

# 磁光型光盘存贮介质记录特性的研究

姜 奇

沈 德 芳

干 福 熹

(苏州大学物理系)

(中国科学院上海冶金所)

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

本文给出了激光热磁记录多层膜温度场分布求解的基本公式,由此评价了温度场分布对记录磁畴尺寸的影响,并以四层膜结构为例,得到了相应的数值解,有关的验证实验也同时完成,由此得到了降低记录激光功率的方案。

关键词: 极克尔转角, 居里温度。

## 一、引 言

磁光记录作为可擦除光盘记录方式具有存贮密度高、无接触、可靠性好等一系列优点<sup>[1]</sup>。作为磁光记录所使用的微聚焦激光束产生的瞬时热效应对磁光光盘的记录特性具有很大的影响, Mansuripur 等<sup>[2]</sup>曾对磁光盘的瞬态温度场分布作过讨论,给出了多晶 MnBi 材料的计算结果。本文从薄膜干涉的角度研究记录温度与各膜层厚度和折射率的关系,并讨论其对记录磁畴尺寸的影响。在实际的信息记录过程中, 较低的记录激光功率不仅有助于延长激光器的使用寿命, 而且还可以提高设备的经济效应及降低成本, 因此寻求降低记录激光功率对指导磁光光盘研究的实际应用颇有意义。

## 二、计算模型

磁光光盘通常是由吸收膜和电介质膜所组成的多层膜体系, 其各膜层折射率和厚度的变化将导致整个膜系的一系列薄膜光学特性发生变化。设记录激光束强度呈高斯型分布, 即

$$I(r, t) = I_0 \exp \left[ -\left( \frac{r}{r_0} \right)^2 \right] = \frac{P_0(t)}{\pi r_0^2} \exp \left[ -\left( \frac{r}{r_0} \right)^2 \right], \quad (1)$$

式中  $r_0$ 、 $P_0(t)$  分别入射激光束的高斯半径和能量时间函数。如图 1 所示的实例, 激光束射至  $z=0$  后, 深度  $z$  处被吸收的体积功率密度可分别表示为

磁光层中:

$$g(r, z, t, N_n, h_n) = I_0 \exp \left[ -\left( \frac{r}{r_0} \right)^2 \right] (1-R) \alpha_2 \exp [-\alpha_2(z-h_2)], \quad (2)$$

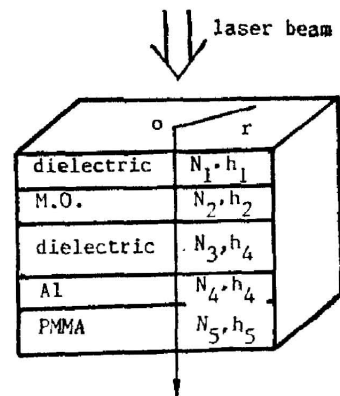


Fig. 1 Formation of the quadrilayer

反射层中:

$$g(r, z, t, N_n, \mathbf{h}_n) = I_0 \exp\left[-\left(\frac{r}{r_0}\right)^2\right] (1-R) \frac{R_0(N_4)}{R_0(BC^*)} \alpha_4 \exp\left[-\alpha_4\left(z - \sum_{i=1}^n h_i\right)\right], \quad (3)$$

其它层中的  $g=0$ 。式中  $N_n = (N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_n)$ ,  $\mathbf{h}_n = (h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n)$ ,  $N_i$ ,  $h_i$  分别为第  $i$  层介质的复折射率和厚度,  $\alpha_j (j=2, 4)$  为相应层介质的吸收系数,  $\lambda$  是激光束波长,  $B, C$  和反射率  $R$  可由下述的多层吸收膜系特征矩阵方程决定<sup>[3]</sup>

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} &= \prod_{j=1}^n \begin{bmatrix} \cos \delta_j & (i \sin \delta_j / \eta_j) \\ i \eta_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_{n+1} \end{bmatrix}, \\ R &= \left( \frac{\eta_0 B - C}{\eta_0 B + C} \right) \left( \frac{\eta_0 B - C}{\eta_0 B + C} \right)^* \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中  $\eta_j, \delta_j$  称为第  $j$  层介质的导纳和相位移。由(4)式可得反射相移

$$\phi = \arctan \left[ \frac{i \eta_0 (CB^* - BC^*)}{(\eta_0^2 BB^* - CC^*)} \right], \quad (5)$$

