

# 双光束磁光存贮中信号读出的偏振态分析

王 荣 张国轩 李锡善 干福熹

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

**摘 要** 利用琼斯矩阵分析了双光束磁光存贮中信号读出系统偏振态的传输情况, 推导了读出信号的表达式, 分析了偏振分束镜与光盘盘基的相位延迟对读出信号的影响。

**关键词** 相位延迟, 偏振, 琼斯矩阵, 磁光克尔效应。

## 1 引 言

光存贮技术极大地提高了信息存贮的容量和密度, 因此它在声像多媒体技术、计算机、通信等需要大容量、高速度数据存贮与传输的领域中具有广泛的应用前景。目前, 实用的可擦除与可重写的光存贮技术主要包括磁光存贮和相变光存贮两种。磁光存贮介质具有可擦除、载噪比高、介质寿命长、能实现直接重写等性质, 因此特别适合于作计算机外存贮设备。磁光存贮技术近年来得到了较多的研究和开发。

磁光存贮信号读出的原理是磁光克尔效应, 即当偏振光垂直入射到磁化方向与入射光平行或反平行的磁畴并反射时, 其偏振面要转动一个克尔角  $\theta$ 。克尔角一般很小, 约为  $0 \sim 0.04$  rad, 为提高读出信号的幅度及对克尔角变化的灵敏度, 必须设计最佳的信号读出系统<sup>[1, 2]</sup>。在磁光存贮中, 用琼斯矩阵来分析系统的读出信号、载噪比、双折射效应等十分方便和有效<sup>[3~9]</sup>。本文用琼斯矩阵分析了一套双光束磁光存贮中信号读出系统的偏振态传输情况, 并推导了读出信号的表达式。偏振分束镜、光盘盘基等对偏振光有相位延迟作用, 本文分析了它对读出信号的影响。对如何选择偏振分束镜等光学元件的参数也作了分析。

## 2 双光束磁光存贮系统的描述

在磁光动态测试实验中设计了一套双光束磁光存贮系统, 如图 1 所示。两束光中, 一束是功率较高的信号写入与擦除光束; 另一束是功率较低的信号读出光束。写光束与读光束同时聚焦于磁光盘的记录层, 并且读光束紧跟在写光束之后, 两束光在记录层的距离约为  $50 \mu\text{m}$ 。该磁光存贮系统最突出的优点是在写入信息之后, 能够立即读出该信息, 因此该系统可以不用道跟踪伺服, 而只需要聚焦伺服就能够测试磁光盘的存贮密度、误码率、载噪比、介质寿命等光盘的各项性能指标。该系统的另一个特点是可以测试有预刻槽和无预刻槽的磁光盘。

图 1 中, 从激光器出射的线偏振光束经半波片  $P_1$  入射到偏振分束镜  $PBS_1$ , 其透射光作为写、擦光束, 反射光作为读光束。读、写光束在分别经平面镜  $M_1$ 、 $M_2$  反射后, 再在偏振分束镜  $PBS_2$  处会合, 并经偏振分束镜  $PBS_3$  与光学物镜系统聚焦于光盘记录层。经光盘反射后, 按原路返回到  $PBS_3$ , 再经  $PBS_3$  反射后, 其中写光束被光阑挡住, 读光束入射到偏振分束镜  $PBS_4$ , 其透射光作为光盘聚焦伺服系统的伺服信号; 反射光经半波片  $P_2$  后, 入射到偏振分束镜  $PBS_5$ , 其反射光与透射光分别被光电信号探测器 A 与 B 所接收。A、B 的差分输出信号就是磁光读出信号。

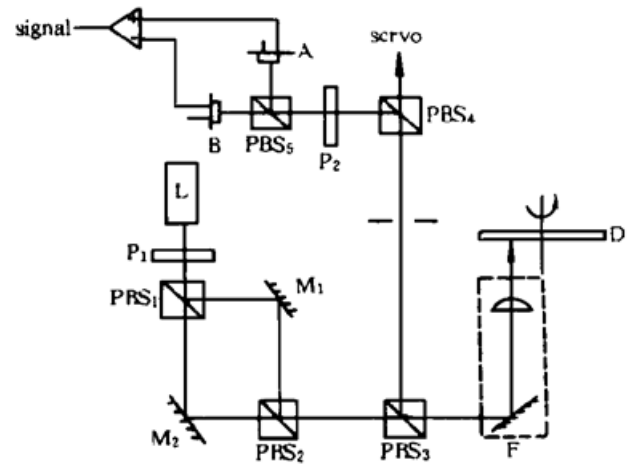


Fig. 1 Dual-beam magneto-optical storage system  
L: laser, P: half wave plate, PBS: polarize beam splitter, M: mirror, F: focus objective system, D: magneto-optical disk, A, B: detector

