

LCD 工业用自动椭偏仪的设计思路

刘立国, 吕正德, 朱鹤年

(清华大学物理系, 北京 100084)

摘要: 简要介绍了椭圆偏振测量术的基本原理及自动椭偏仪, 并设计制作了一台新型自动消光椭偏仪的原理样机。分析了各种可用于液晶显示器(LCD)膜系测量的技术, 指出由于自动椭偏仪具有无损探测、测量准确度高和测量迅速等特点, 非常适合用于LCD薄膜系统的在线监测。并且, 自动椭偏仪在其他领域的测量应用前景也很好。

关键词: 椭圆偏振测量术; 自动椭偏仪; LCD; 薄膜

中图分类号: TH744.2, O436.3 **文献标识码:** A

1 引言

椭圆偏振测量术是一种非接触和无损的光学测量技术, 它通过测量反射或透射光相对于入射光偏振状态的改变来准确计算待测样品的各种光学性质。

椭偏仪测量得到的两个参数分别表示为 Ψ 和 Δ , 反映了偏振光 p 分量和 s 分量复振幅反射率(或透射率)的比值, 即下式:

$$\rho = \tan(\Psi) e^{j\Delta} = \frac{R_p}{R_s} \quad (1)$$

由于椭偏术测量的 Ψ 和 Δ 反映的是以上两个量的比值, 因此它具有高度的可重复性。其中 Δ 中所包含的相位信息使得这项技术对薄膜的光学性质的变化非常灵敏。

在LCD工业生产过程中应用椭圆偏振测量术, 需要快速跟踪待测样品表面的反应和一大批测量数据, 椭偏仪的自动化是非常必要的。随着光电子和计算机技术的发展, 自动椭偏仪的设计沿着两条不同的途径取得了进展^[1]: (1) 坚持消光测量概念并利用伺服系统来达到自动消光; (2) 完全放弃消光方法而使用光度测量法或干涉测量法。

自动光度椭偏仪已经在工业中得到广泛应用, 其中最为普遍的系统是旋转检偏器椭偏仪(RAE)^[2]。自动光度椭偏仪测量速度快, 而且可以不用补偿器, 没有补偿器的相延随波长而变化

的问题。但光度测量法有一些难以克服的缺点, 主要是^[3]: ① 光强信号中的直流成分是需要测量的一个量, 但光电探测器暗电流对直流成分有影响; ② 需要测量交流信号的相位, 从而产生附加相延; ③ 探测器非线性响应使信号失真, 带来一定误差; ④ 系统的修正及定标比较麻烦和费时。这些问题虽然可以通过各种方法对它们作出改进, 但并不能从根本上解决。

2 新型自动消光椭偏仪

自动消光椭偏仪有两种不同的类型: 一种使用电机带动偏振器达到消光; 另一种完全使用磁光或电光元件而没有可转动部件。用步进电机驱动偏振器的自消光椭偏仪, 通过计算步进电机的启动脉冲数目, 就能自动地确定偏振器方位角。整个系统可与计算机连接并接受其控制以便在线获得数据并由计算机进行实时数据处理, 因而有较大的优越性。

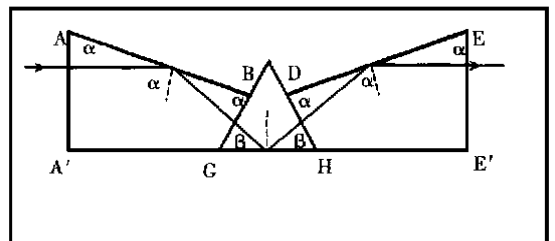


Fig. 1 Structure of the new rhomb-type $N/4$ retarder

自动消光的椭偏光谱仪要求 $\lambda/4$ 波片在一定光谱范围内具有恒定相延。Babinet 补偿器可对任何波长精确地调准到 90 度相延,但因调节缓慢而不适于自动椭偏测量。菱体型延迟器是较好的消色差波片,在整个可见光到近红外范围仅有 2~3 的相位变化。利用四区域或两区域消光方案,可以使由波片相延误差造成的测量误差变为二阶小量。因此,可以用菱体型延迟器作为自动消光椭偏光谱仪的补偿器。