由此进一步可求得极克尔转角  $\theta_k = [(\phi_+ - \phi_-)/2]$ ,  $\phi_+, \phi_-$  代表对应于左、右旋偏振光的反射相移。决定信噪比  $(S/N)$  大小的品质因子  $F = \sqrt{R} \theta_k$ , 可由  $R, \theta_k$  的数值解可得  $F$ 。

设  $r, z$  处、 $t$  时刻多层膜内温度高于环境温度  $T_A$  的值为  $T(r, z, t, N_n, \mathbf{h}_n)$ , 同时假定多层膜表面由于热辐射原因而损失的热量近似正比于  $T(r, z, t, N_n, \mathbf{h}_n)$ , 则激光热磁记录多层膜系的热传导方程<sup>[4]</sup>和相应的边界条件和初始条件可写为

$$\begin{aligned} C_n \frac{\partial T(r, z, t, N_n, \mathbf{h}_n)}{\partial t} - \nabla \cdot [K_n \nabla T(r, z, t, N_n, \mathbf{h}_n)] \\ = g(r, z, t, N_n, \mathbf{h}_n), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\frac{\partial T(r, z=0, t, N_n, \mathbf{h}_n)}{\partial z} = \gamma T(r, z=0, t, N_n, \mathbf{h}_n), \quad (7)$$

$$T(r, z=\infty, t, N_n, \mathbf{h}_n) = T(r=\infty, z, t, N_n, \mathbf{h}_n), \quad (8)$$

$$T(r, z, t=0, N_n, \mathbf{h}_n) = F(r, z), \quad (9)$$

式中  $C_n, K_n$  分别为第  $n$  层介质的比热和热导系数,  $\gamma$  为比例系数,  $F(r, z)$  为初始温度分布, 本文中取为零。按数值计算中的交替方向隐式原理<sup>[5]</sup>, 设  $r = i \Delta r$ ,  $z = i \Delta z$ ,  $t = k \Delta t$ , 方程组(6)~(9)式中的  $T(r, z, t, N_n, \mathbf{h}_n)$  就转化为  $T_{i,j}^k$  形式, 其余类推。这样, 就可用数值方法解上述非线性偏微分方程。

按交替方向隐式原理, 在  $k \Delta t \rightarrow [k + (1/2)] \Delta t$  时间内,  $r, z$  方向温度的二阶导数分别用显式和隐式表示,  $r, z$  分别代表多层膜径向和纵向的坐标, 考虑到  $i=0$  时,

$$\frac{1}{i \Delta r} \frac{\partial T_{0,j}^k}{\partial r} = \frac{\partial^2 T_{i,j}^k}{\partial r^2}.$$

这样(6)式经复杂的运算, 得到

$$T_{i,j}^{k+(1/2)} = \alpha_1^{(i,j)} T_{i,j+1}^{k+(1/2)} + \alpha_2^{(i,j)}, \quad (10)$$

$$\alpha_1^{(i,j)} = \frac{\beta_2^{(j)}}{[\beta_0^{(j)} \alpha_1^{(i,j-1)} + \beta_1^{(j)}]}, \quad (11)$$

$$\alpha_2^{(i,j)} = \frac{[\beta_3^{(i,j,k)} - \beta_0^{(j)} \alpha_2^{(i,j-1)}]}{[\beta_0^{(j)} \alpha_1^{(i,j-1)} + \beta_1^{(j)}]}. \quad (12)$$

此即为  $k \Delta t \rightarrow [k + (1/2)] \Delta t$  时间内多层膜内各点温度计算的基本公式。其中(11)式、(12)

