

Al/Si₃N₄/TbFeCo/Si₃N₄ 磁光盘厚度 定量计算方法

陆松山 魏 军

(电子科技大学信息材料工程学院, 成都 610054)

提要 研究用 XRF 基本参数法计算磁光盘的厚度和组成, 铝层厚度用 Al K_α 线计算, 两层氮化硅厚度都采用 Si K_α 线计算确定, 磁光记录层采用 Fe K_α, Co K_α 和 Tb L_α 线来确定其厚度及组成。列出了膜厚方程, 可由计算机很快解出, 其结果与标准符合很好。

关键词 磁光盘, 基本参数法, 膜厚及组成

1 引言

磁光盘具有四层膜结构, 用任何仪器无法一次测出各层膜厚及记录层的组成, 况且磁光盘中存在相同的两个氮化硅层, 不易区分。本文试图用实验测量和理论计算方法解出两层氮化硅层的厚度, 同时计算记录层厚度及组成。实验用 XRF 仪测量磁光盘各层主要元素受原级 X 射线激发产生的 X 荧光强度, 用基本参数法计算被测元素的理论强度, 充分考虑初级辐射而引起的层内和层间激发。测量谱线为 Al, Si, Fe, Co 的 K_α 线, Tb 的 L_α 线。通过测量 Si K_α 线, 用理论计算确定了两个氮化硅的厚度。对于 TbFeCo 磁光记录层厚度和组成, 能获得较满意的结果。整个测量和计算用 C 语言设计编程, PC-386 计算机运算。磁光盘主要膜层是 TbFeCo 磁光记录层, 制备工艺需控制膜厚及组成。实用材料的组成一般为 Tb 37~44wt-%, Fe 47~56wt-%, Co 6 wt-% 左右, 组成式为 Tb_y(Fe_{1-x}Co_x)_{1-y}, 常用量可在 0.01 ≤ x ≤ 1, 0.6 ≤ 1 - y ≤ 0.9 范围内变动, 另外 Co 的含量范围是 0.01 ≤ x ≤ 0.1。因磁光记录层的厚度与组成并不是固定不变的, 随制备工艺而有差异, 使用一种检测方法对某一工艺条件下的产品随机抽样分析作出有效的评价, 对提高产品的稳定性颇有益处。本文介绍的是一种物理计算方法, 文中所列计算式涉及许多基本参数值, 不作详细推导。

2 各层膜厚测量计算

2.1 反射层 Al 膜理论强度计算

Al 层用 Al K_α 线计算其厚度。因 Si 的 K_α 线的波长 λ_{Si} = 0.712625 nm, 小于 Al 的 K_α 线吸收限波长 λ_{Al} = 0.794813 nm, 可激发 Al 产生二次 X 荧光, 故在理论计算 Al 的 X 荧光强度时应包含一次和二次强度。Al 层理论强度计算模型如图 1 所示。

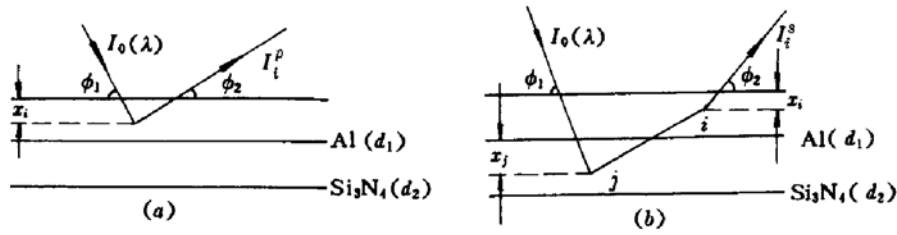


Fig. 1

(a) primary fluorescence caused directly by the incident beam;

(b) secondary fluorescence of atom Al caused by fluorescence radiation from atoms Si