本文推出一种新型菱体 $\lambda/4$ 延迟器,如图 1 所示,是常用 AD-2 的改进型。其特点是:对相延产生决定性作用的三次全内反射都发生在抛光的棱镜表面中心,远离应力双折射较大的棱角和胶合面,同时使实际的有效孔径提高,并使出、入射光束基本共轴;光束垂直通过可能会对相延和光的偏振态产生较大影响的胶合面。至于菱体材料,可以选用熔融石英或低色散的玻璃。

图 2 是自行设计的自动消光椭偏仪,其中的补偿器为上面介绍的消色差菱体型延迟器。整个系统与计算机相连,计算机根据 A/D 转换得到的锁相放大器输出信号控制由步进电机驱动的起偏器 P 和检偏器 A 的旋转方向和角度,从而达到自动消光。

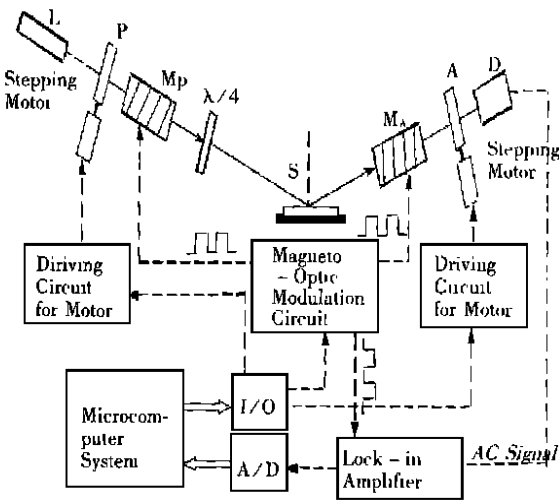


Fig. 2 Design of magneto-optic modulated automatic null ellipsometer. L: Light source; P: Polarizer; Mp, Ma: Magneto-optic modulator; S: Sample; A: Analyzer; D: Detector

本文的自动椭偏仪使用磁光调制和锁相放大手段,其主要优点在于:①能有效抑制噪声,消除不为零的消光比和背景光强造成的影响。即使在完全光亮的环境下,也能得到良好的测量结果。②能改善测量线型,使测量更加准确。在消光位置附

近,光强随角度变化缓慢,因此很难用直接光强测量方法得到准确的消光位置。但对于磁光调制锁相放大得到的信号,在消光点变化却是最为灵敏的。③可以根据输出信号的极性得到偏振器偏离消光位置的有效信息,为进一步的消光调节提供依据。利用这个特点,可以大大减少消光所需要的时间。

3 自动椭偏仪在 LCD 工业中的应用

设计自动消光椭偏仪的目的是将其应用在 LCD 工业生产中,对 LCD 膜系的厚度和光学参数进行在线监测。LCD 中使用的薄膜主要有透明导电膜(ITO)和取向膜(PI),它们的光学性质和厚度对液晶显示器的性能有较大影响,测量和控制其厚度最为重要,下面主要讨论其厚度测量。

3.1 薄膜厚度测量方法综述

LCD 用的导电玻璃是一个多层膜系统,如图 3 所示。此外工艺生产过程中还涉及光刻胶、补偿膜和滤光膜等膜层。两片导电玻璃有膜的面相对,中间夹一层液晶便构成了一个液晶盒。