式中的递推系数与多层膜各膜层的热容量、热导系数、折射率和厚度等有关,对于一定的多层膜结构,这些递推系数是一定的,代入(10)式作运算后,即可求得多层膜内任意时刻、任意位置处的温度,从而可在理论上直接求出记录介质的温度场分布以及评价温度场对记录磁畴尺寸的影响。对  $[k+(1/2)]\Delta t \rightarrow (k+1)\Delta t$  时间内,  $r$ 、 $z$  方向温度的二阶导数分别用隐式和显式表示,类似于上述公式的推导,也可以得到相应的时间内多层膜的温度场分布。

### 三、数值计算结果及其分析

对四层膜 ( $n=4$ )  $\text{SiO}_2/\text{GdFe}/\text{SiO}_2/\text{Al}/\text{PMMA}$  结构实例,取  $r_0=4000\text{\AA}$ , 激光束波长  $\lambda=6328\text{\AA}$ 、由空气入射至增透膜,计算中所用到的光学和热学参数如表 1 所示。图 2 为计算所采用的激光能量时间函数\*。

Table 1 Optical and thermal parameters of the quadrilayer

material	thickness ( $\text{\AA}$ )	refractive index	specific heat ( $\text{J}/\text{cm}^3\cdot\text{K}$ )	thermal conducting coefficient ( $\text{J}/\text{cm}\cdot\text{K}\cdot\text{s}$ )
overcoat ( $\text{SiO}_2$ )	0—5600	1.0—2.3	2.0	0.015
recording layer (GdFe)	200	3.0—3.6 i	8.0 <sup>[6]</sup>	0.8 <sup>[6]</sup>
Intermediate ( $\text{SiO}_2$ )	0—5600	1.5	2.0	0.015
reflecting layer (Al)	300	1.2—6.9 i	2.7	2.4
Substrate (PMMA)	$\infty$	1.46	1.7	0.002

图 3 中曲线(a)忽略了光盘表面热量的损失,曲线(b)则计入了表面热量的损失 ( $\gamma=1.2\times 10^5\text{ cm}^{-1}$ )。由图 4 看出,在较高周期  $T_{\max}$  处,曲线(a)、(b)逐步重合,这就意味着较厚增透膜情况下,表面热量损失可以忽略。其  $T_{\max}$  比  $T_{\min}$  大约高  $130^\circ\text{C}\sim 140^\circ\text{C}$  左右。因此适当地选取增透膜的厚度,可以提高记录温度,从而达到降低记录激光功率的目的。由  $\theta_k$ 、 $R$  和  $F$  随  $h_1$  的关系曲线不难看出,在记录温度极大值附近处,能够使读出信号有较大的克尔转角  $\theta_k$  和理想的信噪比( $S/N$ )。

图 4 给出  $\gamma=0$  时,记录温度等随中间层厚度  $h_3$  的关系曲线,由图 4 可以看出,改变  $h_3$  使记录点温度极大时,其读出信号质量极差,因此欲提高记录温度又保持有较好的读出信号,以合适

