

磁光极克尔转角 θ_K 温度特性的计算方法

姜 奇

沈 德 芳

(中国科学院上海光学精密机械研究所) (中国科学院上海冶金研究所)

干 福 熹

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

1987 年 12 月 11 日收到

本文提出了一种新的易于评价磁光极克尔转角 θ_K 和温度 T 的关系的计算方法, 并给出了四层膜优化结构的计算实例。其结果和已知的实验规律相符, 从而能导出最佳读出激光功率, 使磁光盘信噪比达到最佳值。

稀土-过渡族元素非晶薄膜 (RE-TM) 是目前可擦型磁光光盘的良好记录介质, 信噪比 S/N 是评价光盘性能的主要指标, 其值正比于读出激光功率 P_0 , 克尔转角 θ_K 的平方和反射率 R 的大小^[1]。对一已优化了结构的光盘盘片, θ_K 和 R 的最佳值已确定, 而提高读出激光功率 P_0 将导致盘片记录点温度的升高, 从而引起克尔转角 θ_K 的下降, 因此从理论上确定 θ_K 随温度 T 的变化关系对选取最佳读出激光功率 P_0 以获得最高信噪比 S/N 具有重要的意义。微聚焦激光束所引起的多层膜瞬时热效应对磁光极克尔转角 θ_K 、信噪比 S/N 的影响, 迄今未见合适的计算模型能予以详细评价。Mimura 等人曾对二层膜结构的情况作过讨论^[2], 但结果得到 $Gd_{1-x}Fe_x$ 系统信噪比 S/N 与读出激光功率 P_0 关系的理论曲线与实验曲线不相符合。在此, 我们将从多层吸收膜系特征矩阵出发, 借助于朗道有关介电张量 ϵ 的理论, 提出 RE-TM 介质中 TM 饱和磁化强度随温度 T 的变化, 将直接导致左、右旋偏振光折射率 $n_{\pm}$ 随温度的变化。由于 $n_{\pm}$ 之间的差异, 又将引起克尔转角 θ_K 作相应的变化, 从而得到一种易于评价磁光介质克尔转角 θ_K 和温度 T 的关系的数值计算方法。

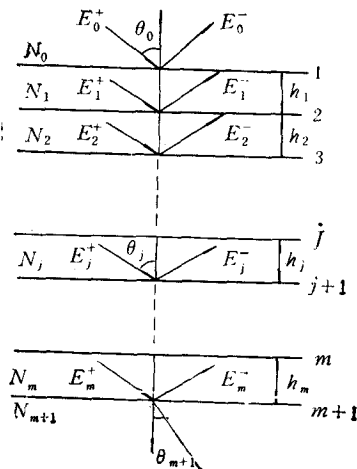


图 1 多层吸收膜系示意图

如图 1 所示, 当一微聚焦的激光束照射在多层吸收膜系上时, 利用平面电磁波电矢量 $\mathbf{E}$ 和磁矢量 $\mathbf{H}$ 在界面 j 和 $j+1$ 处切向分别连续的边界条件, 可得多层吸收膜系的特征矩阵方程为

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \left\{ \prod_{j=1}^m \begin{bmatrix} \cos \delta_j & \frac{i}{\eta_j} \sin \delta_j \\ i\eta_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{bmatrix} \right\} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_{m+1} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

其中 δ_j 是第 j 层介质的位相差, η_j 可表为

$$\eta_i = \begin{cases} N_i / \cos \theta_i & (\text{p 偏振}), \\ N_i \cos \theta_i & (\text{s 偏振}). \end{cases} \quad (2)$$

θ_i, N_i 分别表示第 i 层介质激光束的入射角和复折射率. 在本文中, 取 $\theta_i = 0$. 由(1)式可求得激光入射到多层膜后的反射相移为

$$\phi = \arctg \left(\frac{i\eta_0 (cB^* - BC^*)}{(\eta_0^2 BB^* - CC^*)} \right). \quad (3)$$

