

磁光盘系统中偏振光能量传递的计算

陈仲裕 甘柏辉 俞敦和
(中国科学院上海光机所, 201800)

摘要: 本文通过对磁光盘系统中偏振光能量传递的计算, 研制了实验光路。实验结果表明, 理论计算和实验数据一致。

关键词: 光盘, 偏振光

Calculation of energy transfer of polarization light in magneto-optical disk system

Chen Zhongyu, Gan Baihui, Yu Dunhe

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

Abstract: This paper introduces a calculated process of the transfer of the polarization light in the magneto-optical disk system. The experimental result shows that the theoretical calculation and the experimental data are coincident.

Key words: optical disk, polarization light

在磁光盘系统中, 磁光薄膜的激光热磁记录是基于光-磁相互作用的极克尔效应。对于垂直磁化状态不同的磁畴——垂直向上或向下的磁畴, 其偏振面的旋转角为 ϕ'_{kc} 或 $-\phi'_{kc}$ 。一般由此效应产生的磁光旋转角很小, 给信号接收带来很大困难。通过对光能传递的计算, 优化系统的光路设计和调整, 来提高信号检测的灵敏度和读出载噪比。

一、磁光盘系统中光路的偏振态分析

磁光盘系统的原理光路示于图1。当线偏振光 e_{p0} 通过偏振分束器 PBS_1 , 并从磁光样品反射后, 变成了椭圆偏振光。返回的光束再由 PBS_1 反射, 通过 $1/2$ 波片, 到第二个偏振分束器, 由它产生的 P 分量和 S 分量光作为信号差分检测的输入。这里 e_{p0} 是入射的 P 线偏振光

$\begin{bmatrix} 0 \\ e_{p0} \end{bmatrix}$, 而偏振分束器的反射、透射矩阵分别为

$$r = \begin{bmatrix} r_s & 0 \\ 0 & r_p \end{bmatrix}$$
$$t = \begin{bmatrix} t_s & 0 \\ 0 & t_p \end{bmatrix}$$

(3)

当偏振分束器分开 P 分量和 S 分量时,

$$r = \begin{bmatrix} e^{i\delta_s} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

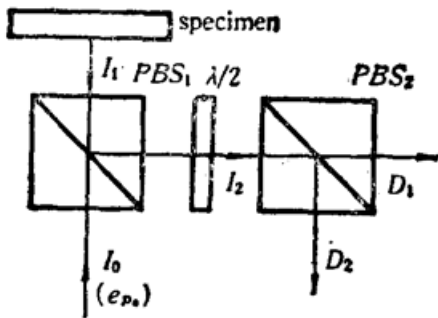


Fig. 1 Optical path schematic of static test

$$t = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & e^{i\delta_p} \end{bmatrix} \quad (2)$$

1/2 波片的琼斯矩阵在与 P 分量成 $\pi/8$ 夹角时,

$$p = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ -1 & +1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

于是, 进入探测器 D_1 和 D_2 的光振幅可由如下的矩阵方程式得到^[1]

$$A_1 = t_2 p r_1 m t_1 e_{p0}$$

$$A_2 = r_2 p r_1 m t_1 e_{p0} \quad (4)$$

其中 m 为磁光膜的反射矩阵式, 且为^[2]

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (n-1)/(n+1) & \epsilon_2/n(n+1)^2 \\ \epsilon_2/n(n+1)^2 & -(n-1)/(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & K \\ K & -R \end{bmatrix} \quad (5)$$

这里 ϵ 是介电张量, R 是反射光振幅, K 是波矢量, 考虑到 PBS_2 仅透射 P 分量光和全反射 S 分量光, 所以

$$\begin{aligned} A_1 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & e^{i\delta_{p2}} \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{s1} & 0 \\ 0 & r_{p1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & K \\ K & -R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{s1} & 0 \\ 0 & t_{p1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ e_{p0} \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} t_{p1} e_{p0} (-r_{s1} K - r_{p1} R) e^{i\delta_{p2}} \\ A_2 &= \begin{bmatrix} e^{i\delta_{s2}} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{s1} & 0 \\ 0 & r_{p1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & K \\ K & -R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{s1} & 0 \\ 0 & t_{p1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ e_{p0} \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} t_{p1} e_{p0} (-r_{s1} K + r_{p1} R) e^{i\delta_{s2}} \end{aligned} \quad (6)$$