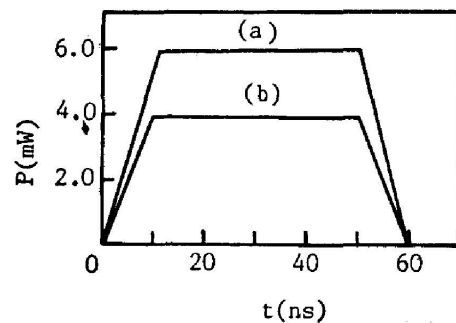


Fig. 2 Energy-time function (a)、(b) of the laser beam

\* 本文中如不加以说明,则表示采用图 2(a) 形式

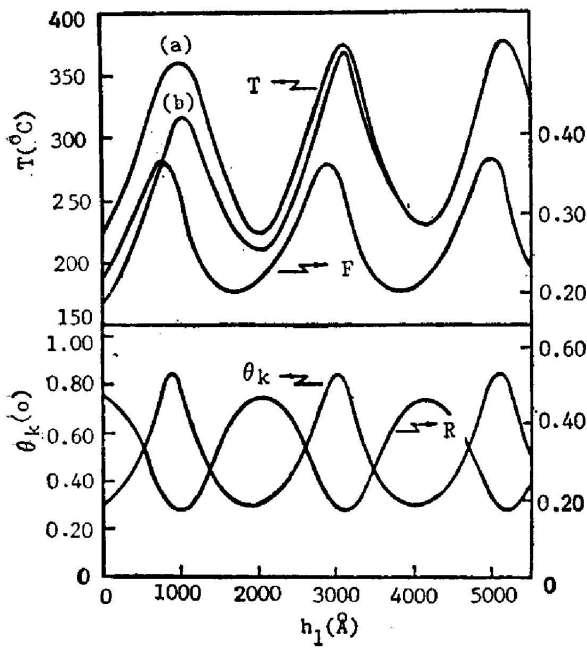


Fig. 3 Variation of recording temperature  $T$ , polar Kerr rotation angle  $\theta_k$ , reflectivity  $R$  and figure of merit  $F$  with the overcoat thickness  $h_1$  ( $N_1=1.5$ ,  $h_3=1500\text{\AA}$ ,  $t=50\text{ ns}$ )

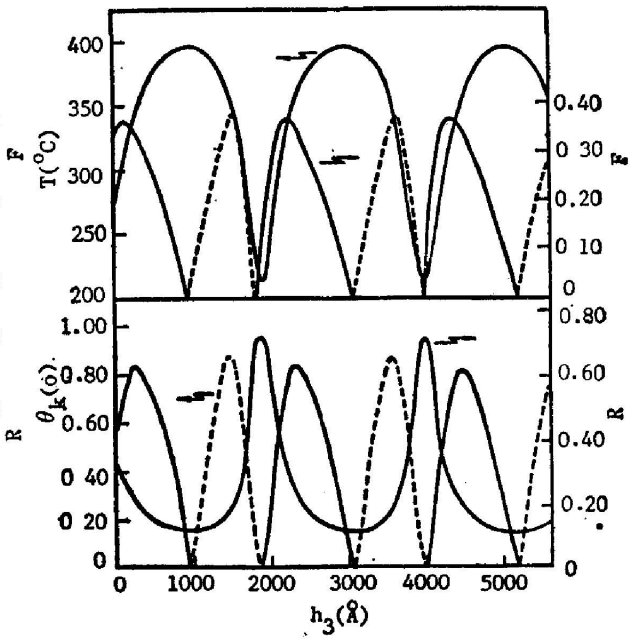


Fig. 4 Variation of recording temperature  $T$ , polar Kerr rotation angle  $\theta_k$ , reflectivity  $R$  and figure of merit  $F$  with the intermediate thickness  $h_3$  ( $N_1=1.5$ ,  $h_1=900\text{\AA}$ ,  $t=50\text{ ns}$ )

地选择增透膜厚度  $h_1$  的方法为宜(中间层厚度  $h_3$  一定)。

图 5 中不同的  $N_1$  等效于不同折射率的增透膜介质,  $N_1=1.0$  相当于无增透膜, 虚线代表不可实现的折射率值, 由图 5 可见,  $N_1=1.85$  时,  $T_{\max}=415^\circ\text{C}$ , 但  $F$  较小; 而  $N_1=1.7$  时,  $T$  较高( $400^\circ\text{C}$ )、 $\theta_k$  和  $F$  等也在极大值附近处, 有利于得到较高的记录温度和良好的信噪比。

图 6 讨论了反射率  $R$  较小( $h_1=900\text{\AA}$ , 合适的增透膜厚度)和  $R$  较大( $h_1=0\text{\AA}$ ) 时的情况。

