

薄膜测量的椭偏仪法

杜学东¹, 王 红²

(1.唐山师范学院 国有资产管理处, 河北 唐山 063000; 2.河北师范大学 数学系, 河北 石家庄 050051)

摘 要: 简述了椭偏法测量薄膜厚度的物理原理, 分析了其系统误差。

关键词: 薄膜; 椭偏仪; 测量

中图分类号: O43

文献标识码: A

文章编号: 1009-9115 (2002) 05-0067-02

薄膜技术在各个高科技领域, 发挥着越来越重要的作用。对于薄膜, 膜厚是重要的参数, 在一定程度上决定着薄膜的力学性能、电磁性能、光电性能以及光学性能^[1]。因而准确地测量薄膜的厚度在制膜工艺中起着关键性的作用。根据薄膜的不同, 其测量方法也多种多样, 有光学干涉法、台阶仪法、表面粗糙度仪法、称重法、石英晶体振荡法以及椭偏仪法等^[2]。但大多数方法是在薄膜制备以后进行测量的, 而在薄膜生长过程中进行实时监控测量的方法较少, 椭偏仪法以其测量的非接触性和测量的高灵敏度(准单层分子或原子厚度)等诱人的优点而被广泛应用。

1 椭偏仪法测量的基本原理

由于激光技术和计算机技术的迅速发展, 解决了制约椭偏法广泛应用的问题, 从而使椭偏法测量得到迅速发展。椭偏仪法属于反射光谱法, 光波可以分解为两个互相垂直的线性椭圆偏振的 S 波和 P 波。若 S 波和 P 波的相位差不等于 $\pi/2$ 的整数倍时, 合成的光波为椭圆偏振光。当椭圆偏振光通过薄膜时, 其反射和透射的偏振光将发生变化, 基于两种介质界面四个菲涅耳公式和折射定律, 可计算出光波在空气/薄膜/衬底多次反射和折射的反射率 R 和折射率 T。^[3]

$$R = [r_{01} + r_{12} \exp(-2i\delta)] / [1 + r_{01}r_{12} \exp(-2i\delta)]$$
$$T = [t_{01}t_{12} \exp(-i\delta)] / [1 + t_{01}t_{12} \exp(-2i\delta)]$$
$$\delta = (2\pi n_1 d / \lambda) \cos \varphi_1$$

式中 d 和 n 是薄膜的厚度和折射率, φ_1 是入射角, r_{01} 、 r_{12} 、 t_{01} 、 t_{12} 分别是 0, 1 和 1, 2 介质界面上的反射率和透射率, 是可计算的量。

定义反射系数比 $G = R_p/R_s = \tan \psi e^{i\Delta}$, 其中 ψ 和 Δ 分别表示 G 的模和幅角。可以看出

$$G = f(n_0, n_1, n_2, \lambda, \varphi_1)$$

对于给定的薄膜/衬底光学系统, 若波长 λ 和入射角 φ_1 确定, 则 G 便为定值, 也就是说若能从实验中测得 ψ 和 Δ , 且介质 0 和介质 2 所对的波长 λ 的折射率 n_0 和 n_2 已知, 就可以由 (ψ , Δ) 测量值中得到透明薄膜的实折射率 n_1 及其厚度 d 的值。