这里 $r_{s1} = |r_{s1}| e^{i\delta_{s1}}$; $r_{p1} = |r_{p1}| e^{i\delta_{p1}}$; 并设 $R = |R| e^{i\alpha}$; $K = |K| e^{i\beta}$, $|K|^2 \approx 0$ 。则上式的光强为

$$\begin{aligned} I_{A1} &= |A_1|^2 = \frac{1}{2} |t_{p1}|^2 |e_{p0}|^2 \\ &\quad \times [|r_{p1}|^2 |R|^2 + 2 |r_{s1}| |K| |r_{p1}| |R| \cos(\delta_{p1} - \delta_{s1} + \alpha - \beta)] \end{aligned} \quad (7)$$

当 $\delta_{p1} - \delta_{s1} = n\pi$, n 为整数时, 根据^[3]

$$\phi'_k \approx -\text{Im} \frac{K}{R} = \frac{|K|}{|R|} \sin(\alpha - \beta)$$

$$\epsilon_K \approx -\text{Re} \frac{K}{R} = -\frac{|K|}{|R|} \cos(\beta - \alpha)$$

其中 Im 和 Re 分别表示虚部与实部。于是

$$I_{A1} = \frac{1}{2} |t_{p1}|^2 |e_{p0}|^2 |r_{p1}|^2 |R|^2 + |e_{p0}|^2 |t_{p1}|^2 |r_{s1}| |r_{p1}| |R|^2 \text{ctg}(\alpha - \beta) \phi'_k \quad (8)$$

式中的第一项是直流部分, 第二项则包含了信号部分。同样

$$I_{A2} = |A_2|^2 = \frac{1}{2} |t_{p1}|^2 |e_{p0}|^2 |r_{p1}|^2 |R|^2 - |e_{p0}|^2 |t_{p1}|^2 |r_{s1}| |r_{p1}| |R|^2 \text{ctg}(\alpha - \beta) \phi'_k \quad (9)$$

考虑到差分输出, 设磁畴方向垂直向上时为“+”, 垂直向下时为“-”, 则

$$\begin{aligned} I_+ &= (I_{A1} - I_{A2})_+ = 2 |e_{y0}|^2 |t_{p1}|^2 |r_{s1}| |r_{p1}| |R|^2 \operatorname{tg}(\alpha - \beta) \phi'_k \\ I_- &= (I_{A1} - I_{A2})_- = 2 |e_{y0}|^2 |t_{p1}|^2 |r_{s1}| |r_{p1}| |R|^2 \operatorname{tg}(\alpha - \beta) (-\phi'_k) \end{aligned} \quad (10)$$

于是磁光盘写入前后的信号变化为

$$\delta = I_+ - I_- = 4 |e_{y0}|^2 |t_{p1}|^2 |r_{s1}| |r_{p1}| |R|^2 \operatorname{tg}(\alpha - \beta) \phi'_k \quad (11)$$

一般来说, 随着写入功率的提高、材料反射率和克尔旋转角的增大, 差分信号输出是变大的。但是, 由于磁光材料本身的性质(例如稀土-过渡族金属磁光介质), 过高的写入功率会使介质的饱和磁化强度下降, ϕ'_k 减小, 从而使差分信号反变小。而对 PBS_1 元件来说, 当 $|r_{s1}|^2 = 1$ (即 $|r_{s1}| = 1$) 时, 并注意到 $|r_{p1}| = [1 - |t_{p1}|^2]^{1/2}$, 则通过对(11)式求导, 结果是差分信号变化为最大时, $|r_{p1}|^2 = 1/3$; $|t_{p1}|^2 = 2/3$ 。

二、磁光盘系统中能量传递的计算

如图 1 所示, ϕ'_k 仍为磁光旋转角, I_0 为输入功率, T_{p1} , R_{p1} 和 T_{s1} , R_{s1} 分别为 PBS_1 上 P 光和 S 光的透过率和反射率。磁光材料的反射率为 R_m 。于是材料反射后的功率 I_1 为

$$I_1 = I_0 \cdot T_{p1} \cdot R_m \quad (12)$$

其振幅 $e_1 = (I_0 \cdot T_{p1} \cdot R_m)^{1/2} = e_{p0} \cdot t_{p1} \cdot r_m$, 它由

$$\begin{cases} e_p = e_1 \cos \phi'_k \\ e_s = e_1 \sin \phi'_k \end{cases} \quad (13)$$

组成, 当它们经过 PBS_1 反射后, 分别为

$$\begin{cases} e_{p1} = e_p \cdot r_{p1} \\ e_{s1} = e_s \cdot r_{s1} \end{cases} \quad (14)$$

这时

$$\operatorname{tg} \theta_k = \operatorname{tg} \phi'_k \cdot r_{s1} / r_{p1} \quad (15)$$