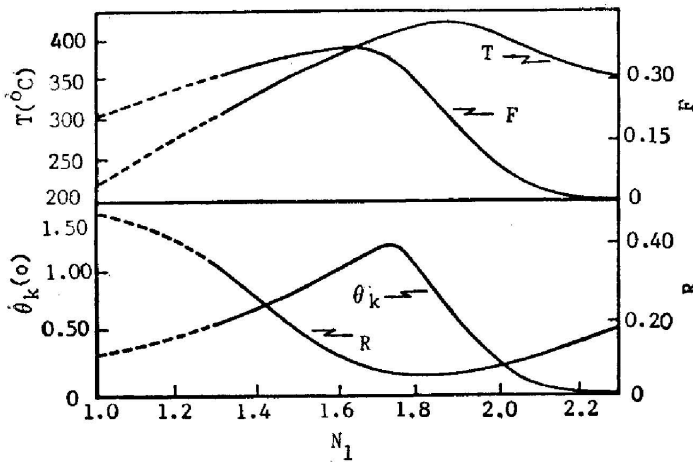


Fig. 5 Variation of recording temperature  $T$ , polar Kerr rotation angle  $\theta_k$ , reflectivity  $R$  and figure of merit  $F$  with the refractive index  $N_1$  ( $h_1=900\text{\AA}$ ,  $h_3=1500\text{\AA}$ ,  $t=50\text{ ns}$ )

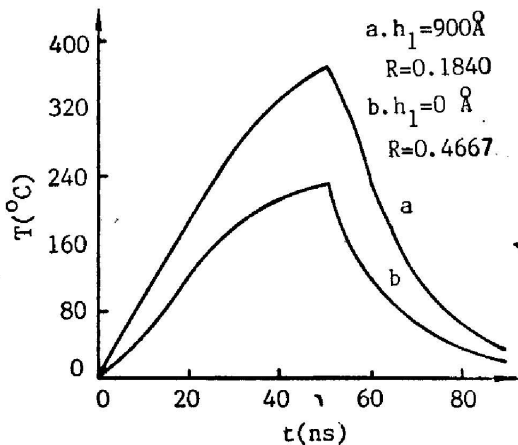


Fig. 6 Relationship between recording temperature  $T$  and laser duration time ( $N_1=1.5$ ,  $h_3=1500\text{\AA}$ )

况,此图表明,记录温度总在激光脉冲下降端处( $t=50\text{ ns}$ )达到极大,停止照射后, $T$ 就很快下降,趋于室温。由于GdFe介质的居里温度大约在 $190^\circ\text{C}\sim 220^\circ\text{C}$ <sup>[7]</sup>,当 $h_1=900\text{ \AA}$ 时, $T>T_c$ 的时间达 $40\text{ ns}$ ,因此可以达到降低记录激光功率的目的。

由图7可知, $t=50\text{ ns}$ 时, $T=360^\circ\text{C}$ ( $r=0$ 时),而 $r=0.3\text{ }\mu\text{m}$ 处, $T=220^\circ\text{C}$ ,此仍略大于GdFe介质的 $T_c$ ,因此大约有 $0.6\text{ }\mu\text{m}$ 直径的记录磁畴在 $t=50\text{ ns}$ 时实现反转;实际上,由于反转的磁畴尺寸不仅由记录温度是否高于居里温度决定,而且还受记录介质的矫顽力 $H_c$ 、附加场 $H_a$ 和退磁场 $H_d$ 的大小等因素影响,故实际反转的磁畴尺寸总是略大于上述的 $0.6\text{ }\mu\text{m}$ 。如采用图2(b)形式的激光束( $P_{\text{max}}$ 减小了 $2\text{ mW}$ ),经计算, $r=0.15\text{ }\mu\text{m}$ 时, $T=213^\circ\text{C}$ ,因此,仍有 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 直径的记录畴在 $50\text{ ns}$ 时实现反转。

通过计算得到了记录点温度与记录激光功率的关系曲线,结果表明, $T$ 与 $p$ 呈正比关系,这也意味着记录磁畴尺寸也与记录激光功率成正比关系,即当记录激光功率增加时,记录磁畴尺寸呈线性增大的趋势。

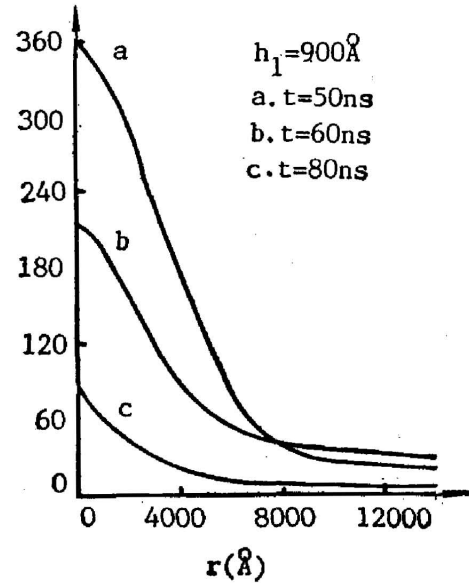


Fig. 7 Radial distributions of temperature profiles for the recording medium ( $N_1=1.5, h_3=1500\text{ \AA}$ )