Al 层受 $I_0(\lambda)$ 激发产生一次 X 荧光(Al K_α), 其强度为^[1~4]

$$I_i^p = \frac{1}{\sin\phi_1} (1 - 1/J_i) w_i P_i \int_{\lambda_0}^{\lambda_{ab}^i} \frac{I_0(\lambda) \mu_i(\lambda)}{\mu_1(\lambda) \csc\phi_1 + \mu_1(\lambda_i) \csc\phi_2} \times \{1 - \exp[-(\mu_1(\lambda) \csc\phi_1 + \mu_1(\lambda_i) \csc\phi_2) d_1]\} d\lambda \quad (1)$$

Al 层受下层 Si K_α 线激发产生二次 X 荧光, 其强度为^[1~4]

$$I_i^{s\uparrow} = \frac{1}{2\sin\phi_1} \sum_{\lambda_{jp}}^{\lambda_{ab}^j} C_i K_i C_j K_j \int_{\lambda_0}^{\lambda_{ab}^j} I_0(\lambda) \mu_j(\lambda) \mu_i(\lambda_j) \exp[-\mu_1(\lambda) \csc\phi_1 d_1] d\lambda \times \int_0^{d_2} \exp[-\mu_2(\lambda) \csc\phi_1 x_j] dx_j \int_0^{d_1} \exp[-\mu_1(\lambda_i) \csc\phi_2 (d_1 - x_i)] dx_i E[\mu_2(\lambda_j) x_j + \mu_1(\lambda_j) x_i] \quad (2)$$

将(2)式中厚度积分项写成

$$X(p, q, d_1, d_2) = \int_0^{d_2} \exp(-px_j) dx_j \int_0^{d_1} \exp(qx_i) dx_i \cdot E[\mu_2(\lambda_j) x_j + \mu_1(\lambda_j) x_i] \quad (3)$$

式中 $P = \mu_2(\lambda) \csc\phi_1$, $q = \mu_1(\lambda_i) \csc\phi_2$, 利用 $D(x) = \exp(x)E(x)$ 关系进行变换积分并组合得

$$X(p, q, d_1, d_2) = V(d_1, d_2) + V(0, 0) - V(d_1, 0) - V(0, d_2)$$

式中

$$V(d_1, d_2) = \exp\{[q - \mu_1(\lambda_j)]d_1 - [p + \mu_2(\lambda_j)]d_2\} \cdot \left\{ \frac{\mu_2(\lambda_j)}{p[p\mu_1(\lambda_j) + q\mu_2(\lambda_j)]} \times D\left[\left(1 + \frac{p}{\mu_2(\lambda_j)}\right)[\mu_1(\lambda_j)d_1 + \mu_2(\lambda_j)d_2]\right] + \frac{\mu_1(\lambda_j)}{q[p\mu_1(\lambda_j) + q\mu_2(\lambda_j)]} \times D\left[\left(1 - \frac{q}{\mu_1(\lambda_j)}\right)[\mu_1(\lambda_j)d_1 + \mu_2(\lambda_j)d_2]\right] - \frac{1}{pq} D[\mu_1(\lambda_j)d_1 + \mu_2(\lambda_j)d_2] \right\} \quad (4)$$

$$V(0, 0) = -\frac{1}{p\mu_1(\lambda_j) + q\mu_2(\lambda_j)} \times \left[\frac{\mu_2(\lambda_j)}{p} \ln \left| 1 + \frac{p}{\mu_2(\lambda_j)} \right| + \frac{\mu_1(\lambda_j)}{q} \ln \left| 1 - \frac{q}{\mu_1(\lambda_j)} \right| \right] \quad (5)$$

 $V(d_1, 0)$, $V(0, d_2)$ 按(4)式处理可算出。将 $X(p, q, d_1, d_2)$ 代入(2)式可算出 Al 受第二层 Si K_α 线激发产生的次级荧光。Al 层受第三层 Fe、Co 的 $K_{\alpha 1,2}$ 、 $K_{\beta 1}$ 和 Tb 的 $L_{\alpha 1,2}$ 、 $L_{\beta 1}$ 激发也产生 Al 的二次荧光, 按(2)式扩展写成

$$I_i^{s\uparrow} = \frac{1}{2\sin\phi_1} \sum_{\lambda_{jp}}^{\lambda_{ab}^j} C_i K_i C_j K_j \int_{\lambda_0}^{\lambda_{ab}^j} I_0(\lambda) \mu_j(\lambda) \mu_i(\lambda_j) \exp[-\mu_1(\lambda) \csc\phi_1 d_1 - \mu_2(\lambda) \csc\phi_1 d_2] \cdot X(p, q, d_1, d_2) \quad (6)$$