### 3 信号读出系统的琼斯矩阵分析

在分析系统的偏振态时, 只需考虑偏振器件, 包括半波片 P、偏振分束镜 PBS、磁光盘等的作用。而平面镜、光学物镜系统等都不改变光束的偏振态, 因此略去不考虑。并设光束在传输过程中没有能量损失, 这并不影响本文分析的适用性。

设光波的 P 分量平行于  $x$  轴, S 分量平行于  $y$  轴, 则快轴与  $x$  轴的夹角为  $\beta$  的石英晶体半波片的琼斯矩阵为

$$J_p = \begin{bmatrix} \cos 2\beta & \sin 2\beta \\ \sin 2\beta & -\cos 2\beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

当偏振光入射到磁光记录膜层的记录畴并反射时, 光的偏振面要转动克尔角  $\theta$ , 且线偏振光变为椭圆偏振光, 其椭圆率角为  $\epsilon$ 。本文以采用单层 TbFeCo 记录膜的磁光盘为分析对象, 因此磁光记录膜的琼斯矩阵表示为

$$J_{mo} = \begin{bmatrix} 1 & -(\theta + i\epsilon) \\ \theta + i\epsilon & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

由于光盘盘基具有双折射效应, 因此对偏振光有相位延迟效应。设其相位延迟为  $\delta_d$ , 则盘基的琼斯矩阵表示为

$$J_{sub} = \begin{bmatrix} \exp(-i\delta_d/2) & 0 \\ 0 & \exp(i\delta_d/2) \end{bmatrix} \quad (3)$$

光盘的记录膜层结构为单层膜, 因此整个光盘的琼斯矩阵表示为

$$J_d = J_{sub} J_{mo} J_{sub} = \begin{bmatrix} \exp(-i\delta_d) & -(\theta + i\epsilon) \\ \theta + i\epsilon & \exp(i\delta_d) \end{bmatrix} \quad (4)$$

设偏振分束镜对 P 光、S 光的振幅透射率分别为  $t_p$ 、 $t_s$ ; 对 P 光、S 光的振幅反射率分别为  $r_p$ 、 $r_s$ ; 对透射光和反射光的相位延迟分别为  $\delta_t$ 、 $\delta_r$ 。则偏振分束镜的透射琼斯矩阵表示为

$$J_t = \begin{bmatrix} t_p & 0 \\ 0 & t_s \exp(i\delta_t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

偏振分束镜 PBS 的反射琼斯矩阵表示为

$$\mathbf{J}_r = \begin{bmatrix} r_p & 0 \\ 0 & r_s \exp(i\delta_r) \end{bmatrix} \quad (6)$$

设从激光器出射的光束是单位振幅的 P 偏振光, 其琼斯矩阵量为  $\mathbf{E}_i = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ , 令  $a = r_{p1}r_{p2}t_{p3}r_{p4}$ ,  $c = r_{s1}r_{s2}t_{s3}r_{s4}$ ,  $d = r_{s1}r_{s2}t_{s3}r_{s4}$ 。在本文的分析计算中, 视  $r_{p1}^2$ 、 $r_{p2}^2$ 、 $r_{p5}^2$ 、 $\theta$ 、 $\epsilon$  为一阶小量, 计算中略去其高阶小量。因此入射到信号探测器 A 的偏振光的琼斯矩阵为