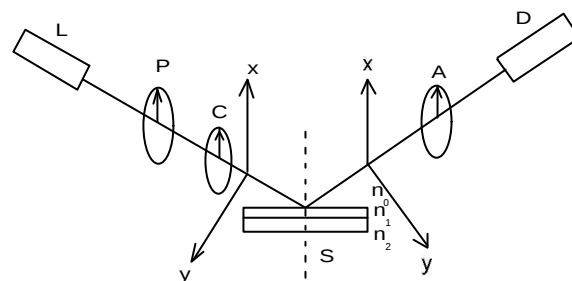


图 1 反射式椭偏仪的原理图

图 1 是反射式椭偏仪的原理图。激光光源 L 发出的光, 经过起偏器 P 成为线偏振光, 再经过 1/4 波片 C, 形成椭圆偏振光, 然后投射到待测薄膜/衬底光学系统 S 上, 利用起偏器和 1/4 波片的方位角的差别可以调整椭圆偏振光的椭偏度和方位角, 使它经样品反射后成为线偏振光。通过检偏器 A 和探测器 D 可以测定线偏振的方位角, 分别测定 P 波和 S 波的反射率, 由 $R_p/R_s = \tan \psi e^{i\Delta}$, 计算表明, 当 1/4 波片的快轴方向的方位角为 45° , 反复调整起偏器和检偏器的方位角, 使样品反射后的光强度最小时, 得到起偏器和检偏器的方位角分别为 P 和 A, 此时 $\psi = A$, $\Delta = 90^\circ - 2P$ 或 $270^\circ - 2P$ ($A < 0$), 从而测得

收稿日期: 2002-04-09

作者简介: 杜学东 (1973-), 男, 河北滦县人, 唐山师范学院国资处。

- 67 -

的 n 和 d 。

2 几点讨论

由于波片快、慢轴分量的相位差不严格为 $\pi/2$ ，也就是光路中存在补偿的偏差 δ_1 ，在安装调整过程中 $1/4$ 波片快轴与入射面夹角不严格为 45° ，存在偏差 δ_2 ，最后起偏角 P 和检偏角 A 还可能存在着零点误差 δ_P 和 δ_A ，这都是 φ 和 θ 测量中的系统误差。分析表明是 δ_1 系统误差的二级小量可以忽略，用两个不同消光位置的测量值求平均可以消除 δ_A 引入参考文献：

- [1] 吴锦雷,吴全德.几种新型薄膜材料[M].北京:北京大学出版社,1999.
- [2] 许世军.薄膜厚度测控技术中的物理原理[J].物理与工程,2001,(2):38.
- [3] 吴思诚,王祖铨.近代物理实验[M].北京:北京大学出版社,1986.
- [4] 刘崇进.椭圆仪测量粗糙面薄膜的厚度和折射率的研究[J].光学技术,1995,(3):18.

的误差，而 δ_P 和 δ_2 对仪器的使用误差不可忽视，仪器使用中应确定椭圆仪误差 $\theta = \delta_P + \delta_2$ ，并用测得值对其样品的测量结果进行修正。

椭圆仪可以测量漫反射粗糙而薄的膜的厚度和折射率，实验表明，^[4]入射角较大时，测量误差较小，可用“多角入射法”直接判断膜厚周期的整数倍，从而求得薄膜的真实厚度。但对于漫反射系数和粗糙面厚度的确定还存在一些问题需要深入探讨。

Thin Films Measuring with Ellipsometry

DU Xue-dong¹, WANG Hong²

(1. Section of State-owned Assets, Tangshan Teachers College, Hebei Tangshan 063000;

2. Mathematics Department, Hebei Normal University, Hebei Shijiazhuang 050051)

Abstract: Physical principles of measuring thin films with ellipsometry are discussed briefly, and its system error is analyzed.

Key Words: thin film; ellipsometry; measuring

责任编辑、校对：孙海祥

(上接第 56 页)

- [4] 丁俊华,祁有龙.物理[M].沈阳:辽宁大学出版社,1999.241.

Circumfluence Analyses of $\vec{B}$ When Current-Carrier

Solenoid Traverses Close Loop

LIU Guang-ping

(Physics Department, Tangshan Teachers College, Hebei Tangshan 063000)

Abstract: This paper analyzes magnetic field distribution of a long and straight current-carrier solenoid and its circumfluence of magnetic induction intensity along a close loop. It also points out that the integral of magnetic induction intensity along a close loop is not equal to $\mu_0 I$ when a current-carrier solenoid traverses a close loop.

Key Words: current-carrier solenoid; close loop; circumfluence of $\vec{B}$

责任编辑、校对：孙海祥