$|r_{s1}| / |r_{p1}| = \beta_k$ 为磁光旋转角的放大系数, 示于图 2。根据(13)~(15)式, 有

$$I_2 = I_1 \cdot R_{s1} \cdot (\sin \phi'_k / \sin \theta_k)^2 \quad (16)$$

当位相板(1/2 波片)主截面相对于 y 轴方向转动 α 角时, 经过 PBS_2 后($T_{p2} = 1$, $R_{s2} = 1$) 的差分输出信号为

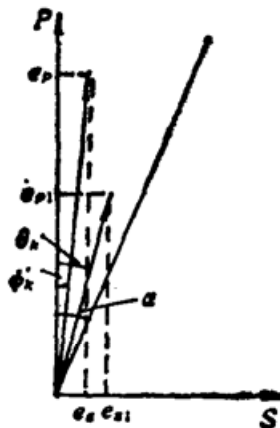


Fig. 2 Angle of the polarization plane increased by the beam splitter

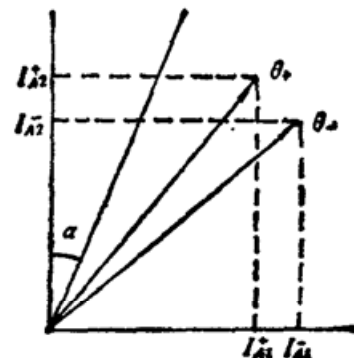


Fig. 3 Schematic of differential detector $\theta_{k,-}$: rotated by phase plate

$$\delta = (I_{A1} - I_{A2})_+ - (I_{A1} - I_{A2})_- \quad (17)$$

示图 3, 得

$$\begin{aligned} \delta &= [\cos^2(2\alpha - \theta_k) - \sin^2(2\alpha - \theta_k) - \cos^2(2\alpha + \theta_k) + \sin^2(2\alpha + \theta_k)] \cdot I_2 \\ &= 2 \sin 4\alpha \sin 2\theta_k \cdot I_2 \end{aligned} \quad (18)$$

当 $\alpha = \pi/8$ 时,

$$\delta = 2 \sin 2\theta_k \cdot I_2 \quad (19)$$

根据 (12) ~ (16) 式, 上式也可写成

$$\delta = 2I_0 R_m \sin 2\phi'_k \cdot (T_{p1}^2 - T_{p1}^3)^{1/2} \quad (20)$$

假设其它参数一定, 只考虑差分输出与透过率 T_{p1} 的关系, 则图 4 表示, 当 $T_{p1} \approx 67\%$ 时, 输出为最大。同样, 对 (20) 式求导所得结果相同。图 5 表示随着偏振分束器 PBS_1 上 P 分量透过率的提高, 反射后的旋转角增加, 将有利于信号的探测, 但其最终还将受到图 4 关系的约束。

