

用相位调制方法测量光盘盘基应力 双折射的精度分析

朱 莉 李锡善 徐文东

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 偏振相位调制方法是测量微小双折射的一种高精度检测方法。本文系统全面地分析了以PMCSA结构形式测量光盘盘基应力双折射的相位调制方法中, 由各种误差源造成的对测试结果的影响。

关键词 相位调制, 精度分析。

1 引 言

偏振调制测量方法利用调制元件在光路中某一合适的位置将光束的偏振态按预定方式加以调制, 从最终生成的、随时间变化的探测光电流的谐波分析中取得待测样品的双折射(或相位延迟)信息, 而被用来进行高精度地测定样品的双折射, 本文提出了一种偏振调制检测装置, 并试图从其光源、偏振光学元件、光电探测器等整个系统的组成全面地分析各种误差源引起的对测量精度的影响, 充分考虑到光源的不稳定性、光学元件的光学缺陷以及探测器的灵敏度等等。通过研究各种误差源对精度的影响, 有利于积极地寻找修正这些误差的方法, 进一步提高其精度。

2 检测系统

图1所示是该偏振调制检测方法的原理图, 系统采用起偏器-调制器-补偿器(1/4波片)-待测样品-检偏器(即PMCSA)布局, 第一块四分之一波片(Q)的作用是使激光器出射的线偏

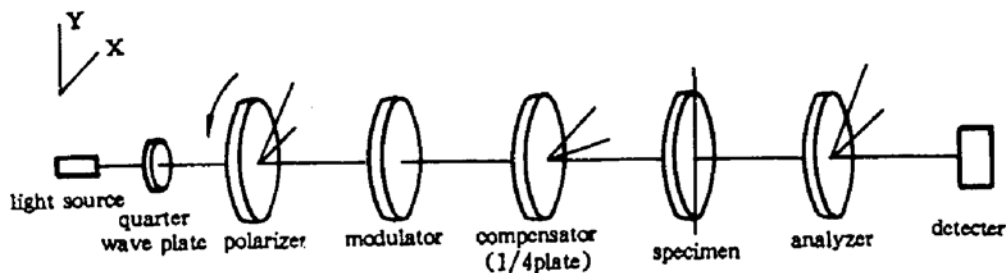


Fig. 1 Schematic diagram of the principle of the system

振光转换成圆偏振光。各偏振元件的透光轴或快、慢轴方位角如图 1 所示，起偏器可以旋转，四分之一波片快轴与 X 轴成 -45° ，样品的应力主轴方向与 Y 轴重合，检偏器的透光轴与 X 轴成 45° 。

利用琼斯矩阵理论可以很容易得出该系统下的输出光强

$$I = I_0[1 + \cos(2p - \delta - \pi/2 - 2M)] \quad (1)$$

式中 I_0 为光学系统输出的平均光强， p 为旋转起偏器的角度， δ 为样品的相位延迟量， M 为磁光调制器的法拉第旋转角， $M = M_0 \sin \omega t$ 。

采用相位探测手段，旋转起偏器，当光电探测器的输出信号是二次谐波分量时（此时，示波器上显示波形的频率是调制器调制波形频率的二倍），可以从起偏器的角度方便地计算出样品的相位延迟量

$$\delta = 2p + \pi/2 \quad (2)$$

3 精度分析

从装置中可以看到该系统主要由光源、偏振光学元件、光电探测器三部分组成，所以其精度分析也就从这三个部分展开。

3.1 光 源

激光光源输出的不稳定性几乎是不可避免的，这种不稳定性可由各种因素产生，它们是：

- 1) 输入信号(注入电流)的变化使激光输出波动；
- 2) 由反向饱和电流变化产生的温度变化也可引起输出波动；
- 3) 内腔的微小变形；
- 4) 环境温度、湿度变化所引起的输出不稳定。