#### 四、实验测量及其结果

由于RE-TM磁光介质具有相似的记录特性,我们对Glass/Si:N/TbFeCo/Si:N样品

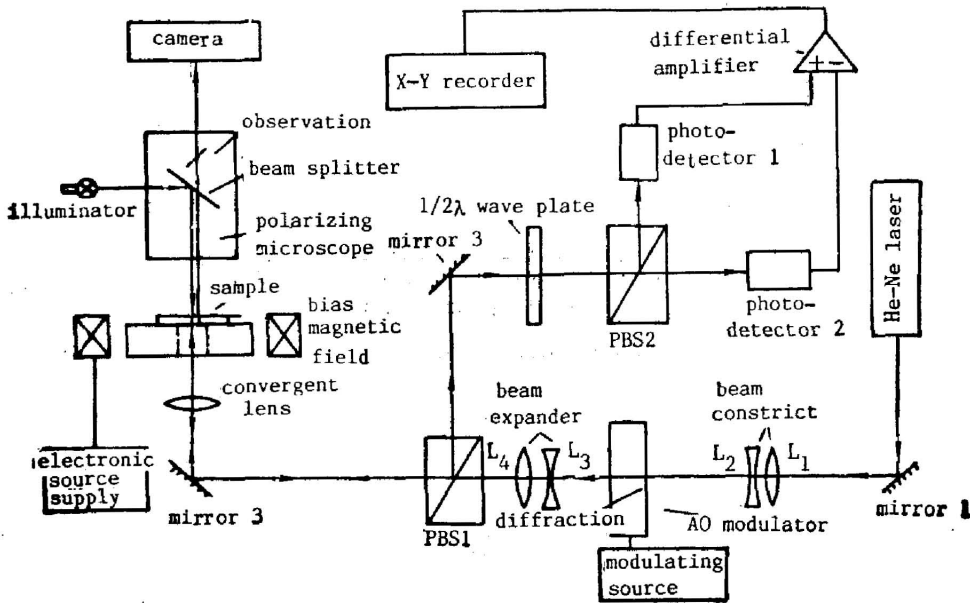


Fig. 8 Measuring device for static behavior of magneto-optic disks

进行了有关的实验,激光束由衬底入射至记录层上,测量装置如图 8 所示,图中的声光调制器用以控制记录时间的长短,记录磁畴大小可以在反射偏光显微镜下用测微目镜测量获得。图 9 为在上述样品上测得的记录磁畴尺寸和记录时间的实验曲线,记录激光功率恒定为 6.5 mW。此图表明:在一定记录激光功率下,增大记录激光束的脉冲时间,记录磁畴尺寸将会明显增大(即记录温度明显提高),与数值计算的图 6 规律相吻合。图 10 为记录时间恒定为 20  $\mu\text{s}$  时,在上述样品上测得的记录磁畴尺寸和记录激光功率的关系曲线,此图表明:记录磁畴尺寸随记录激光功率的增加呈线性增大趋势,与数值计算所呈现的规律是一致的。