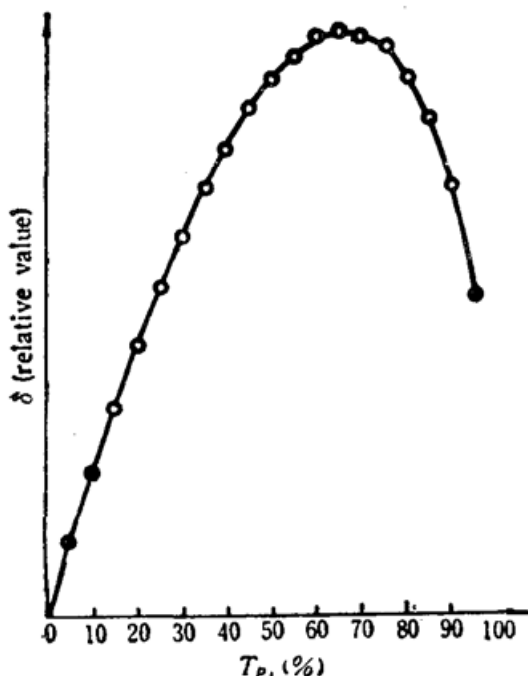


Fig. 4 Transmissivity T_{P1} vs differential signal values

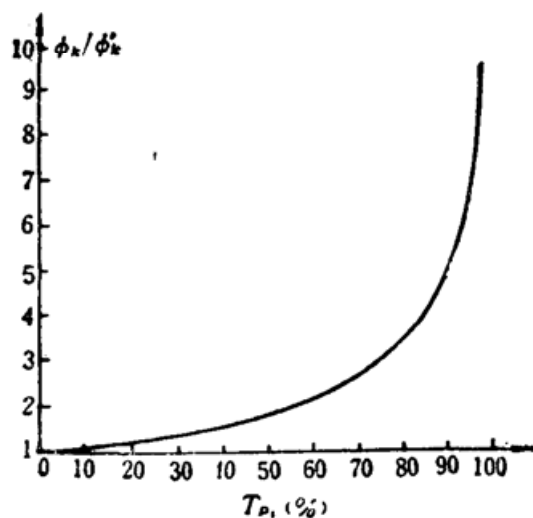


Fig. 5 Transmissivity T_{P1} vs increment of Kerr rotating angle

三、数值计算与实验结果

作为一个例子, 磁光样品的克尔旋转角为 0.3° , 反射率为 20% , 读的功率为 1.4 mW , PBS_1 的 $T_{p1} = 67\%$, $R_{s1} = 100\%$, 这时从上述各式得到

$$\begin{aligned} \theta_k &\approx \phi'_k \cdot 1 / (1 - T_{p1})^{1/2} = 0.52^\circ \\ I_2 &\approx 0.063 \text{ mW}; \\ I_{A1}^+ &\approx 0.032 \text{ mW}; \quad I_{A2}^+ \approx 0.031 \text{ mW}; \\ I_{A1}^- &\approx 0.031 \text{ mW}; \quad I_{A2}^- \approx 0.032 \text{ mW}; \\ \delta &\approx 2 \times 10^{-3} \text{ mW}. \end{aligned}$$

在实际光路中, 一些光学元件将衰减光能, 经测量, 计算值不大于测量值的 10% 。由于光

电接受管的灵敏度 $\eta=0.5\mu\text{A}/\mu\text{W}$, 负载 $\Omega=50\Omega$, 线路的放大倍数 $k=2.0\times 10^4$ 。所以差分输出值为

$$\bar{V}=\delta\cdot\eta\cdot\Omega\cdot k\approx 1 \quad (\text{V}) \quad (21)$$

在采用了上述光路的实验装置中, 由计算机处理的差分输出信号经打印机输出如下:

(3) SINGLE WRITE TEST

SAMPLE No: 5121 1989. 08. 25.
 1. LPTC : 25 % 2. MF : 400 Oe
 3. PRP : 15 % 4. RPW : 100 ns
 5. WP : 100 % 6. WPW : 500 ns

No.		WP mW	DRP mW	O. A.	P. V.
00	I_+	0.00	9.49	88.4	00
01	I_-	9.49	9.49	130.9	45

CHAGE THE POLE OF DC MAGNETIC FIELD? (Y/N): Y

(3) SINGLE WRITE TEST

SAMPLE No: 5121 1989. 08. 25.
 1. LPTC : 25 % 2. MF : -400 Oe
 3. PRP : 15 % 4. RPW : 100 ns
 5. WP : 100 % 6. WPW : 500 ns

No.		WP mW	DRP mW	O. A.	P. V.
00	I_+	0.00	9.48	131.9	00
01	I_-	9.48	9.48	90.0	-44

这是由一个单次写入和擦除的程序执行的。LPTC 表示了这台仪器的透过系数, 在仪器的输入端配有激光功率监测器, 通过换算可以知道落在样品表面的最大功率大小 (DRP)。外磁场 $MF=40\text{mT}$ ($1\text{mT}=10\text{G}$), 写入与擦除的功率 $WP=9.49\times 100\% \text{mW}$, 读的功率 $PRP=9.49\times 15\%=1.4\text{mW}$, 读的脉宽 $RPW=100\text{ns}$, 写入与擦除脉宽 $WPW=500\text{ns}$, O. A. 是写入(或擦除)前后的差分信号, P. V. 是 δ 的实际电压表示值。P. V. =1 近似表示 20mV , 它是由 TTL 电平 (5V) 等分 256 所得。故这里打印机输出的 $P. V. =20\times 45=900\text{mV}$, 与计算值基本相符。打印结果的上半部分表示磁光材料的写入, 下半部分则表示了在外磁场方向改变后擦除的数据。可以看出, 写入的信息基本被擦除了。

本工作得到了干福熹研究员的关心和指导。所有的磁光材料样品均由中国科学院上海冶金所提供, 对此均表示感谢。

参 考 文 献

- 1 T. D Milster, *Proc. SPIE*, **1166**, 355 (1989)
- 2 Jan Smit, *Magnetic Properties of Materials*, New York, 149 (1971)
- 3 J. Frsiser, *IEEE transactions on magnetics*, May-4, 152 (1968)