在图 1 所示装置中，由于输出光强的波动，光学系统的输出为：

$$I = I_0(1 \pm \Delta I)[1 + \cos(2p - \delta - \pi/2 - 2M)] \quad (3)$$

式中， $I_0(1 + \Delta I)$ 表示激光输出强度的变化。本文采用的是相位探测手段，仅与(3)式中相位因子有关。输出光强变化使示波器上条纹的对比度发生变化，输出变小，对比度降低，从而使对条纹形状的判断准确性降低，也就降低了起偏器旋转角度的判读精度。实验结果表明，激光器输出强度的变化幅度低于 3%，由于人眼的有限分辨率，可认为条纹的对比度未发生明显变化，不影响对其形状的判断。由此，可以认为，输出光强的变化对测量结果没有影响。

实际上，光源输出的不稳定除了上面讨论的光强变化外，还包括偏振态的改变。激光输出的是线偏振光，经与偏振方向成 45° 的四分之一波片后，以圆偏振光形式入射到起偏器上，当输出激光的偏振态发生改变时，入射到起偏器上的是椭圆偏振光。

令 $S(p)$ 表示由光源偏振变化引起的、在起偏器之后的光强随起偏器方位角的变化，入射到探测器上的光强按以下方式变化

$$I = I_0 S(p)[1 + \cos(2p - \delta - \pi/2 - 2M)] \quad (4)$$

如果对于所有的 p 值，

$$S(p) \neq 0$$

只有当 $2p - \delta - \pi/2 = -\pi$ 时，一次谐波分量消失，调制信号只产生二次谐波分量，这个条件由光路决定，与 $S(p)$ 无关，也就是说，消光的确切方位角位置与光源的偏振态无关。

就上面的讨论得出结论,在光电探测器响应范围以内,激光器输出强度和偏振态的变化不会影响最后的测试结果。

3.2 偏振光学元件

在偏振调制测量的方法中,各偏振元件无疑是最重要的组成部分,它们的性能好坏对测试结果的影响也最大。与偏振元件有关的误差源有:①方位角误差;②偏振元件的光学缺陷;③光束偏离误差。下面,将就这几种误差加以详细讨论。

3.2.1 方位角误差

引起方位角误差的原因可能有两个:①刻度盘残留的校准误差,其值是恒定的;②偏振元件定位不准带来的误差,其值随元件的重新放置或元件的改换而变化。下面分别讨论起偏器、检测器、四分之一波片、待测样品存在方位角误差所带来的影响。

1) 起偏器 当起偏器存在方位角误差时,其透光轴方位角可写成

$$p = p_0 + \delta p \quad (5)$$

式中 p_0 为起偏器方位角读数, δp 是对这一方位角的附加修正以给出方位角正值 p_0 系统输出光强为

$$I = I_0 [1 + \cos(2p_0 + 2\delta p - \delta - \pi/2 - 2M)] \quad (6)$$

与(1)式相比较可以看到,方位角误差 δp 以其二方位角误差的形式直接反映在测量结果上。

2) 检偏器 同样,当检偏器存在方位角误差时,其透光轴方位角可写成

$$A = A_0 + \delta A \quad (7)$$

式中 A_0 为起偏方位角读数。 δA 是对这一方位角的附加修正经给出方位角正值 A_0 检偏器的琼斯矩阵可表示为

$$J_A = \begin{vmatrix} \cos^2 A & (1/2) \sin 2A \\ (1/2) \sin 2A & \sin^2 A \end{vmatrix} \quad (8)$$

令 $E_i = \begin{vmatrix} E_{ix} \\ E_{iy} \end{vmatrix}$ 为入射到检偏器上偏振光的偏振形态,那么, E_i 经检偏器的输出 E_o 为

$$E_o = \begin{vmatrix} E_{ox} \\ E_{oy} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} |E_{ox}| \exp(i\delta_{ox}) \\ |E_{oy}| \exp(i\delta_{oy}) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos^2 A E_{ix} + (1/2) \sin 2A E_{iy} \\ (1/2) \sin 2A E_{ix} + \sin^2 A E_{iy} \end{vmatrix} \quad (9)$$

x 、 y 两个偏振分量的比值写为

$$E_{ox}/E_{oy} = (|E_{ox}|/|E_{oy}|) \exp[i(\delta_{ox} - \delta_{oy})] = \tan \beta \exp(i\Delta) \quad (10)$$

$$\tan \beta = |E_{ox}|/|E_{oy}|, \quad \Delta = \delta_{ox} - \delta_{oy} \quad (11)$$

