

椭圆偏振测量技术及其应用

王庆禄

(唐山师范学院物理系 河北 063000)

椭圆偏振测量技术(简称椭偏技术)是利用偏振光束在界面或薄膜上反射或透射时出现偏振态的变化,研究界面或薄膜特性的一种光学方法。椭偏技术具有抗干扰性强、高灵敏度、对样品无特殊要求等优点,因而在材料科学、微电子技术、薄膜技术、物理学、化学、生物学和医学等领域有着广泛的应用。

一、历史回顾

追溯椭偏技术的发展,已有近百年的历史。在19世纪初,人们对光波做了大量的观察和研究,发现光波实际上存在着不同程度的偏振态。1669年,丹麦的巴塞林那斯(E. Bartholinus)发现光经过方解石晶体有双折射现象。1808年,法国的马吕斯(E. L. Malus)发现光具有偏振性。1817年,托马斯·杨(T. Young)提出了光波是横波的假设。1823年,菲涅耳(A. J. Fresnel)推导出光的反射与折射定律。1864年,麦克斯韦(J. C. Maxwell)预测光是电磁波,为光波的电磁理论奠定了基础。1868年,苏格兰的布儒斯特(D. Brewster)发现了著名的布儒斯特反射定律。至此,关于椭偏技术所需要的理论框架基本形成。

1889年,德鲁德(P. K.L. Drude)建立了椭偏技术的基本方程式,并描述了以人眼作为探测器的椭偏装置。1945年,第一台椭偏测量仪问世,罗森(A. Rothen)提出“椭偏术”(Ellipsometry)一词。1969年,卡汉(B. D. Cahan)和斯宾尼尔(R. F. A. Spanier)首次报道了自动旋转检偏器式的椭偏仪。这一时期,人们基本上能较准确地获得椭偏测试数据,但受其数据处理的复杂性与繁琐性的影响,椭偏技术发展较缓慢。

20世纪70年代,微型计算机的蓬勃发展,为椭偏技术注入了新的生机。近几年来,由于自动光谱数据采集系统和快速数字微型计算机的发展,椭偏技术已被广泛应用于常规的样品测试分析。

二、基本原理及特性

椭偏技术基本上就是光束偏振态的测量。众所周知,光波是电磁波,由于光波中的电矢量和磁矢量均与光的传播方向垂直,所以光波是横波,它具有偏振性。电矢量在垂直于传播方向的平面内形成各种振动状态,那么按电矢量末端在光的传播过程中形成

的轨迹,偏振光主要分为线偏振光和椭圆偏振光。当一束线偏振光入射到薄膜表面时,光波的电矢量可以分解为在入射面内振动的P分量和垂直于入射面振动的S分量,

它们在两种媒质的交界面上的反射率和反射相移各不相同。于是在反射光的P分量和S分量之间产生了附加的振幅差和位相差,从而反射光一般为椭圆偏振光。在入射介质环境及衬底的光学常数和入射角已知的情况下,这个反射的椭圆偏振光的参数仅由薄膜的光学常数决定。因此,根据偏振光在反射前后的偏振状态变化,主要是振幅和相位的变化,便可以确定样品表面或薄膜的许多光学特性。

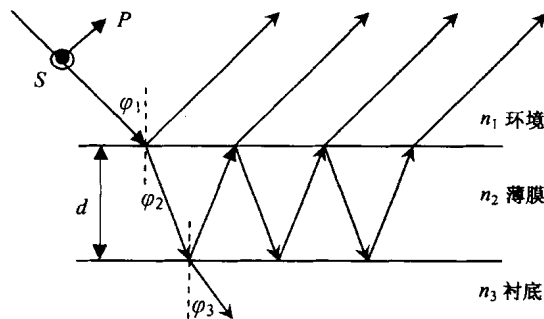


图 1

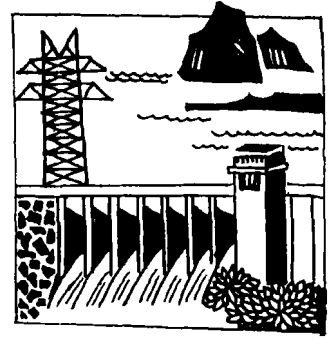
下面以单层薄膜为例,对其基本原理进行简单的描述。设待测样品是均匀涂镀在衬底上的透明各向同性单层薄膜。如图1所示,由折射定律可知 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3$ 。光的电矢量分解为两个分量,即在入射面内的P分量和垂直于入射面的S分量。根据折射定律和菲涅耳反射公式,可求得P分量和S分量在环境与薄膜的界面处和薄膜与衬底界面处的复振幅反射率。

