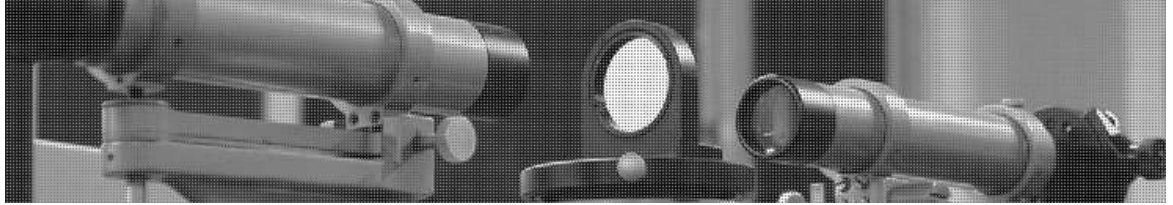


椭圆仪测量薄膜厚度和折射率



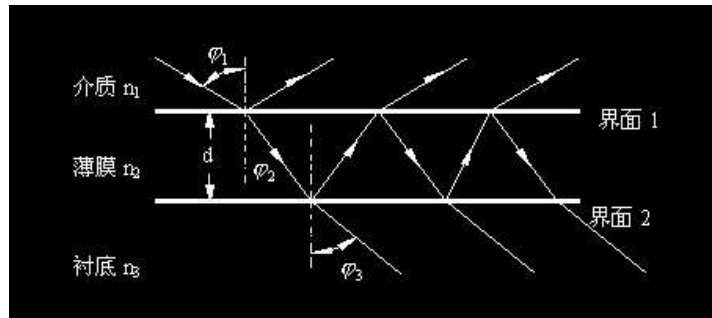
[仪器介绍](#) | [习题](#) | [仪器使用维护方法](#) | [问题交流](#)

■ 实验背景介绍

椭圆偏振测量(椭圆术)是研究两媒质界面或薄膜中发生的现象及其特性的一种光学方法,其原理是利用偏振光束在界面或薄膜上的反射或透射时出现的偏振变换。椭圆偏振测量的应用范围很广,如半导体、光学掩膜、圆晶、金属、介电薄膜、玻璃(或镀膜)、激光反射镜、大面积光学膜、有机薄膜等,也可用于介电、非晶半导体、聚合物薄膜、用于薄膜生长过程的实时监测等测量。结合计算机后,具有可手动改变入射角度、实时测量、快速数据获取等优点。

■ 实验原理

在一光学材料上镀各向同性的单层介质膜后,光线的反射和折射在一般情况下会同时存在的。通常,设介质层为 n_1 、 n_2 、 n_3 , φ_1 为入射角,那么在1、2介质交界面和2、3介质交界面会产生反射光和折射光的多光束干涉,如图(1-1)



图(1-1)

这里我们用 2δ 表示相邻两分波的相位差,其中 $\delta=2\pi n_2 d \cos\varphi_2/\lambda$,用 r_{1p} 、 r_{1s} 表示光线的p分量、s分量在界面1、2间的反射系数,用 r_{2p} 、 r_{2s} 表示光线的p分、s分量在界面2、3间的反射系数。由多光束干涉的复振幅计算可知:

$$\vec{E}_{rp} = \frac{r_{1p} + r_{2p} e^{-i2\delta}}{1 + r_{1p} r_{2p} e^{-i2\delta}} \vec{E}_{ip} \quad (1)$$

$$\vec{E}_{rs} = \frac{r_{1s} + r_{2s} e^{-i2\delta}}{1 + r_{1s} r_{2s} e^{-i2\delta}} \vec{E}_{is} \quad (2)$$