其中 $X(p, q, d_1, d_3) = V(d_1, d_3) + V(0, 0) - V(d_1, 0) - V(0, d_3)$, 则按(4)式扩展计算。

上述各式中参数的物理意义是, $I_0(\lambda)$ 为入射 X 射线谱强度分布, λ_{ab}^i 和 λ_{ab}^j 分别为 i 元素和 j 元素的吸收边波长(nm), λ_0 为入射 X 射线的起始波长 $\lambda_0 = 12.3981/V_0$ (V_0 是工作电压), K_i 和 K_j 分别为激发效率, 它包括荧光产额 w_i , 跃迁比 J_i , 产生荧光部分 $(1 - 1/J_i)$, 跃迁几率 P_i , ϕ_1 和 ϕ_2 分别为入射角和出射角, $\mu_1(\lambda)$ 为 Al 层对 X 射线入射波长的吸收衰减, $\mu_1(\lambda_i)$ 为 Al 层对 Al K_α 特征波长的吸收衰减, $\mu_1(\lambda_j)$ 为 Al 层对 Si K_α 特征波长的吸收衰减, $\mu_2(\lambda_j)$ 为 Si_3N_4 层对 Si K_α 特征波长的吸收衰减, $\mu_j(\lambda)$ 为 Si_3N_4 层中 Si 对 X 射线入射波长的吸收衰减, $\mu_2(\lambda)$ 为 Si_3N_4 层对 X 射线入射波长的吸收衰减, d_1 和 d_2 为 Al 和 Si_3N_4 层的质量厚度 (ρt), $E(x)$ 为角度积分变换函数, $E(x) = -r - \ln|x| - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-x)^n}{n \cdot n!}$, $r = 0.57721\dots$ 。

采用 $\mu = CE_{ab}\lambda^n$ 计算各质量衰减系数^[7]。X 射线管的强度分布采用理论计算^[5,6], 其他参数从日本理学电机株式会社“X 荧光分析手册”查取, 所有参数都作为库文件存于软件中。 d_1 值任意输入。理论强度比为

$$R_i = \frac{I_i^{(u)} + \sum I_{i(u)}^s}{I_i(100)}$$

$I_i(100)$ 为纯 Al 厚标样的一次 X 荧光理论强度, 按下式计算

$$I_i(100) = \frac{1}{\sin\phi_1} (1 - 1/J_i) w_i p_i \int_{\lambda_0}^{\lambda_{ab}^i} \frac{I_0(\lambda) \mu_i(\lambda)}{\mu_1(\lambda) \csc\phi_1 + \mu_1(\lambda_i) \csc\phi_2} d\lambda \quad (7)$$

$\sum I_{i(u)}^s$ 是 $\text{Si}K_\alpha$, FeCo 的 $K_{\alpha 1,2}K_{\beta 1}$ 和 Tb 的 $L_{\alpha 1,2}, L_{\beta 1}$ 谱线对 Al 次级激发产生二次 X 荧光强度的总和。

2.2 磁光记录层理论强度计算

记录层中含有 Fe、Tb、Co 三个元素, 它们之间除受原级 X 射线激发产生一次 X 荧光外, 会因层内共存元素的辐射线的激发产生二次 X 荧光增强, 根据 $\lambda_j < \lambda_{ab}^i$ 判断:

$$\text{Fe: } \lambda K_\alpha = 0.193735 \text{ nm}, \lambda K_{\beta 1,3} = 0.175661 \text{ nm}, \lambda_{ab} = 0.174346 \text{ nm}$$

$$\text{Tb: } \lambda L_{\alpha 1} = 0.19765 \text{ nm}, \lambda L_{\alpha 2} = 0.19875 \text{ nm}, \lambda L_{\beta 1} = 0.17768 \text{ nm}$$

$$\lambda L_{\beta 2} = 0.16830 \text{ nm}, \lambda L_{\beta ab} = 0.16497 \text{ nm}, \lambda L_{\beta ab} = 0.15023 \text{ nm}$$

$$\text{Co: } \lambda K_\alpha = 0.179026 \text{ nm}, \lambda K_{\beta 1,3} = 0.162079 \text{ nm}, \lambda_{ab} = 0.160815 \text{ nm}$$