根据(11)式, β 的正切代表了 x 与 y 偏振分量因检偏器方位角引起的振幅衰减之比, Δ 表示 x 与 y 偏振分量经受的相位移动。将(9)式带入(10)式,经化简得,

$$E_{ox}/E_{oy} = c \tan A = c \tan(A_0 + \delta A) \quad (12)$$

将(12)式与(10)式相比,可以看出,检偏器方位角误差仅改变了两个垂直偏振分量(x , y)的振幅衰减之比,而对这两个分量的相位差没有影响,也就是说,检偏器的方位角误差对最后测试结果没有影响。

3) 1/4 波片(补偿器) 同样,当 1/4 波片存在方位角误差时,其方位角以下式表示

$$C = C_0 + \delta C \quad (13)$$

此时, 1/4 波片的琼斯矩阵为

$$J_c = \begin{vmatrix} 1 - i \cos 2C & -i \sin 2C \\ -i \sin 2C & 1 + i \cos 2C \end{vmatrix} \quad (14)$$

经计算, 光学系统输出线偏振光能为

$$I = I_r [1 - 1 \sin \delta \sin (2p - 2M - 2C) + 1 \cos \delta \sin 2C \cos (2p - 2M - 2C)] \quad (15)$$

图 1 中的补偿是 $C_0 = -45^\circ$, 方位角误差 $\delta C < 0.5^\circ$, 可近似认为

$$\sin 2C \cong \sin (-90^\circ) = -1 \quad (16)$$

(15)式变成

$$I = I_0 [1 + 1 \cos (2p - \pi/2 - 2\delta C - \delta - 2M)] \quad (17)$$

(17)式的相位因子与(1)式中的相位因子相比较, 显而易见, 方位角误差以二倍角形式反映到测量结果上。测量误差以下式表示

$$\Delta\delta = -2\delta C \quad (8)$$

图 2 表示出 $\Delta\delta$ 与四分之一波片方位角误差 δC 的关系。

4) 待测样品 当样品存在方位角误差时, 其琼斯矩阵可以下式表示:

$$J_s = \begin{vmatrix} \cos(\delta/2) + i \sin(\delta/2) \cos 2\theta & i \sin(\delta/2) \sin 2\theta \\ i \sin(\delta/2) \sin 2\theta & \cos(\delta/2) - i \sin(\delta/2) \cos 2\theta \end{vmatrix} \quad (19)$$

式中 $\theta = \theta_0 + \delta\theta$ 表示样品的方位角。图 1 中样品的 $\theta_0 = 90^\circ$, $\delta\theta$ 一般很小 ($\delta\theta < 1^\circ$), 所以 $\cos 2\theta = -1$, $\sin 2\theta = -2\delta\theta$ 。于是(19)式变成

$$J_s = \begin{vmatrix} \cos(\delta/2) - i \sin(\delta/2) & -i2\delta\theta \sin(\delta/2) \\ -i2\delta\theta \sin(\delta/2) & \cos(\delta/2) + i \sin(\delta/2) \end{vmatrix} \quad (20)$$

根据(20)式, 计算系统输出光强为

$$I = I_0(1 + 4\delta\theta^2 \sin^2(\delta/2) + I_0[\sin(2p - \delta - 2M) + 4\delta\theta^2 \sin^2(\delta/2) \sin(2p - 2M)]) \quad (21)$$

当调制信号只产生二次谐波时,

$$-\tan 2p = (1 - 2\delta\theta^2)c \tan \delta + 2\delta\theta^2/\sin \delta \quad (22)$$