其中 E_{ip} 和 E_{is} 分别代表入射光波电矢量的p分量和s分量, E_{rp} 和 E_{rs} 分别代表反射光波电矢量的p分量和s分量。现将上述 E_{ip} 、 E_{is} 、 E_{rp} 、 E_{rs} 四个量写成一个量G,即:

$$G = \frac{E_{rp} / E_{rs}}{E_{ip} / E_{is}} = \operatorname{tg} \psi e^{i\Delta} = \frac{r_{1p} + r_{2p} e^{-i2\varphi}}{1 + r_{1p} r_{2p} e^{-i2\delta}} \cdot \frac{r_{1s} + r_{2s} e^{-i2\varphi}}{1 + r_{1s} r_{2s} e^{-i2\delta}} \quad (3)$$

我们定义G为反射系数比，它应为一个复数，可用 $\operatorname{tg}\psi$ 和 Δ 表示它的模和幅角。上述公式的过程量转换可由菲涅耳公式和折射公式给出：

$$\begin{cases} r_{1p} = (n_2 \cos \varphi_1 - n_1 \cos \varphi_2) / (n_2 \cos \varphi_1 + n_1 \cos \varphi_2) & (4) \\ r_{2p} = (n_3 \cos \varphi_2 - n_2 \cos \varphi_3) / (n_3 \cos \varphi_2 + n_2 \cos \varphi_3) & (5) \\ r_{1s} = (n_1 \cos \varphi_1 - n_2 \cos \varphi_2) / (n_1 \cos \varphi_1 + n_2 \cos \varphi_2) & (6) \\ r_{2s} = (n_2 \cos \varphi_2 - n_3 \cos \varphi_3) / (n_2 \cos \varphi_2 + n_3 \cos \varphi_3) & (7) \\ 2\delta = 4\pi d n_2 \cos \varphi_2 / \lambda & (8) \\ n_1 \cos \varphi_1 = n_2 \cos \varphi_2 = n_3 \cos \varphi_3 & (9) \end{cases}$$

G是变量 n_1 、 n_2 、 n_3 、 d 、 λ 、 φ_1 的函数(φ_2 、 φ_3 可用 φ_1 表示)，即 $\psi = \operatorname{tg}^{-1} f$ ， $\Delta = \operatorname{arg}|f|$ ，称 ψ 和 Δ 为椭圆参数，上述复数方程表示两个等式方程：

$[\operatorname{tg}\psi e^{i\Delta}]$ 的实数部分 =

$$\left[\frac{r_{1p} + r_{2p} e^{-i2\varphi}}{1 + r_{1p} r_{2p} e^{-i2\delta}} \cdot \frac{r_{1s} + r_{2s} e^{-i2\varphi}}{1 + r_{1s} r_{2s} e^{-i2\delta}} \right]$$

的实数部分

$[\operatorname{tg}\psi e^{i\Delta}]$ 的虚数部分 =

$$\left[\frac{r_{1p} + r_{2p} e^{-i2\varphi}}{1 + r_{1p} r_{2p} e^{-i2\delta}} \cdot \frac{r_{1s} + r_{2s} e^{-i2\varphi}}{1 + r_{1s} r_{2s} e^{-i2\delta}} \right]$$

的虚数部分

若能从实验测出 ψ 和 Δ 的话，原则上可以解出 n_2 和 d (n_1 、 n_3 、 λ 、 φ_1 已知)，根据公式(4)~(9)，推导出 ψ 和 Δ 与 r_{1p} 、 r_{1s} 、 r_{2p} 、 r_{2s} 、和 δ 的关系：

$$\operatorname{tg} \psi = \left[\frac{r_{1p}^2 + r_{2p}^2 + 2r_{1p} r_{2p} \cos 2\delta}{1 + r_{1p}^2 r_{2p}^2 + 2r_{1p} r_{2p} \cos 2\delta} \cdot \frac{1 + r_{1s}^2 r_{2s}^2 + 2r_{1s} r_{2s} \cos 2\delta}{r_{1s}^2 + r_{2s}^2 + 2r_{1s} r_{2s} \cos 2\delta} \right]^{1/2} \quad (10)$$

$$\Delta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{-r_{2p}(1 - r_{1p}^2) \sin 2\delta}{r_{1p}(1 + r_{2p}^2) + r_{2p}(1 + r_{1p}^2) \cos 2\delta} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{-r_{2s}(1 - r_{1s}^2) \sin 2\delta}{r_{1s}(1 + r_{2s}^2) + r_{2s}(1 + r_{1s}^2) \cos 2\delta} \quad (11)$$