可见, Co 产生的 $K_{\beta 1,3}$ 线和 Tb 产生的 $L_{\beta 2}$ 线可以激发 Fe 产生二次荧光。Co 的 $K_{\beta 1,3}$ 线可激发 Tb 产生二次荧光, Co 不存在二次增强, 故计算 FeTb 二元素的理论强度时必须考虑层内次级激发因素。计算记录层内各元素的一次 X 荧光理论强度时, 只需按(1)式增加一项

$$\exp\{-[\mu_1(\lambda) \csc\phi_1 + \mu_1(\lambda_i) \csc\phi_2]d_1 - [\mu_2(\lambda) \csc\phi_1 + \mu_2(\lambda_i) \csc\phi_2]d_2\}$$

同层内二次 X 荧光则按下式计算:

$$I_i^s = \frac{1}{2\sin\phi_1} \sum_{\lambda_j} C_i K_i C_j K_j \int_{\lambda_0}^{\lambda_{ab}^j} I_0(\lambda) \mu_j(\lambda) \mu_i(\lambda_j) \times \exp\{-[\mu_1(\lambda) \csc\phi_1 + \mu_1(\lambda_i) \csc\phi_2]d_1 - [\mu_2(\lambda) \csc\phi_1 + \mu_2(\lambda_i) \csc\phi_2]d_2\} \cdot L d\lambda \quad (8)$$

式中 L 包括 L_1^\uparrow 和 L_2^\downarrow 两部分, 可用通式求解。

$$L(\mu_1, \mu_2) = \exp\{-[\mu_1 + \mu(\lambda_j)]d_3\} \cdot \left\{ -\frac{1}{\mu_1\mu_2} D[\mu(\lambda_j)d_3] + \frac{1}{\mu_2(\mu_1 + \mu_2)} D\{[\mu(\lambda_j) - \mu_2]d_3\} \right.$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{1}{\mu_1(\mu_1 + \mu_2)} D\{[\mu_1 + \mu(\lambda_j)]d_3\} \} + \frac{1}{\mu_1(\mu_1 + \mu_2)} \ln \left| 1 + \frac{\mu_1}{\mu(\lambda_j)} \right| \\
 & + \frac{1}{\mu_2(\mu_1 + \mu_2)} \exp[-(\mu_1 + \mu_2)d_3] \ln \left| 1 - \frac{\mu_2}{\mu(\lambda_j)} \right| \quad (9)
 \end{aligned}$$

式中 $\mu(\lambda_j) = \sum_{i=1}^n C_i \mu_i(\lambda_j)$, $\mu(\lambda_i) = \sum_{i=1}^n C_i \mu_i(\lambda_i)$, $\mu_1 = \mu(\lambda_i) \csc \phi_2$, $\mu_2 = \mu(\lambda_i) \csc \phi_1$, 代入(9)式可得 L_1^{\uparrow} , 将 μ_1 与 μ_2 倒置一下用同式可求得 L_2^{\downarrow} , 两者相加得 L . 将 L 代入(8)式, 即可分别计算层内 Fe, Tb 的 I_i° . 因 d_1, d_2 已知, 输入 d_3 值计算理论强度比

$$R_i = \frac{I_{i(u)}^{\circ} + \sum I_{i(u)}^{\circ}}{I_i(100)} \quad (i = \text{Tb, Fe, Co})$$

式中 $\sum I_{i(u)}^{\circ}$ 是共存元素辐射线对被测元素次级激发产生二次 X 荧光强度总和。

2.3 第二层和第四层 Si₃N₄ 层理论强度计算

磁光盘中同时存在二层相同组成的氮化硅膜, 由实验测得 Si K_{α} 线强度只是总的 X 荧光强度, 必须配合理论计算才能分别解出各自的厚度。第二层氮化硅理论强度计算模型如图 2 所示。