$\delta\theta = 0^\circ$ 即样品没有方位角误差时, 由(22)式

$$\delta = 2p_1 + \pi/2 \quad (23)$$

式中, p_1 表示不存在误差时起偏器的角度。

$\delta\theta \neq 0^\circ$ 即样品存在方位角误差时, 由(22)式知道, δ 是 $2p_2$ 的函数, p_2 表示存在方位角误差时旋转起偏器的角度。根据(22)式、(23)式, $2p_2$ 与 $2p_1$ 之间的关系可以用下式表示

$$-\tan 2p_2 = -(1 - 2\delta\theta^2) \tan 2p_1 + 2\delta\theta^2/\cos 2p_1 \quad (24)$$

显然, $2p_2$ 与 $2p_1$ 之间的差值就反映了由方位角误差引起的关于相位延迟的 δ 的测量误差, 以 $\Delta\delta$ 表示这个误差值

$$\Delta\delta = 2p_2 - 2p_1 \quad (25)$$

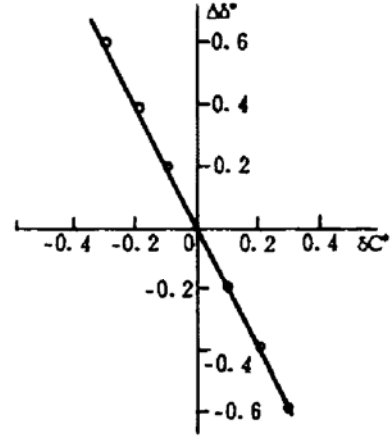


Fig. 2 Distribution of $\Delta\delta$ about $1/4$ plate azimuth error

图 3 给出不同的方位角误差下 δ 与 $\Delta\delta$ 的关系。从图 3 可以看出, 方位角误差对测量结果的影

响非常小。

3.2.2 偏振元件的光学缺陷

这里，偏振元件的光学缺陷主要指起偏器、检偏器的有限消光比，补偿器的相位延迟量不准确。

另外，还有其它的一些光学缺陷，比如 1/4 波片前后窗的应力双折射、补偿器的旋光性等等，前者等效于给补偿器附加了一个相位延迟，其影响等同于补偿器的相位延迟量不准确，而后者则等效于给补偿器附加了一个方位角误差，因此，这两种光学缺陷的影响就不再单独分析。

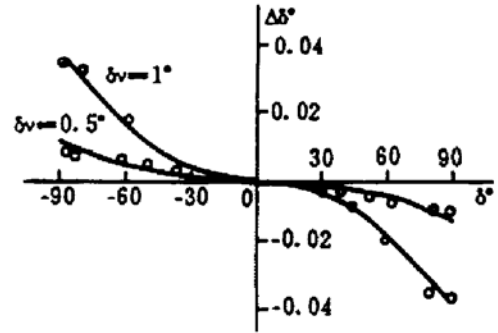


Fig. 3 Distribution of $\Delta\delta$ about specimen azimuth error

1) 起偏器消光比 理想的线性起偏器可以自由地让入射线偏振光传播，或者对它完全消光，但实际的起偏并不能完全消光，下式给出存在有限消光比的实际起偏器的琼斯矩阵，

$$J_p = \begin{vmatrix} \cos 2p & (1/2) \sin 2p \\ (1/2) \sin 2p & \sin 2p \end{vmatrix} + a_p \begin{vmatrix} \cos 2(p + \pi/2) & (1/2) \sin 2(p + \pi/2) \\ (1/2) \sin 2(p + \pi/2) & \sin 2(p + \pi/2) \end{vmatrix} \quad (26)$$

式中 a_p 表示与起偏器消光比有关的系数， $|a_p| \ll 1$ ，当 $a_p = 0$ 时，(26)式表示一理想的线性起偏器。经实际起偏器后，偏振光以下式表示

$$E_i = \begin{vmatrix} \cos p \\ \sin p \end{vmatrix} + a_p \begin{vmatrix} \cos (p + \pi/2) \\ \sin (p + \pi/2) \end{vmatrix} \quad (27)$$