读取信号的激光束在具有迴旋对称性 RE-TM 介质中沿磁化强度 $\mathbf{M}$ 的方向传播时, 其简正模式为两个反向旋转的圆偏振: $\exp \left[i\omega \left(t - \frac{n_+ z}{C} \right) \right]$ 和 $\exp \left[i\omega \left(t - \frac{n_- z}{C} \right) \right]$, n_+, n_- 为左、右旋偏振光的折射率, ω 是圆频率. 如 ϕ_+, ϕ_- 分别对应左、右旋偏振光的反射相移, 则读取信号时的克尔转角 θ_k 即为

$$\theta_k = \frac{1}{2} |\phi_+ - \phi_-|. \quad (4)$$

在光频范围内, 具有磁矩的物质和光相互作用的磁光效应可以归因于一个有效介电张量 ϵ 非对角元的贡献^[3]. 在各向同性的介质中, 介电张量有如下形式:

$$\epsilon = \begin{pmatrix} \epsilon_0 & +i\epsilon_z & 0 \\ -i\epsilon_z & \epsilon_0 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_0 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

其中 ϵ_0 是退磁状态下的介电常数, 相应于左、右旋偏振光磁光介质的有效介电常数可以表示为^[4]

$$\epsilon_+^{\text{eff}} = \epsilon_0 + \epsilon_z, \quad (6a)$$

$$\epsilon_-^{\text{eff}} = \epsilon_0 - \epsilon_z. \quad (6b)$$

其中 ϵ_z 正比于 RE-TM 介质中 TM 次格子的饱和磁化强度 M ^[3,5]. 这样, 可以得到左、右旋偏振光磁光介质的折射率

$$n_+ = \sqrt{\epsilon_+^{\text{eff}}} = \sqrt{\epsilon_0 + \epsilon_z} = \sqrt{\epsilon_0(1 + g)} = \sqrt{\epsilon_0(1 + AM)}, \quad (7a)$$

$$n_- = \sqrt{\epsilon_-^{\text{eff}}} = \sqrt{\epsilon_0 - \epsilon_z} = \sqrt{\epsilon_0(1 - g)} = \sqrt{\epsilon_0(1 - AM)}. \quad (7b)$$

由于 g 是很小的量^[3], 所以 $n_{\pm}$ 可以简化为

$$n_+ = \sqrt{\epsilon_0} \left(1 + \frac{AM}{2} \right), \quad (8a)$$

$$n_- = \sqrt{\epsilon_0} \left(1 - \frac{AM}{2} \right). \quad (8b)$$

利用(8)式, 可得 $n_{\pm}$ 随 TM 次格子饱和磁化强度 M 的变化关系曲线. 而 M 是温度 T 的函数^[6], 因此 $n_{\pm}$ 也是温度 T 的函数, 将随变化的 $n_{\pm}$ 代入(1), (3)式. 计算后, 不难得到克尔转角 θ_k 也是一个随温度 T 变化的函数.

对由 n 个元素组成的 RE-TM 非晶薄膜体系, 单位体积内的饱和磁化强度 M 和温度 T 的变化关系可由平均场理论确定^[6]: 对 $\text{Gd}_{1-x}\text{Fe}_x$ 系统, 取 $\text{Gd} = 1$, $\text{Fe} = 2$, 则 $S_1 = 3.0$, $g_1 = 2.0$, $g_2 = 2.15$, $Z_{11} = Z_{21} = 12 \cdot (1 - x)$, $Z_{22} = Z_{12} = 12 \cdot x$, S_2, J_{ij} 的数据如文献[7]所示. 这里所用符号的意义参见文献[6].

表 1 四层膜磁光盘厚度和折射率

材 料 名 称	厚 度 $h_i(\text{\AA})$	折 射 率 N_i
增透膜 (SiO)	900	1.5
磁光膜 (GdFe)	200	$\sqrt{\epsilon_0} = 3.0 - 3.6i^{[8]}$ $g = 0.44 + 0.012i$ (室温下)
中间层 (SiO)	1500	1.5
反射层 (Al)	300	1.2—6.9 i
衬 底 (PMMA)	∞	1.46