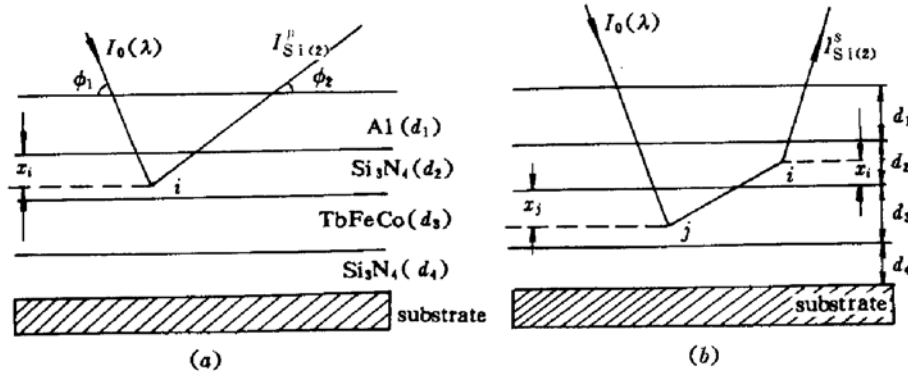


Fig. 2

(a) Si primary fluorescence caused by the incident beam;

(b) Secondary fluorescence of atom Si caused by fluorescence radiation from TbFeCo atoms at a following layer

第二层氮化硅 $I_{Si(2)}^p$ 理论强度计算, 只需在(1)式基础上乘上一项

$$\exp\{-[\mu_1(\lambda) \csc \phi_1 + \mu_1(\lambda_i) \csc \phi_2]d_1\}$$

由于该层之下是记录层, 所含 Fe, Tb, Co 元素产生的 $K_{\alpha 1,2}, K_{\beta 1}$ 和 $L_{\alpha 1,2}, L_{\beta 1}$ 等特征射线, 因 $\lambda_j < \lambda_{ab(Si)}$, 会向上激发引起 Si 的二次增强, 只须将(2)式中的指数项改为

$$\exp\{-[\mu_1(\lambda) \csc \phi_1 + \mu_1(\lambda_i) \csc \phi_2]d_1 - \mu_2(\lambda) \csc \phi_1 d_2\}$$

并将积分上限 $d_2 \rightarrow d_3, d_1 \rightarrow d_2$. E 函数中的 μ 下标改为 μ_3 和 μ_2 , 于是积分项为

$$X(p, q, d_2, d_3) = \int_0^{d_3} dx_j \exp(-px_j) \int_0^{d_2} dx_i \exp(qx_i) \cdot E[\mu_3(\lambda_j)x_j + \mu_2(\lambda_j)x_i]$$

式中 $P = \mu_3(\lambda) \csc \phi_1$, $q = \mu_2(\lambda_i) \csc \phi_2$. 进行积分变换并组合得

$$X(p, q, d_2, d_3) = V(d_2, d_3) + V(0, 0) - V(d_2, 0) - V(0, d_3)$$

按(4), (5)两式计算, 最后可求得 $I_{Si(2)}^s$ 值。第二层膜中 Si 元素的理论强度比

$$R_{Si(2)}^s = \frac{I_{Si(2)}^s + \sum I_{Si(2)}^s}{I_{Si}(100)}$$

第四层氮化硅其理论强度计算模型如图 3 所示。

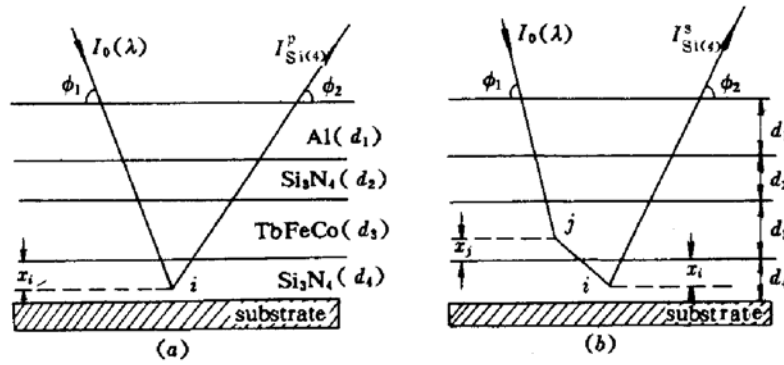


Fig. 3

(a) Primary fluorescence of atom Si of fourth layer caused directly by the incident beam;