可见，由于 a_p 的存在，起偏器不能完全消光。经计算，光学系统输出光强为

$$I = I_0[(1 + a_p) + (1 - a_p) \cos (2p - \delta - \pi/2 - 2M)] \quad (28)$$

与(1)式相比较，(28)式的直流项与交流项的系数不同，这只会影响干涉信号的对比度，而对相位的探测结果没有影响。

2) 检偏器的消光比 同样，当检偏器存在有限的消光比时，在与其透光轴正交的方向上也存在偏振分量，以下式表示该装置中 45°方位角放置的实际检偏器的琼斯矩阵

$$J_A = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} + a_A \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \quad (29)$$

式中 a_A 是与消光比有关的参数。光学系统输出光强为

$$I = I_0[(1 + a_A) + (1 - a_A) \cos (2p - \delta - \pi/2 - 2M)] \quad (30)$$

可见，(30)式与(28)式有相似的形式，表明检偏器有限的消光比不会影响相位探测结果。

3) 1/4 波片相位不准确 当 1/4 波片的相位延迟量不精确等于 $\pi/2$ 时，波片的琼斯矩阵可写成

$$J_c = \begin{vmatrix} \cos (\psi/2) & i \sin (\psi/2) \\ i \sin (\psi/2) & \cos (\psi/2) \end{vmatrix} \quad (31)$$

式中 ψ 为波片的实际相位差。光学系统输出光强为

$$I = I_0[1 - \sin \psi \sin \delta \cos (2p - 2M) + \cos \delta \sin (2p - 2M)] \quad (32)$$

检测信号只产生倍频光时, $\tan \delta = -c \tan 2p/\sin \psi$ 。

$$\textcircled{1} \text{ 当 } \psi = 90^\circ \text{ 时, } \tan \delta = -c \tan 2p_1 \tag{33}$$

式中, p_1 表示没有误差时的起偏器角度。

$$\textcircled{2} \text{ 当 } \psi \neq 90^\circ \text{ 时, } \tan \delta = -c \tan 2p_2/\sin \psi \tag{34}$$

式中, p_2 表示在延迟量为 ψ 时起偏器的旋转角度。

显然, $2p_2$ 与 $2p_1$ 之间的差值就反映了由 ψ 引起的关于 δ 的测量误差, 同样以 $\Delta\delta$ 表示这个误差值

$$\Delta\delta = 2p_2 - 2p_1 \tag{35}$$

根据(32)式、(34)式, $2p_2$ 与 $2p_1$ 有关系

$$\tan 2p_2/\tan 2p_1 = 1/\sin \psi \tag{36}$$

图 4 给出在不同的偏差下 δ 与 $\Delta\delta$ 的关系。从图 4 可以明显看出, 当 ψ 偏离真值越大时, 测量误差显著增大。

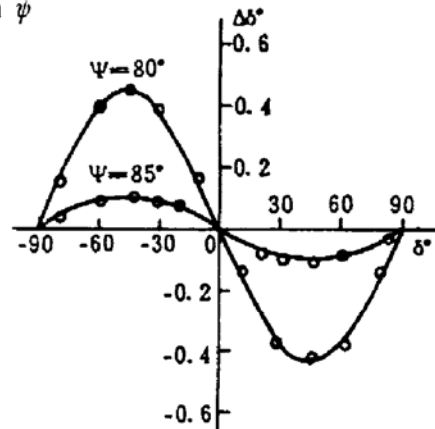


Fig. 4 Distribution of $\Delta\delta$ about inaccuracy of 1/4 plate phase

3.2.3 光束偏离误差

如果光学元件的端面不严格平行, 则入射光束通过该元件透射出来时便会有—的角偏离。用 η 表示这个光束角偏离, 它与光学元件两端面之间的小楔角成正比,

$$\eta = \eta' (n - 1)/n \tag{37}$$

式中 η' 和 n 分别是该元件的楔形角和折射率。当旋转该元件时, 透射光束描出一顶角为 η 、轴向沿入射光束方向的圆锥。在图 1 的装置中, 是通过起偏器的旋转来得到测量值的, 因而, 由起偏器引起的光束偏离是造成测量误差的一个来源。光束偏记主要是通过它对入射角的影响来完成的, 由于光束偏离的原因, 相位延迟的计算值所对应的角度值异于刻度盘上的读数。在图 1 所示的 PMCSA 布局中, 调制器 M 和补偿器 C 放在起偏器 P 和样品 S 之间, 这时还应考虑由 M 和 C 引起的、可能存在的光束偏离。但是, 由于这两个元件是固定的, 所以它们的影响只不过是起偏器旋转造成的可变偏离值上迭加上一恒定的偏离。如果已知 M 和 C 的楔角及表面单位法线的取向, 则能够计算出这一恒定偏离。因此, 下面, 本文仅讨论旋转起偏器造成的偏离的影响。