从图1中可以看出,入射光在两个界面上会有多次的反射和折射,总反射光束将是许多反射光束干涉的结果。利用多光束干涉的理论,得P分量和S分量的总反射系数 R_P 和 R_S 。光束在反射前后的偏振态的变化可以用总反射系数比 R_P/R_S 来表征。在椭偏技术中,用椭偏参量 Ψ 和 Δ 描述反射系数比,其定义为: $\tan \Psi \exp(i\Delta) = R_P/R_S$ 。一般情况下,在入射光波长 λ 、入射角 θ_1 、环境折射率 n_1 、衬底折射率 n_3 确定的条件下, Ψ 和 Δ 只是薄膜厚度 d 和折射率 n_2 的函数。调节入射光的偏振状态,使入射光为等幅椭圆偏振光(P分量和S分量的振幅相

力学参数的光测技术 及其在农业工程中的应用

陆 生 海

(苏州大学物理科学与技术学院 江苏苏州 215006)



光测技术又称光测法,是用光学方法测定非光学量的测试技术,也是实验应力分析的重要方法,主要用来测定模型或实物的应力、应变和位移。由于光测法具有能直观、全貌地反映结构物中的应力分布情况;可以方便、迅速地获得边界条件,求出结构物内部任意位置处的应力,测出各种应力集中系数;适合于几何形状、受力情况比较复杂的结构应力分析,能经济、省时有和有效地解决问题等特点,长期以来为人们所重视,被广泛应用于航空、航天、造船、机械、建筑、医学、军事等,在农业工程方面也有着较广泛的应用,解决了大量的复杂问题。光测法除常用于测定静载下构件的应力、应变和位移之外,在对测定接触应力、动应力、热应力、弹塑性变形等方面也有很好的发展前途。

光测技术的基本原理

等)、反射光为线偏振光,则 n_1 和 n_2 均为可直接测量。只要测得 n_1 和 n_2 ,原则上可以解出 d 和 n_2 。样品光学参数的测量方法主要有光度法和消光法。

对比于其他表面分析技术,椭偏技术有着它独特的优点:第一,椭偏技术中探测信息的载体为光束,而对比于各种粒子束而言,光束对样品表面的损伤以及导致表面结构的改变是最小的,因而对样品具有非破坏性和高精度。第二,椭偏技术通过光波在物质相互作用前后偏振态的变化,可检测出材料表面信息的微弱改变,具有原子层级的灵敏度。第三,椭偏技术对样品没有特殊的要求,样品可以是体样品、薄膜样品、不均匀样品、各向异性样品等。第四,椭偏技术对测量环境具有非苛刻性,测试环境可以是空气、真空或特定条件,测试温度范围也较宽。

三、应用及展望

椭偏技术从问世以来,无论在理论上还是在应用上人们都做了大量工作。特别是随着薄膜技术在信息存储材料、光学及空间技术等领域的广泛应用,薄膜光学常数的精确测定也是越来越重要,而为具

在光测技术中,以测定应力为主的方法主要有三维光弹性冻结切片技术、激光全息光弹性技术和激光散光光弹性技术。

三维光弹性冻结切片技术

三维光弹性冻结切片技术是一种解决三维问题的模型模拟技术,它是利用模型受载后表现为光学各向异性,平面偏振光通过受载模型所产生的双折射现象,在光弹性仪下呈现应力条纹图像来观测断面的应力分布和测定任意点应力的大小和方向。实测时,把光弹性材料如环氧树脂等,用蜡模或硅橡胶膜制成与实物成一定比例的模型,在烘箱内加温至冻结温度后,模拟实际情况加载一定时间,再缓慢降至室温,然后根据需要切成薄片,在光弹性仪或偏光显微镜的光场中便可观测到该断面的应力分布情况。应用光弹性冻结切片技术对应力定量分析的基

有诸多优点的椭偏技术打开了广阔的应用空间。椭偏技术不仅可以测定单层介质膜、吸收膜的复折射率和厚度,采用适当的程序和计算方法,也可以测定多层复介质膜、吸收膜的复折射率和厚度等光学参数。椭偏技术具有非接触性、高精度等特点,可以实时地监测各种薄膜地生长。椭偏技术可以测量材料的电光、磁光、压光、热光等多种物理效应。

利用椭偏技术可以获得使偏振态发生改变的材料的相关信息。椭偏技术同其他测量分析技术相结合,可以获得材料更丰富的信息。在材料科学方面,例如对量子阱和超晶格材料、高温超导材料、铁电材料等多种功能材料的研究中,都可发现椭偏技术应用的踪迹;椭偏技术的实时测量将在复杂材料的研究和开发中发挥重要作用。CCD 图像技术同椭偏技术相结合,使我们可以监测到薄膜生长中原子的堆积过程。

展望未来,椭偏技术的应用将越来越广泛。随着现代科技的发展和知识经济的需求,“椭偏技术的发展将比过去更激动人心”。