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_A &= \mathbf{J}_{r5}\mathbf{J}_{p2}\mathbf{J}_{r4}\mathbf{J}_{r3}\mathbf{J}_d\mathbf{J}_{t3}\mathbf{J}_{r2}\mathbf{J}_{r1}\mathbf{J}_{p1}\mathbf{E}_i \\ &= \begin{bmatrix} r_{p5}[a \cos 2\beta_1 \cos 2\beta_2 \exp(-i\delta_d) - c \sin 2\beta_1 \cos 2\beta_2(\theta + i\epsilon) \\ \times \exp(i2\delta_r + i\delta_t) + d \sin 2\beta_1 \sin 2\beta_2 \exp(i4\delta_r + i\delta_t + i\delta_d)] \\ r_{s5} \exp(i\delta_r)[a \cos 2\beta_1 \sin 2\beta_2 \exp(-i\delta_d) - c \sin 2\beta_1 \sin 2\beta_2(\theta + i\epsilon) \\ \times \exp(i2\delta_r + i\delta_t) - d \sin 2\beta_1 \cos 2\beta_2 \exp(i4\delta_r + i\delta_t + i\delta_d)] \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (7)$$

式中,  $\beta_1$  为半片波 P<sub>1</sub> 的快轴与 X 轴的夹角,  $\beta_2$  为半波片 P<sub>2</sub> 的快轴与 x 轴的夹角。

入射到信号探测器 B 的偏振光的琼斯矩阵为

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_B &= \mathbf{J}_{t5}\mathbf{J}_{p2}\mathbf{J}_{r4}\mathbf{J}_{r3}\mathbf{J}_d\mathbf{J}_{t3}\mathbf{J}_{r2}\mathbf{J}_{r1}\mathbf{J}_{p1}\mathbf{E}_i \\ &= \begin{bmatrix} t_{p5}[a \cos 2\beta_1 \cos 2\beta_2 \exp(-i\delta_d) - c \sin 2\beta_1 \cos 2\beta_2(\theta + i\epsilon) \exp(i2\delta_r + i\delta_t) \\ + d \sin 2\beta_1 \sin 2\beta_2 \exp(i4\delta_r + i\delta_t + i\delta_d)] \\ t_{s5} \exp(i\delta_t)[a \cos 2\beta_1 \sin 2\beta_2 \exp(-i\delta_d) - c \sin 2\beta_1 \sin 2\beta_2(\theta + i\epsilon) \\ \times \exp(i2\delta_r + i\delta_t) - d \sin 2\beta_1 \cos 2\beta_2 \exp(i4\delta_r + i\delta_t + i\delta_d)] \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

## 4 差分信号检测

磁光存贮中信号检测一般采用差分检测电路。差分检测有利于抑制读出信号中的共模噪声, 从而提高读出信号的载噪比; 而且差分检测对克尔角  $\theta$  变化的灵敏度较高。由(5)、(6)式可知读出信号的强度为

$$\begin{aligned} S &= |\mathbf{E}_A|^2 - |\mathbf{E}_B|^2 \\ &= d^2 \sin^2 2\beta_1 \sin^2 2\beta_2 (r_{p5}^2 - t_{p5}^2) + d^2 \sin^2 2\beta_1 \cos^2 2\beta_2 (r_{s5}^2 - t_{s5}^2) \\ &\quad - ad \sin 4\beta_1 \sin 4\beta_2 \cos(4\delta_r + \delta_t + 2\delta_d) \\ &\quad + 2cd \sin^2 2\beta_1 \sin 4\beta_2 [\theta \sin(2\delta_r + \delta_d) + \epsilon \sin(2\delta_r + \delta_d)] \end{aligned} \quad (9)$$

(9) 式中的信号可以分为两部分, 一部分是与  $\theta$ 、 $\epsilon$  无关的常量; 另一部分是随  $\theta$ 、 $\epsilon$  变化的变量。实验中, 当  $\theta = 0$ 、 $\epsilon = 0$  时, 必须使常数量部分为零, 此时信道 A、B 才达到平衡。这可以通过调节  $\beta_2$  实现。即当  $\theta = 0$ 、 $\epsilon = 0$  时,  $S = 0$ 。

$$\begin{aligned} d^2 \sin^2 2\beta_1 \sin^2 2\beta_2 (r_{p5}^2 - t_{p5}^2) + d^2 \sin^2 2\beta_1 \cos^2 2\beta_2 (r_{s5}^2 - t_{s5}^2) \\ - ad \sin 4\beta_1 \sin 4\beta_2 \cos(4\delta_r + \delta_t + 2\delta_d) = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

因此输出的平衡差分信号为

$$S = 2cd \sin^2 2\beta_1 \sin 4\beta_2 [\theta \cos(2\delta_r + \delta_d) + \epsilon \sin(2\delta_r + \delta_d)] \quad (11)$$