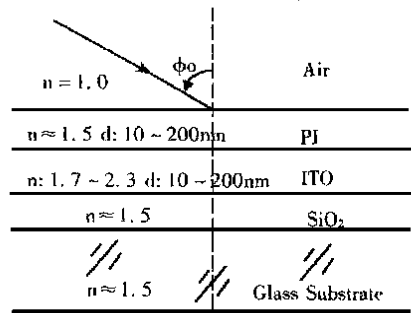


Fig. 3 LCD thin film system

测量膜厚的方法较多,可以选用光学或电学的方法。光学方法大体有以下几种。

- (1) 分束干涉法,其缺点是条纹对比度较差,测量准确度较低,一般为 0.01 μm 左右。
- (2) 扫描光谱法及动量扫描法,适用于单层膜、厚膜。LCD 用薄膜的厚度一般显著小于波长的四分之一,所以这两种方法不适用。
- (3) 台阶法,其缺点是必须刻蚀台阶,对样品造成了破坏。

以上三种方法都是利用光的干涉原理来测量

透明电极的膜厚、取向膜厚度、液晶盒间隙、基板平整度等,这类设备过去都有定型设备产品,它们大体可分为用白光光源和用激光光源的两类。一般来说它们对于极薄的膜厚测量有一定的困难。

(4) 椭圆偏法,可以测极薄的膜厚(可达 0.1nm)。椭圆偏法不仅可以测定透明介质膜的折射率和厚度,还可以测定吸收薄膜的折射率、消光系数和厚度。采用适当的测量方法和计算程序,也可以测定多层膜的折射率和厚度,为分析光学多层膜的特性及研究适合的成膜工艺提供了有力的手段。不破坏样品、无损检测是椭圆偏法的另一优点,对样品也无特别要求。对于液晶基片生产的在线测量,椭圆偏法也有一些缺点,主要是仪器较复杂、调节困难,这也是要对其进行自动化的一个重要原因。

对于薄介质膜,电学方法主要有电容法、电阻法,对于液晶显示用薄膜的PI层适合用电容法测量。电容法测量膜厚的优点在于:一、可以测较薄

的膜厚。二、可以在线测量。电容法的缺点:必须找到合适的导电电极,而且对导电膜的测量无能为力。

综上所述,对LCD用薄膜厚度测量适合用椭圆偏振法。

3.2 用自动椭圆偏仪在线监测LCD膜系参数

为得到有关LCD薄膜系统的有用信息,必须建立一个描述该样品的光学模型。该模型包括所有已知信息(如基底的光学常数)、各未知参数的初始估计值,以便模拟样品的理论反应。然后用这些未知参数来拟合,得到理论反应和实验测量结果的最佳匹配。另一方面,如果测量的信息不够,拟合就不能得到准确解。这种情况经常发生在单波长和单入射角度的椭圆偏测量术中,原因在于这种测量所得到的信息是有限的。此时须采用多波长和多入射角技术以提供更多的信息,这样可以确定大多数样品的性质。

