (S/30)\rho c(r_i + r_j + 3r_m), \\
f_{ij} &= f_{ji} = (S/60)\rho c(2r_i + 2r_j + r_m), \\
f_{im} &= f_{mi} = (S/60)\rho c(2r_i + r_j + 2r_m), \\
f_{jm} &= f_{mj} = (S/60)\rho c(r_i + 2r_j + 2r_m), \\
d &= (k/12S)(r_i + r_j + r_m), \\
p_i &= (S/12)Q(2r_i + r_j + r_m), \\
p_j &= (S/12)Q(r_i + 2r_j + r_m) + (\alpha/3)S_i T_a(r_j + r_m/2), \\
p_m &= (S/12)Q(r_i + r_j + 2r_m) + (\alpha/3)S_i T_a(r_m + r_j/2), \\
b_i &= r_j - r_m \\
b_j &= r_m - r_i, \\
b_m &= r_i - r_j, \\
c_i &= x_m - x_j, \\
c_j &= x_i - x_m, \\
c_m &= x_j - x_i, \\
S &= (b_i c_j - b_j c_i)/2, \\
S_i &= \sqrt{b_i^2 + c_i^2}
\end{aligned}$$