由上式经计算机运算，可制作数表或计算程序。这就是椭圆仪测量薄膜的基本原理。若 d 是已知， n_2 为复数的话，也可求出 n_2 的实部和虚部。那么，在实验中是如何测定 ψ 和 Δ 的呢？现用复数形式表示入射光和反射光：

$$\vec{E}_{ip} = |E_{ip}| e^{i\beta_{ip}} \quad \vec{E}_{is} = |E_{is}| e^{i\beta_{is}} \quad \vec{E}_{rp} = |E_{rp}| e^{i\beta_{rp}} \quad \vec{E}_{rs} = |E_{rs}| e^{i\beta_{rs}} \quad (12)$$

由式(3)和(12)，得：

$$G = \operatorname{tg} \psi e^{i\Delta} = \frac{|E_{rp} / E_{rs}|}{|E_{ip} / E_{is}|} e^{i\{(\beta_{rp} - \beta_{rs}) - (\beta_{ip} - \beta_{is})\}} \quad (13)$$

其中：

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{|E_{rp} / E_{rs}|}{|E_{ip} / E_{is}|}, \quad e^{i\Delta} = e^{i((\beta_{rp} - \beta_{rs}) - (\beta_{ip} - \beta_{is}))} \quad (14)$$

这时需测四个量，即分别测入射光中的两分量振幅比和相位差及反射光中的两分量振幅比和相位差，如设法使入射光为等幅椭圆偏光， $E_{ip}/E_{is} = 1$ ，则 $\operatorname{tg} \psi = |E_{rp}/E_{rs}|$ ；对于相位角，有：

$$\Delta = (\beta_{rp} - \beta_{rs}) - (\beta_{ip} - \beta_{is}) \Rightarrow \Delta + \beta_{ip} - \beta_{is} = \beta_{rp} - \beta_{rs} \quad (15)$$

因为入射光 $\beta_{ip}-\beta_{is}$ 连续可调，调整仪器，使反射光成为线偏光，即 $\beta_{rp}-\beta_{rs}=0$ 或 (π) ，则 $\Delta=-(\beta_{ip}-\beta_{is})$ 或 $\Delta=\pi-(\beta_{ip}-\beta_{is})$ ，可见 Δ 只与反射光的p波和s波的相位差有关，可从起偏器的方位角算出。对于特定的膜， Δ 是定值，只要改变入射光两分量的相位差 $(\beta_{ip}-\beta_{is})$ ，肯定会找到特定值使反射光成线偏光， $\beta_{rp}-\beta_{rs}=0$ 或 (π) 。

■ 实际检测方法

- 等幅椭圆偏振光的获得(实验光路如图1-2)
 - 平面偏振光通过四分之一波片，使得具有 $\pm\pi/4$ 相位差。
 - 使入射光的振动平面和四分之一波片的主截面成 45° 。

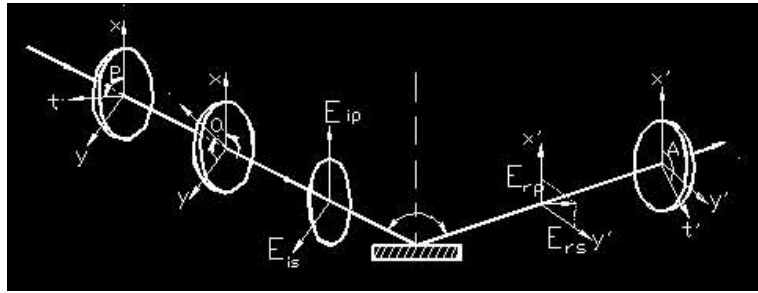


图 1-2

- 反射光的检测

将四分之一波片置于其快轴方向f与x方向的夹角 α 为 $\pi/4$ 的方位， E_0 为通过起偏器后的电矢量，P为 E_0 与x方向间的夹角。通过四分之一波片后， E_0 沿快轴的分量与沿慢轴的分量比较，相位上超前 $\pi/2$ 。

$$\begin{cases} E_f = E_0 e^{i\pi/2} \cos(P - \frac{\pi}{4}) \\ E_s = E_0 \sin(P - \frac{\pi}{4}) \end{cases}$$