$S$  与  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\theta$ 、 $\epsilon$  及五个偏振分束镜 PBS 的振幅透射率、振幅反射率密切相关。其中  $\beta_1$  由实验中读光束的功率  $P_r$  确定。 $\beta_2$  由(10)式确定。振幅透射率、振幅反射率则与具体的分束镜有关, 必须进行恰当的选择。

如图 1 所示, 分析中选取偏振分束镜 PBS<sub>1</sub>、PBS<sub>2</sub> 和 PBS<sub>5</sub> 的  $r_s = 100\%$ 、 $t_s = 0$ ,  $r_p = 0$ 、 $t_p = 100\%$ 。光束必须经 PBS<sub>3</sub> 一次透射和一次反射, 所以要确定 PBS<sub>3</sub> 对 s 光、p 光的反射率与透射率, 只需考虑下式的极大值

$$I_s = t_s^2 r_s^2 = t_s^2 (1 - t_s^2) = (1 - r_s^2) r_s^2 \quad (12)$$

显然, 当  $r_s = t_s = \sqrt{2}/2$ , 上式有极大值  $I_s = 0.25$ 。同理可得,  $r_p = t_p = \sqrt{2}/2$ 。PBS<sub>4</sub> 对 s 光、p 光的反射率与透射率要根据伺服与信号检测电路而定, 分析中采用的参数为  $r_s = 100\%$ 、 $r_p = 60\%$  与  $t_s = 0$ 、 $t_p = 80\%$ 。所有偏振分束镜的振幅透射系数与反射系数如下表所示。

Table 1. The amplitude reflectivity and transmissivity of p and s polarizations

	PBS <sub>1</sub>	PBS <sub>2</sub>	PBS <sub>3</sub>	PBS <sub>4</sub>	PBS <sub>5</sub>
$r_s$	100%	100%	70.7%	100%	100%
$t_s$	0	0	70.7%	0	0
$r_p$	0	0	70.7%	60%	0
$t_p$	100%	100%	70.7%	80%	100%

将表 1 的参数代入(10)式得到,

$$\cos 4\beta_2 = 0 \quad \beta_2 = \pm (1, 3, 5, 7)\pi/8.$$

将表 1 的参数代入(11)式得到读出信号

$$S = 2cd \sin^2 2\beta_1 [\theta \cos (2\delta_r + \delta_d) + \epsilon \sin (2\delta_r + \delta_d)] \quad (13)$$

上式表明, 读出信号与  $\theta$ 、 $\epsilon$  成线性关系; PBS 的透射率与反射率对信号幅度有整体的影响; PBS 及盘基的相位延迟对信号有正、余弦衰减作用; 相位延迟对  $\beta_2$  的取值也有影响。图 2 给出了当取表 1 的参数时, 读出信号  $S$  随相位延迟  $2\delta_r + \delta_d$  及克尔效应参数  $\theta$ 、 $\epsilon$  变化的曲线。从图中可见, 通过调整相位延迟的大小, 能使读出信号达到最大值。由(11)式可知, 当  $\beta_2 = \pm (1, 3, 5, 7)\pi/8$  时, 信号对  $\theta$ 、 $\epsilon$  取正负值具有对称性并具有最大的灵敏度。

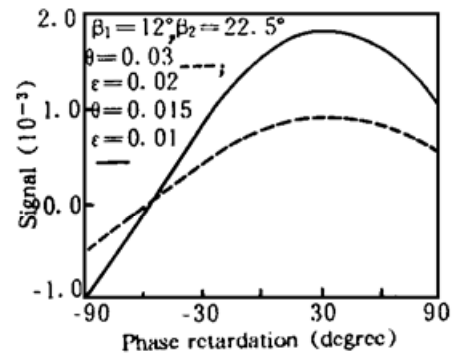


Fig. 2 The effect of phase retardation on readout signal

实验中, 很难达到表 1 中所示的理想值。例如很难达到参数取值为 0 或 100%。这就造成两方面的影响, 一是使读出信号强度有所下降; 二是使  $\beta_2$  的最佳取值有所变化。图 3 与图 4 分别给出了偏振分束镜的参数在偏离理想值 0 为  $\Delta$  时,  $\beta_2$  的最佳取值及读出信号的变化曲线。