光束未经偏离时的入射角是 0° , 不难理解, 盘基上入射光束对应的入射角即是光束偏离角 η 。光盘盘基相位延迟与光线入射角的关系可由下式表示,

$$\delta = 2\pi d/\lambda [\sqrt{n_1^2 - \sin^2 i} - n_2/n_3 \sqrt{n_3^2 - \sin^2 i}] \tag{38}$$

其中 i 是入射角。 $i = 0$ 时,

$$\delta_0 = 2\pi d/\lambda [n_1 - n_2] \tag{39}$$

$i = \eta \neq 0$ 时, δ_η 不仅与 η 有关, 还与 n_3 有关,

$$\delta_\eta = 2\pi d/\lambda [\sqrt{n_1^2 - \sin^2 \eta} - n_2/n_3 \sqrt{n_3^2 - \sin^2 \eta}] \tag{40}$$

η 一般都很小, 可以 $\sin \eta = \eta$ 近似代替。作进一步假设, 因为 $n_1 - n_2 \ll 1$, 可假设 $n_1 = n_2$ 。因此, 由 η 引起的相位误差为

$$\Delta\delta = \delta_\eta - \delta_0 = (2\pi d/\lambda n_3) [n_3 \sqrt{n_1^2 - \eta^2} - n_1 \sqrt{n_3^2 - \eta^2}] \tag{41}$$

根据(41)式, 当光束存在很小偏离 (η 很小) 时, 由它千万的相位测量误差 $\Delta\delta$ 与 η 有比较

复杂的关系。由固定的检偏器造成的光束偏离使入射光电探测器上的光束发生进动，这一效应类似于对偏振灵敏的光电响应引起的变化，下面将证明这种光电响应对测试结果没有什么影响。

3.3 光电探测器

一般来说，光电探测器的响应是其上入射光束的偏振态的函数。装置中检测光路的最后一个光学元件是检偏器，从检偏器出射的光是线偏振光。检偏器的方位角是固定不变的，令 $D(A)$ 表示与偏振有关的光电探测器的灵敏度，则检测信号可写成

$$I = I_0 D(A) [1 + \cos(2p - \delta - \pi/2 - 2M)] \quad (42)$$

如果将(42)式与(4)式相比较，则立即可以看到，与偏振有关的光电探测器灵敏度的影响类似于光源光束偏振变化的影响。因此也就不能得出结论，起偏器旋转方位角的设置不受 $D(A)$ 的影响，这也意味着 $D(A)$ 不会影响相位的测量结果。

3.4 其它误差

光束实际具有的性质与通常所认为的性质之间的差异，也会引起一些很小的误差，一般认为光束是 1) 带宽很小或带宽可以忽略的单色光；2) 完全准直；3) 在光束的横截面范围内偏振是均匀的。上述的每一种情况都表示一种理想情况，必须考虑这种理想状态的偏离所造成的影响。定量地分析这些误差带来的影响是非常困难的，作者仅定性地加以解释。