(b) Secondary fluorescence atom Si caused by fluorescence radiation from TbFeCo atoms at top layer

计算第四层膜初级理论强度 $I_{Si(4)}^p$, 同样在(1)式基础上进行, 只需多乘上一项

$$\exp\{-[\mu_1(\lambda)\csc\phi_1 + \mu_1(\lambda_i)\csc\phi_2]d_1 - [\mu_2(\lambda)\csc\phi_1 + \mu_2(\lambda_i)\csc\phi_2]d_2 - [\mu_3(\lambda)\csc\phi_1 + \mu_3(\lambda_i)\csc\phi_2]d_3\}$$

由于记录层位于第四层氮化硅的上层, 其所含 FeTbCo 元素产生的特征线也会向下激发 Si, 引起二次增强效应。理论计算式为

$$I_{Si(4)}^s = \frac{1}{2\sin\phi_1} \sum_{\lambda_{jg}}^{j_{ob}} C_{i4} K_{i4} C_{j3} K_{j3} \int_{\lambda_0}^{\lambda_{ob}^{j3}} I_0(\lambda) \mu_{j3}(\lambda) \mu_{i4}(\lambda_{j3}) \times \exp\{-[\mu_1(\lambda)\csc\phi_1 + \mu_1(\lambda_{i4})\csc\phi_2]d_1 - [\mu_2(\lambda)\csc\phi_1 + \mu_2(\lambda_{i4})\csc\phi_2]d_2 - \mu_3(\lambda_{i4})\csc\phi_2 d_3\} d\lambda \times \int_0^{d_3} \exp\{-[\mu_3(\lambda)\csc\phi_1(d_3 - x_j)]\} dx_j \int_0^{d_4} \exp[-\mu_4(\lambda_{i4})\csc\phi_2 x_i] dx_i \cdot E[\mu_3(\lambda_{j3})x_j + \mu_4(\lambda_{j3})x_i]$$

这里的积分项与(3)式不同, 因是上层膜 j 元素对下层膜 i 元素的层间激发, 需将其看作是入射束和出射束的变换, 则 $\mu_3(\lambda)\csc\phi_1$ 和 $\mu_4(\lambda_{i4})\csc\phi_2$ 也应作相应变换, 积分项写成

$$X(p, q, d_4, d_3) = \int_0^{d_3} \exp(qx_j) dx_j \int_0^{d_4} \exp(-px_i) dx_i \cdot E[\mu_3(\lambda_{j3})x_j + \mu_4(\lambda_{j3})x_i]$$

式中 $p = \mu_4(\lambda_{i4})\csc\phi_2$, $q = \mu_3(\lambda)\csc\phi_1$ 。运用积分变换可以得到

$$X(p, q, d_4, d_3) = V(d_4, d_3) + V(0, 0) - V(d_4, 0) - V(0, d_3)$$

各函数同样按(4), (5)两式求得, 于是第四层中 Si 元素的理论强度比是

$$R_{Si(4)}' = \frac{I_{Si(4)}^p + \sum I_{Si(4)}^s}{I_{Si(100)}}$$

因为 $I_{Si(2)}$ 和 $I_{Si(4)}$ 式中的 d_1, d_2, d_3 和浓度都已求得, 只要输入任意 d_4 厚度值, 就可计算其理论强度及强度比。

3 结果与讨论

用本文所述计算方法对磁光盘进行实际检测, 中间计算值与最后结果见表 1 和表 2。

表 1 和表 2 数据由软件运算获得。采用 Rh 靶理学 3063XRF 仪。Al, Si 工作电压 30 kV, 用 EDDT 分光晶体。Fe, Tb, Co 45 kV, LiF(200)。探测器用正比和闪烁计数器。