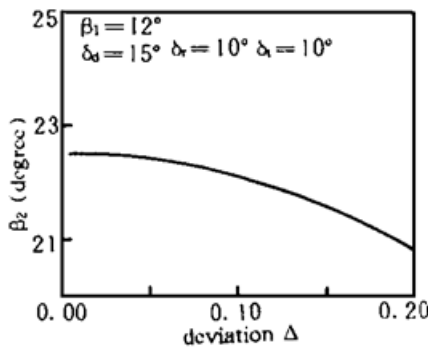


Fig. 3 The effect of reflectivity and transmissivity deviation on  $\beta_2$  when the deviation is  $\Delta$  from 0

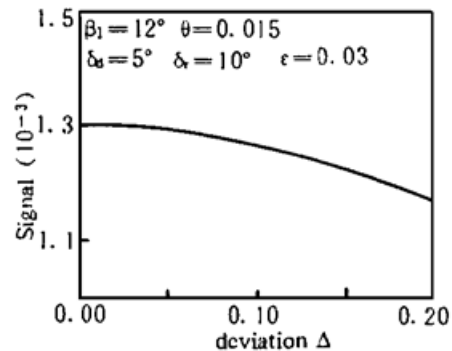


Fig. 4 The effect of reflectivity and transmissivity deviation on readout signal when the deviation is  $\Delta$  from 0

结 论 磁光存贮中, 信号读出的原理是磁光克尔效应。入射偏振光在经过磁光记录畴并反

射时, 其偏振方向要转动克尔角  $\theta$ 。利用差分信号检测, 可以检测出磁光记录畴磁化方向是平行还是反平行于入射光方向。

本文分析了一套双光束磁光存贮系统的特点及其信号读出系统有关元件的参数选择。并利用琼斯矩阵分析了磁光读出系统中偏振态的传输, 推导了本系统读出信号的一般表达式。分析发现, 只有当半波片  $P_2$  的快轴与  $x$  轴的夹角  $\beta_2$  取某些特定值时, 信道 A、B 才能达到平衡; 此时, 读出信号对  $\theta$  取正、负值具有对称性, 并有最大的灵敏度, 读出信号达到最大值。根据本文的分析结果可以优化磁光记录系统有关参数的选择。

### 参 考 文 献

- [1] David Treves, Dan S. Bloomberg, Signal, noise and codes in optical memories. *Opt. Engng.*, 1986, **25**(7) : 881~ 891
- [2] Toshiaki Iwanaga, Satoshi Sugaya, Hiroshi Inada *et al.*, Magneto-optic recording readout performance improvement. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(4) : 717~ 722
- [3] A. B. Marchant, Retardation effects in magneto-optic readout. *Proc. SPIE*, 1986, **695** : 270~ 276
- [4] Herbert Engstrom, Alan B. Marchant, Polarization considerations in magneto-optical recording. *Proc. SPIE*, 1989, **1166** : 69~ 78
- [5] Russel A. Chipman, Polarization analysis of optical system. *Proc. SPIE*, 1989, **1166** : 79~ 94
- [6] Gerard J. Sprokel, Reflectivity, rotation and ellipticity of magneto-optic film structures. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(22) : 3983~ 3989
- [7] Merritt N. Deeter, Jeffry T. Ingle, Dror Sarid, Jones matrix analysis of incident angle effects in magneto-optical storage medium. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(2) : 335~ 339
- [8] Ivan Prikryl, Effect of disk birefringence on a differential magneto-optic read-out. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(11) : 1853~ 1862
- [9] J. Larry Pezzaniti, Russell A. Chipman, Angular dependence of polarizing beam-splitter. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(10) : 1916~ 1929

## Polarization Analysis of Signal Readout for Dual-Beam Magneto-optical Storage

Wang Rong      Zhang Guoxuan      Li Xishan      Gan Fuxi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 20 June 1995; revised 17 October 1996)

**Abstract** The polarization of signal readout system in dual-beam magneto-optical storage is analyzed with Jones matrix. The formula of readout signal is deduced. The effects of phase retardation of polarized beam splitter and magneto-optical disk substrate are discussed.

**Key words** phase retardation, polarization, Jones matrix, magneto-optical Kerr effect.