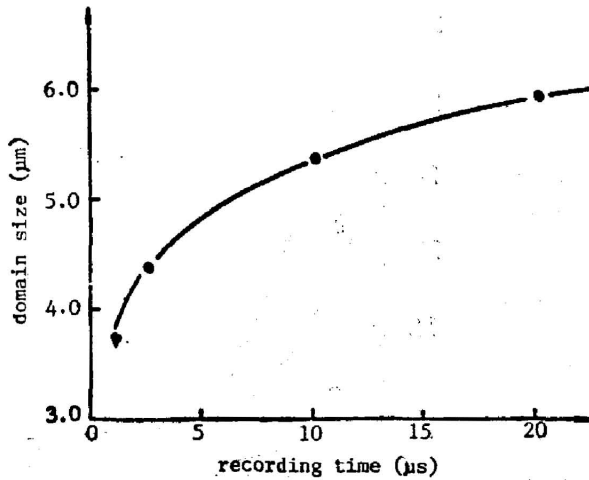


Fig. 9 Experimental diagram of recording domain sizes vs recording time

最后,我们在图 8 所示的测量装置上有增透膜和无增透膜(增透膜为  $\text{SiO}$ )两种情况,观察了记录磁畴尺寸的变化,激光由衬底方向入射,记录激光功率和记录时间均为 6.5 mW 和 46  $\mu\text{s}$ 。经实验观察可以测得:有增透膜的  $\text{TbFeCo}$  记录层上的记录磁畴直径为 3.28  $\mu\text{m}$ ;而无增透膜时记录磁畴直径则为 1.86  $\mu\text{m}$ ,两者相差 1.42  $\mu\text{m}$ ,此即意味着同样的记录功率和记录时间,对应于有合适厚度增透膜的磁光介质,能得到较高的记录温度,从而有利于降低记录激光功率。

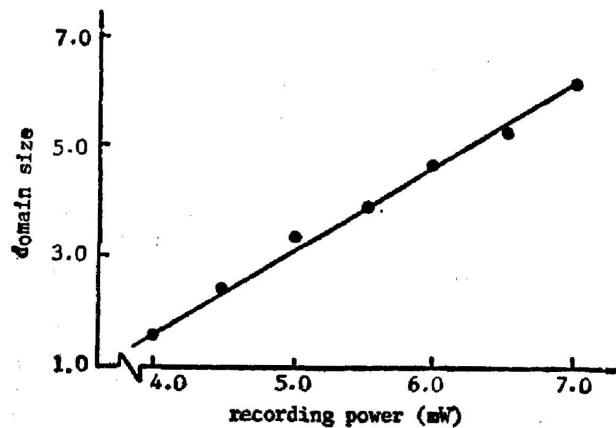


Fig. 10 Experimental diagram of recording domain sizes vs recording laser power

## 五、结 论

本文建立的计算模型,不仅可以方便地计算磁光光盘的瞬态温度场效应,而且可以优化磁光光盘结构及评价记录特性等。结果表明,合适的增透膜厚度或介质能有效地降低记录激光功率,同时保持优良的读出信号质量。

对中国科学院光盘联合实验室的王伟杰、王丽娟、杜腾达、俞祥游和余维嘉等同志在本工作实验上的协助并作有益的讨论,在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] 沈德芳, 樱井良文;《物理学进展》, 1983, 2, No. 4 (Dec), 435~453。
- [2] M. Mansuripur *et al.*; *Appl. Opt.*, 1982, 21, No. 6 (Mar), 1106~1114.
- [3] 唐晋发, 郑权;《应用薄膜光学》, (上海科学技术出版社, 1984), 49~51。
- [4] M. N. 奥齐西克;《热传导》, (高等教育出版社, 1983), 6~13。
- [5] G. Birkhoff *et al.*; *Alternation Direction Implicit Methods*, in *Advances Computers*, 1962, (Academic, New York).
- [6] M. K. Bhattacharyya *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1985, 57, No. 8 (Apr), 3894~3896.
- [7] N. Heiman *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1976, 47, No. 6 (Jun), 2634~2638.

## Recording characteristics of storage media for magneto-optic disks

JIANG QI

(Department of Physics,  
Suzhou University)

SHEN DEFANG

(Shanghai Institute of Metallurgy,  
Academia Sinica)

GAN FUXI

(Shanghai Institute of Optics and  
Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 21 September 1988; revised 13 April 1989)

### Abstract

The basic formulae of laser induced temperature profiles for thermomagnetic recording are given in this paper, and effects of the temperature profiles on recording domain size are evaluated. With the quadrilayer as an example, some numerical solutions are presented. Some related experimental results are obtained. So a practical program for lowering the recording laser power is figured out.

**Key words:** Polar Kerr rotation angle; Curie temperature.