在x轴、y轴上的分量为：

$$E_x = E_f \cos \pi / 4 - E_s \sin \pi / 4 = \frac{\sqrt{2}}{2} E_0 e^{i\pi/2} e^{i(P-\pi/4)}$$

$$E_y = E_f \sin \pi / 4 + E_s \cos \pi / 4 = \frac{\sqrt{2}}{2} E_0 e^{i\pi/2} e^{-i(P-\pi/4)}$$

由于x轴在入射面内，而y轴与入射面垂直，故 E_x 就是 E_{ip} ， E_y 就是 E_{is} 。

$$\begin{cases} E_{ip} = \frac{\sqrt{2}}{2} E_0 e^{i(\pi/4+P)} \\ E_{is} = \frac{\sqrt{2}}{2} E_0 e^{i(\pi/4-P)} \end{cases}$$

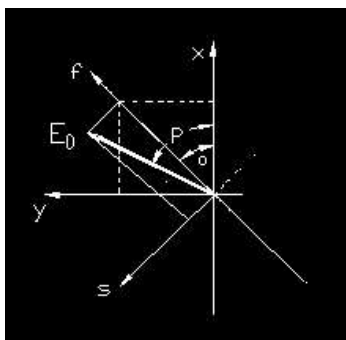


图 1-3

由此可见，当 $\alpha=\pi/4$ 时，入射光的两分量的振幅均为 $E_0/\sqrt{2}$ ，它们之间的相位差为 $2P-\pi/2$ ，改变 P 的数值可得到相位差连续可变的等幅椭圆偏振光。这一结果写成：

$$\left| \frac{E_{ip}}{E_{is}} \right| = 1, \quad \beta_{ip} - \beta_{is} = 2P - \frac{\pi}{2}$$

■ 实验内容：

1. 按调分光计的方法调整好主机。
2. 水平度盘的调整。
3. 光路调整。
4. 检偏器读数头位置的调整和固定。
5. 起偏器读数头位置的调整与固定。
6. 1/4波片零位的调整。
7. 将样品放在载物台中央，旋转载物台使达到预定的入射角 70° 即望远镜转过 40° ，并使反射光在白屏上形成一亮点。
8. 为了尽量减小系统误差，采用四点测量。
9. 将相关数据输入“椭偏仪数据处理程序”，经过范围确定后，可以利用逐次逼近法，求出与之对应的 d 和 n ；由于仪器本身的精度的限制，可将 d 的误差控制在1埃左右， n 的误差控制在0.01左右。

■ 实验重点及难点：

偏振光束在界面或薄膜上的反射时出现的偏振变换的过程和数字化的处理思想。
椭偏仪测量薄膜参数的原理的理解。

■ 思考题

1. 1/4波片的作用是什么？
2. 椭偏光法测量薄膜厚度的基本原理是什么？
3. 用反射型椭偏仪测量薄膜厚度时，对样品的制备有什么要求？
4. 为了使实验更加便于操作及测量的准确性，你认为该实验中哪些地方需要改进？

参考书目：

1. 《椭圆偏振测量术和偏振光》[美]R. M. A. 阿查姆 N. M. 巴夏拉 著
2. 《中国大百科全书》I, II 中国大百科全书出版社
3. 《光学教程》姚启钧 高等教育出版社

4. 《光学》赵凯华，北京大学出版社

<完>

中国科学技术大学 2003 by USTC

[首页](#)

[网站地图](#)

[使用说明](#)

[更新日志](#)

[联系我们](#)