对经优化的四层膜 SiO/GdFe/SiO/Al/PMMA 结构实例,其有关的参数如表 1 所示,入射激光束波长 $\lambda = 6328 \text{\AA}$. 图 2 给出了 $\text{Gd}_{24}\text{Fe}_{76}$ 的饱和磁化强度 M_s 和温度 T 的关系曲线. 由图 2 可以看出,稀土 Gd、过渡族金属 Fe 的饱和磁化强度和总的饱和磁化强度都明显地随温度变化,稀土 Gd 的饱和磁化强度在整个温度范围内随温度的变化比较急骤,而过渡族金属 Fe 的饱和磁化强度在 0—200K 范围内,变化相当小,在室温 290 K 至居里点 470K 范围内,下降得非常快,这说明温度对 TM 饱和磁化强度的影响,越是接近居里点处,带来的 TM 饱和磁化强度的变化越大.

如用 LNR, LNI 代表左旋偏振光复折射率的实部、虚部, RNR, RNI 代表右旋偏振光复折射率的实部、虚部,则图 3 和图 4 给出了左、右旋偏振光复折射率实部、虚部随温度的变化曲线. 在退磁状态下, GdFe 介质的复折射率为 $3.0 - 3.6i$. 由图 3 和图 4 可以看出: 随着温度的升高,左旋偏振光复折射率的实部、虚部都同时地以相同的规律减小. 在居里温度处,其复折射率实部、虚部的值即为退磁状态下, GdFe 介质复折射率的实、虚部值. 而右旋偏振光复折射率的实部、虚部值也都同时地以相同的规律增加,在居里温度处,增至为退磁状态下, GdFe 介质复折射率的实部、虚部值.

左、右旋偏振光复折射率 $n_{\pm}$ 随温度的增加,逐渐趋近于退磁状态下磁光介质复折射

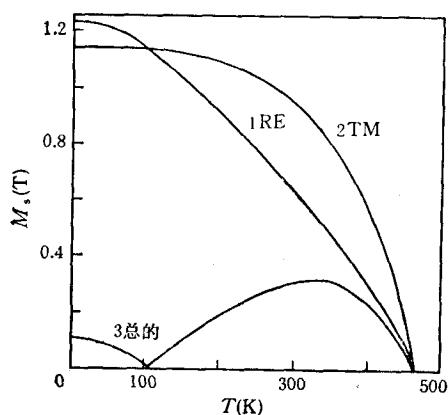


图 2 $\text{Gd}_{24}\text{Fe}_{76}$ 饱和磁化强度 M_s 和温度 T 的计算曲线 曲线 1, 2 和 3 分别表示 Gd, Fe 和总的饱和磁化强度与温度的关系