Table 1 The Result of Iteration Procedure

Film	R_i	$I_{i(100)}$	$I_{i(u)}$	$I_{i(s)}$	R_i	d (cm)	c (at.-%)
Al	7.57200×10^{-2}	2.56107	1.60645×10^{-1}	3.33229×10^{-2}	7.57269×10^{-2}	9.78552×10^{-6}	1.0000
Si ₃ N ₄ (Si)	9.59570×10^{-3}	2.42228	2.32417×10^{-2}	1.88249×10^{-6}	9.59572×10^{-3}	7.05551×10^{-6}	0.6000
Fe	1.43000×10^{-2}	1.29916	1.85176×10^{-2}	6.03654×10^{-5}	1.43000×10^{-2}		0.6796
Tb	9.45227×10^{-3}	0.97857	9.22270×10^{-3}	2.70734×10^{-5}	9.45227×10^{-3}	7.99081×10^{-6}	0.2603
Co	1.09275×10^{-3}	1.24207	1.35726×10^{-3}		1.09275×10^{-3}		0.0610
Si ₃ N ₄ (Si)	1.36596×10^{-2}	2.42228	3.30850×10^{-2}	2.36950×10^{-6}	1.36596×10^{-2}	1.58229×10^{-5}	0.6000

Table 2 Comparison of standard and XRF analyses of magneto-optic film

Film Thickness & Composition	Standard	XRF		Difference	
		No. 1	No. 2	No. 1	No. 2
1 Al(nm)	100.0	102.7	97.8	+2.7	-2.2
2 Si ₃ N ₄ (nm)	70.0	72.3	70.5	+2.3	+0.5
FeTbCo(nm)	80.0	79.5	79.9	-0.5	-0.1
3 Tb(at.-%)	68.00	68.20	67.96	+0.2	-0.04
Fe(at.-%)	26.00	25.86	26.03	-0.14	+0.03
Co(at.-%)	6.00	5.95	6.10	-0.05	+0.1
4 Si ₃ N ₄ (nm)	160.0	156.3	158.2	-3.7	-1.8

各层基本计算过程如图 4 所示。本文采用相似标样,各层化学值数据由国外厂家提供,用其检测工艺规范生产的产品。因采用相似膜标样,存在层内和层间次级激发,需将实验强度比转换为相对于纯元素厚样的相对强度比,以此作为近似浓度,厚度任意输入,都代入理论强度 $I_{i(u)}, I_{i(s)}$ 中,求得理论强度比,经迭代转换,达到收敛条件, $|C^n - C^{n-1}| < 0.001$, 同时解出厚度和组成,从结果可见,测定的 Si K_{α} 线实验总强度通过运算,可分别解出两层氮化硅膜的理论强度及其强度比,区别两层氮化硅膜。另外,次级荧光强度很低,若在运算中不予考虑,计算方法则更简便。本文随机抽查同一工艺的两批产品(No. 1, No. 2),尽管铝和氮化硅层与标准略有差异,但 TbFeCo 磁光记录层的厚度和组成与国外提供的工艺标准数据基本一致。可见,该测量计算方法是可行的。