3.4.1 带宽的影响

激光光束是一个具有非常小的带宽的准单色光。各个偏振元件的光学性质以及待测样品的光学性质决定了它们对光的偏振态的影响，应当把这些性质理解为是对光束光谱宽度的平均值。光学元件和样品的光学性质与波长有关，分析研究带宽对测量结果的影响是十分困难的。如果仅考虑对 $1/4$ 波片的影响，波片的相位延迟

$$\delta = (2\pi/l)d\Delta n \quad (43)$$

当存在一定带宽 $\Delta\lambda$ 时，波片的相位延迟量随之变化

$$\Delta\delta = (2\pi/\Delta\lambda)d\Delta n \quad (44)$$

这种延迟量的变化对测试结果的影响已在前面讨论过。

3.4.2 完全准直和偏振分布非均匀的影响

实际的激光光束并非是完全准直的，具有很小的光束发散角，这会造成入射角误差。这种效应应类似于光束偏离误差，这种误差前面已经讨论过了。如果置放在光路中的元件所覆盖的区域内具有非均匀偏振性质，那么就会造成在光束波前范围内，偏振分布的不均匀。在光束截面内偏振的非均匀分布是测量的一个误差来源，它使测量结果有一定宽度分布。

4 结 论

从上面的精度分析可以看出，相位检测不受下述因素的影响：1) 光源输出的不稳定性；2) 检偏器的方位角误差；3) 起偏器和检偏器有限的消光比；4) 与偏振有关的光电探测器灵敏度。其它缺陷将影响相位检测精度。

由于起偏器、 $1/4$ 波片的方位角误差直接以其二倍角形式反映在测量结果上，因而起偏器、 $1/4$ 波片定位的准确性显得很重要。这些元件以及样品的定位精度与探测电路的精度有关。实验中，探测电路未经特殊设计，仅采用一低噪声放大电路笔带通有源滤波器，用示波器直接观察检测波形。这种电路噪声较大但已能满足较高精度要求，其精度约为 $10''$ ($0.$

0003°)。此种条件下,起偏器、1/4 波片造成的测量误差 $\Delta\delta_1$ 、 $\Delta\delta_2$ 均为 0.006°, 样品定位引起的 $\Delta\delta_3$ 小于 10^{-10} , 完全可以忽略其对测量结果的影响。

起偏器两端面不平行引起的光束偏离 $\eta < 0.0045$ rad, 由此造成的测量误差 $\Delta\delta_4$ 约为 0.0027°。1/4 波片相位偏差 $< 2^\circ$, 它对测量精度的影响 $\Delta\delta_5$ 小于 0.012°。

综合上述各种误差因素,考虑 $\Delta\delta_1$ 、 $\Delta\delta_2$ 、 $\Delta\delta_3$ 、 $\Delta\delta_4$ 和 $\Delta\delta_5$ 对测试精度的影响。若以均方差作为该方法测量精度的标准,它们对精度的贡献可以下式表示

$$\Delta\delta = \sqrt{\Delta\delta_1^2 + \Delta\delta_2^2 + \Delta\delta_3^2 + \Delta\delta_4^2 + \Delta\delta_5^2} \quad (45)$$

上式意味着均方差的平方等于各种误差的平方之和。

根据(45)式,代入各已知数值,该方法的检测精度约为 0.015°。对单通推迟量而言,误差小于 0.03 nm。经典的目视消光法由于受到消光点位置判断精度等因素的影响,它的测量误差可达几个纳米,与偏振相位调制方法相比较,后者的精度提高了二个数量级。

参 考 文 献

- [1] R. M. A. Azzam, N. M. Bashara, *Ellipsometry and Polarized Light*, North-Holland Publishing Company, 1977
- [2] R. M. A. Azzam, N. M. Bashara, Choice of compensator azimuth and position in ellipsometry. *J. Opt. Soc. Am.*, 1972, **62**: 700
- [3] R. C. O'Handley, Modified Jones calculus for the analysis of errors in polarization-modulation ellipsometry. *J. Opt. Soc. Am.*, 1973, **63**: 523

Precision Analysis of Phase-Modulation Method for Measuring Stress Birefringence of Optical-Disk Substrate

Zhu Li Li Xishan Xu Wendong

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 29 December 1994; revised 28 March 1995)

Abstract Polarized phase-modulation method is used to measure small birefringence with high precision. The effects on measuring results caused by some kinds of error sources in this method using PMCSA form for measuring optical disk substrate are analyzed. Results obtained show that the precision is within 0.03 nm.

Key words phase-modulation, precision analysis.