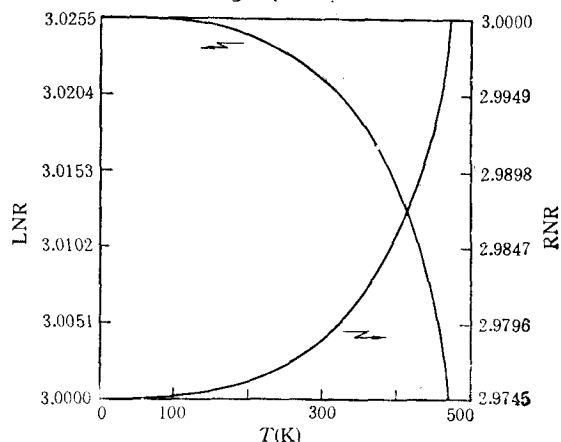


图 3 $\text{Gd}_{24}\text{Fe}_{76}$ 左、右旋偏振光复折射率实部随温度 T 的变化关系曲线

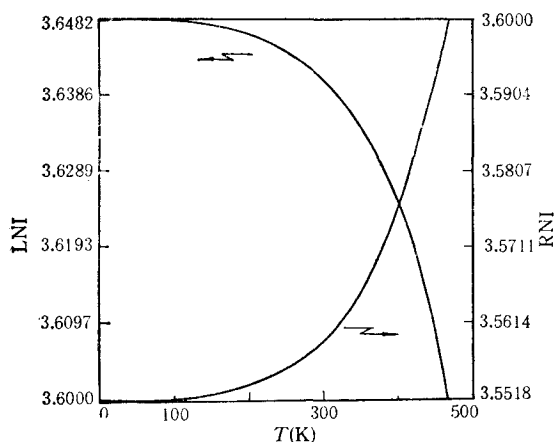


图4 $Gd_{24}Fe_{76}$ 左、右旋偏振光复折射率虚部随温度 T 的变化关系曲线

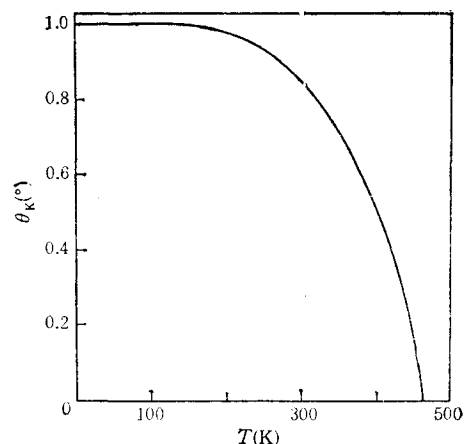


图5 $Gd_{24}Fe_{76}$ 为磁光层的四层膜结构克尔转角 θ_K 和温度 T 的关系曲线

率的数值解表明: 这将引起克尔转角 θ_K 随温度 T 的升高而减小, 如果 $n_{\pm}$ 之间的数值相差越大, θ_K 也将越大, 在居里温度处, $n_{+} = n_{-} = \sqrt{\epsilon_0}$, 则 $\theta_K = 0$. 图5表示 $Gd_{24}Fe_{76}$ 为磁光层的四层膜结构克尔转角 θ_K 和温度 T 的关系曲线. 在计算中, 室温取 290K. 由图5可以看出: 在 0—200K 之间, θ_K 随 T 的变化很小. 200K 以后, 随着温度 T 的升高, θ_K 下降的速度逐步加快. 在接近居里温度时, θ_K 迅速地趋近于零. 图5所表示的 θ_K 与 T 的数值计算曲线, 能很好地与有关的实验曲线^[9,10]符合.

用本文提出的计算方法, 我们讨论了读出信号的最佳激光功率^[11], 得到了令人满意的结果.

- [1] M. Mansuripur, G. A. N. Connell and J. W. Goodman, *J. Appl. Phys.*, **53**(1982), 4485.
- [2] Y. Mimura, N. Imamura and T. Kobayashi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **17**(1978), 2007.
- [3] L. D. Landau and E. M. Lifshiz, *Electrodynamics of continuous media*, (Pergamon, New York, USA, 1960), p. 82.
- [4] P. Pershan, *J. Appl. Phys.*, **38**(1967), 1482.
- [5] B. E. Argyle, R. J. Gambino and K. Y. Ahn, *A. I. P. Conf. Proc.*, **24**(1974), 564.
- [6] A. Gangulee and R. C. Taylor, *J. Appl. Phys.*, **49**(1978), 1762.
- [7] N. Heiman, K. Lee, R. I. Potter and S. Kirkpatrick, *J. Appl. Phys.*, **47**(1976), 2634.
- [8] M. K. Bhattacharyya and Z. J. Cendes, *J. Appl. Phys.*, **57**(1985), 3895.
- [9] 土岐薰、汤本诚司, 第 10 回日本応用磁気学会学術講演概要集, (1986), 5aB-5.
- [10] K. Tsutsumi, Y. Fujii, M. Komori, T. Numata and Y. Sakurai, *IEEE Trans. Magn.*, **19**(1983), 1760.
- [11] 姜奇、沈德芳、干福熹, 待发表.

A COMPUTATIONAL METHOD OF TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF MAGNETO-OPTIC POLAR KERR ROTATION ANGLE

JIANG QI

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

SHEN DE-FANG

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

GAN FU-XI

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

ABSTRACT

A new computational method which can easily evaluate the relationship between the magneto-optic Kerr rotation angle θ_K and temperature T is presented. As a practical example, using this method, we have obtained the numerical solution for the preferential quadrilayer structure, the solution is in good accordance with the experimental results. On the basis of the best reading laser power derived by this method, the optimum signal to noise ratio of the optic disk can be obtained.