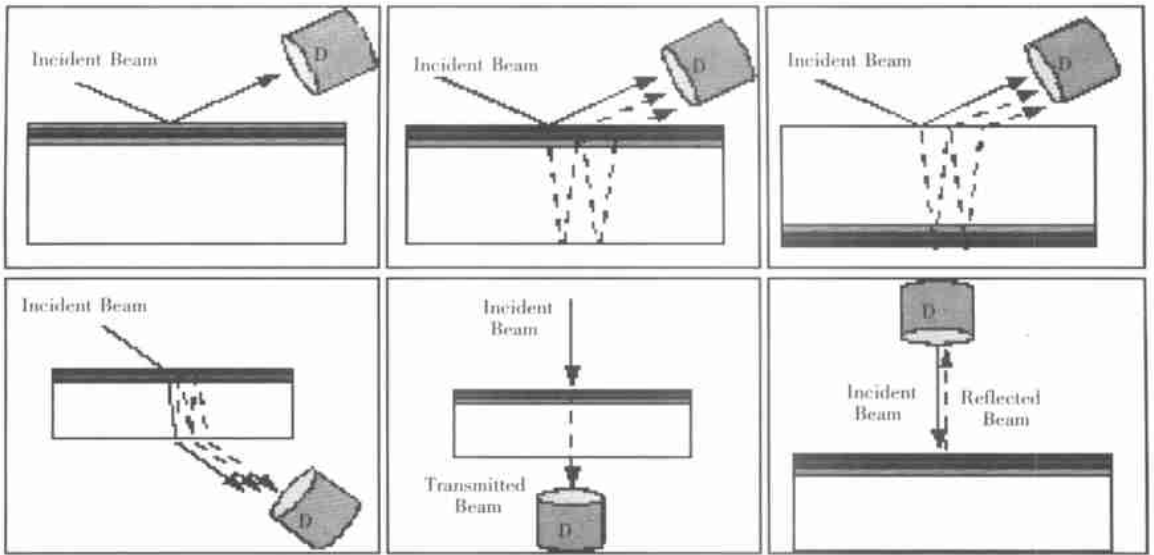


Fig. 4 Various optical measurement configuration that can be used in LCD industry including: (a) Top Left - conventional ellipsometry; (b) Top Middle - ellipsometry with backside correction; (c) Top Right - ellipsometry from the reverse side; (d) Bottom Left - transmission ellipsometry; (e) Bottom Middle - intensity transmission; (f) Bottom Right - intensity reflection

对于极端复杂的情况,即使用通常的多角度多波长椭圆偏术(VASE)也不能提供足够的信息。在这种情况下,可以用其他辅助的测量手段扩大实验数据信息量。对于透明基底,透射率测量或透射椭圆偏术常可提供额外的信息。对于不透明和不透明的基底,反射率测量会有所帮助。

图4画出了可用于LCD膜系测量的手段^[4]。LCD膜系是多层膜结构,含有较多的未知参数,需采用多入射角、多波长的椭圆偏测量方案,以建立

足够多的椭圆方程求解。另一方面,在同一批量的在线检测中可以参考经验参数直接用固定入射角、多波长快速测量。

4 结束语

综上所述,对于LCD薄膜系统的厚度和光学性质测量,自动椭圆偏仪有着明显的优越性,应当是首选方案。按本文方案思路设计的自动消光椭圆偏

仪,其偏振器的角度分辨率为 0.009° ;通过对理想样品的多次实验,同一点位 Δ, Ψ 测量的重复性标准偏差已达到 0.01° ;单次定点自动扫描检测周期已做到可以小于 30s,基本证明了本文方案

的可行性,完全可用于 LCD 膜系的在线检测。

本论文工作得到北京市科委科研基金的支持。

参考文献:

- [1] Azzam R M A, Bashara N M. Ellipsometry and Polarized Light[M]. Amsterdam: North-Holland Pub. Com., 1977.
- [2] Riedling K. Ellipsometry for Industrial Applications[M]. Wien: Springer-Verlag, 1988.
- [3] Reisinger H. Minimization of Errors in Ellipsometric Measurements[J]. Solid-State Electronics, 1992, 35(3): 333- 344.
- [4] Johs B D, et al. Optical analysis of complex multilayer structures using multiple data types[J]. Thin Solid Films, 1994, 253(1): 25- 27.

Design of automatic ellipsometer applied in LCD industry

LIU Li-guo, LÜ Zheng-de, ZHU He-nian

(*Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China*)

Abstract: Fundamentals of ellipsometry and automatic ellipsometers are introduced briefly, and a sample machine of new type automatic null ellipsometer has been designed and constructed. Some techniques that can be used in measurement of LCD thin films are analyzed, then we point out that due to its properties of non-destructive, high-accuracy and high-speed, automatic ellipsometer is very suited for on-line monitoring of LCD thin film system. Owing to its advantages, ellipsometry and automatic ellipsometers can be used in many other fields and will gain good results.

Key words: ellipsometry; automatic ellipsometer; LCD; thin films

作者简介: 刘立国(1976-),男,辽宁省北票市人,硕士生。1994年考入清华大学电子工程系,1999年保送至清华大学物理系光学专业攻读硕士学位,师从朱鹤年教授。研究生课题致力于 LCD 工业用自动消光椭偏仪的研制和椭偏术在 LCD 膜系测量中的应用研究。