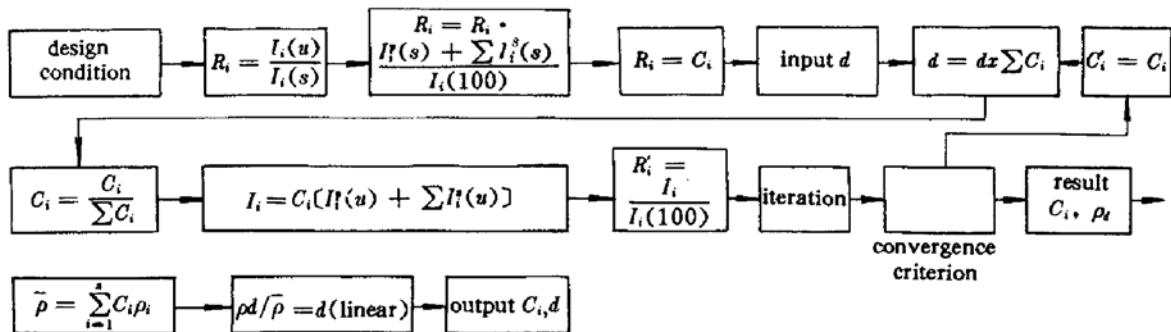


Fig. 4 Calculation procedure of a magneto-optic film

磁光盘中各层厚度计算实际上只使用了三个基本计算式:初级 X 荧光[计算式(1)],层内激发[计算式(8)]以及层间激发[计算式(2)],实际应用这些基本式时要充分考虑膜层结构及所含组分,并按照 $\lambda_j < \lambda_{ab}$ 关系来判断可能存在的层内和层间(向上和向下)激发,然后在基本

计算式基础上将指数项进行扩展。从总体上看,各层计算均可用统一的总式来表达,只是在各层具体计算时,要求代入不同的参数,这些都由用 C 语言编制的软件来完成。由于 X 荧光强度是浓度和厚度的函数,强度计算式不具备逆向性,式中所要求的浓度和厚度,只能通过实验强度比作近似处理,用迭代方程解出最终值,迭代次数一般 5~6 次收敛。对含有两个相同组成的膜层,可以用测定和计算 Si K_{α} 线来区分,理论计算式中的基本参数: $I_0(\lambda)$ 和 μ/ρ ,可用实验数据,也可用理论计算式编制软件模块供主程序调用。本文 Al K_{α} 和 Si K_{α} 线强度是用 Rh 靶 X 光管 30 kV 工作电压下测量得到的,因无现成的实验谱分布数据可查,故全部计算式中所需的谱强度分布数据都采用理论计算式获得^[5],并在强度积分计算中使用辛普生积分法。标样可采用纯元素块状或磁光薄膜。计算方法不仅可用于检测磁光盘的厚度和组成,而且可应用于多层结构合金膜,是一种无损、快速、精确度较高的定量检测方法。

参 考 文 献

1. T. Shiraina, N. Fujino. Theoretical formulas for film thickness measurement by means of fluorescence X-ray. *Adv. X-Ray Anal.*, 1968, **12**:446
2. James E. Willis. Enhancement between layers in multiple-layer thin-film samples. *X-Ray Spectrom.*, 1989, **18**:148~149
3. M. Mantler. X-Ray fluorescence analysis of multiple-layer films. *Analytica Chimica Acta*, 1986, **188**:25~35
4. P. K. G. de Boer. Calculation of X-ray fluorescence intensities from bulk and multilayer samples. *X-Ray Spectrom.*, 1990, **19**:145~154
5. P. A. Pella, L. Y. Feng, J. A. Small. An analytical algorithm for calculation of spectral distribution of X-ray tubes for quantitative X-ray fluorescence analysis. *X-Ray Spectrom.*, 1985, **14**(3):125~135
6. R. Tertian. Spectral intensity distribution from X-ray tubes calculated versus experimental evaluations. *X-Ray Spectrom.*, 1984, **13**(3):134~141
7. T. P. Think, J. Lerour. Calculation of mass attenuation coefficients. *X-Ray Spectrom.*, 1979, **8**(2):148

Quantitative Calculation Method of Thickness of a Al/Si₃N₄/TbFeCo/Si₃N₄ Magneto-optic Disk

Sui Songshan Wei Jun

(University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract A fundamental parameter XRF method for the determination of thickness and composition of a magneto-optic disk was studied. The measured Al K_{α} line was used to calculate Al layer, while both Si₃N₄ layers were measured by total Si K_{α} intensities to discriminate each Si₃N₄ layer. A fundamental parameter method was used for calculations of magneto-optic layers by Fe K_{α} , Co K_{α} and Tb L_{α} Lines. Equations can be evaluated readily by a computer. The result is in good agreement with the standard sample.

Key words magneto-optic disk, fundamental parameter method, thickness and composition of films