

自动化椭圆偏振光谱仪的研制

郭扬铭¹, 莫 党¹, 张曰理¹, 唐振方²

(1. 中山大学理工学院//光电材料与技术国家重点实验室, 广东 广州 510275;
2. 暨南大学理工学院, 广东 广州 510630)

摘 要: 介绍了新型自动化光度法椭圆偏振光谱仪的研制。测试结果表明: 仪器对椭偏参数 $\tan \Psi$ 的重复性测量精度为 ± 0.0004 , $\cos \Delta$ 的重复性测量精度为 ± 0.001 , 膜厚的相对误差小于 0.5%。

关键词: 偏光谱仪; 光度法; 硬件; 软件

中图分类号: O433.1 文献标识码: A 文章编号: 0529-6579 (2005) 01-0124-03

椭圆偏振光谱仪是一种测量薄膜厚度和光学性质如折射率、消光系数等的仪器。我国的第一批椭圆偏振仪是莫党等^[1]于 20 世纪 70 年代中研制成功的, 属单波长消光法型, 80 年代初, 莫党及其合作者^[2]又研制成功了 TPP-1 型波长扫描光度法椭偏仪。1996 年, 朱德瑞等对 TPP-1 型椭偏仪进行自动化改造, 用计算机控制整个测量过程, 方便测量与取样^[3], 在我们的科研中发挥了很大的作用。但用的时间长了, 精度和可靠性都受到影响, 因此, 我们决定对原椭偏仪进行改进。

1 仪器的工作原理

椭偏参数定义为:

$$\tan \Psi_{\text{exp}}(i\Delta) = R_p / R_s \quad (1)$$

式中, R_s 和 R_p 分别表示垂直和平行入射面的总反射系数, $\tan \Psi$ 的意义是相对振幅衰减, Δ 则是相位移动之差, Ψ 与 Δ 两者均以角度量度。根据光度法理论, 光电接收器收到的光强信号 I_θ 与检偏器的方位角 θ 有如下关系^[4]:

$$I_\theta = I_0 [1 + \cos 2\chi \cos 2(\theta - \varphi)] \quad (2)$$

其中, I_0 为平均光强, χ 为椭圆率, φ 为椭圆长轴方位角。

在实验中让检偏器旋转一周, 根据富里叶分析法, 计算出 α 和 β 的值:

$$\alpha = \frac{2}{I_0} \sum_0^\theta I_\theta \cos 2\theta, \beta = \frac{2}{I_0} \sum_0^\theta I_\theta \sin 2\theta \quad (3)$$

由此可解出椭偏参数:

$$\cos \Delta = \frac{\beta}{\sqrt{1 - \alpha^2}}, \tan \Psi = \sqrt{\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha}} \quad (4)$$

这里, $0 \leq \Psi \leq \pi/2$, $0 \leq \Delta \leq 2\pi$ 。

2 仪器的主要改进方面

图 1 是实验室原有椭偏仪的结构示意图, 主要作了以下几点改进:

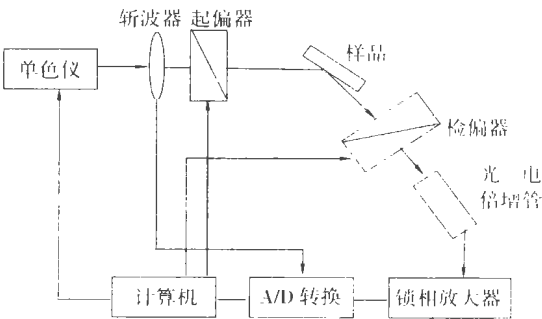


图 1 实验室原有椭偏仪结构示意图
Fig 1 The sketch of old ellipsometer

2.1 数据采集部分 原椭偏仪的数据采集采用了一块 A/D 转换板, 从锁相放大器到 A/D 转换板这一段传输的是模拟信号, 信号弱时, 由于受到锁相放大器和光电倍增管暗电流的影响, 信噪比较小。本实验选用了自带 A/D 转换板的 SR830 型锁相放大器, 计算机通过数据通讯技术从它的数据输出端读取数据, 克服了模拟信号经过传输线后产生畸变的缺点, 简化了硬件设计, 对微弱信号探测的精度提高比较大。

2.2 偏振器旋转部分 原椭偏仪的偏振器由步进马达通过一个变速箱带动, 时间长了, 变速箱润滑不足, 容易失步, 并且偏心误差较大。步进马达的延时程序采用 C 语言编程, 电脑升级后, 延时时间变短, 会造成马达失步。新椭偏仪采用在步进马

* 收稿日期: 2004-04-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50372085); 广东省科技计划资助项目 (2004B60303001); 中山大学青年教师启动基金资助项目

作者简介: 郭扬铭 (1964 年生), 男, 博士生; 通讯联系人: 张曰理; E-mail: stszyl@zsu.edu.cn

达轴心穿孔的方法，通过一个套筒把偏振器固定在马达的轴心上，如图 2 所示，可以减少偏心误差。采用 C 语言和 WINAPI 混合编程的方法，可以解决因硬件升级带来的马达失步的问题。

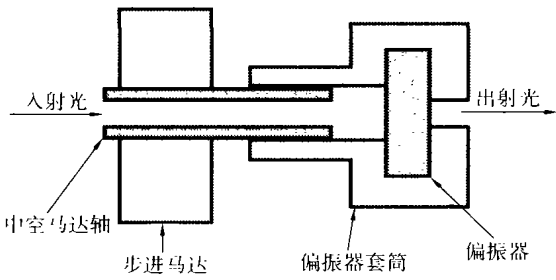


图 2 步进马达和偏振器剖面结构示意图

Fig. 2 The section plane sketch of motor and polarizer

2.3 单色仪部分 原椭偏仪的单色仪采用步进马达通过皮带轮带动光栅，时间长了，皮带老化，造成较大的读数误差。用 C 语言编程，同样会带来硬件升级的问题。新仪器改用步进马达直接带动光栅，可以克服由于皮带老化带来的读数误差。在 VC 界面下调用单色仪自带的 Activex 控件，在硬件升级后，同样可以可靠地运行。

3 仪器的误差及与国外产品比较

把波长固定在 500 nm，重复测量 100 组数据，图 3 是我们的测量结果。图中，点线表示 $\tan \Psi$ ，实线表示 $\cos \Delta$ 。根据误差理论，用 $\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta X_i^2}{k-1}}$ 来表示标准误差。其中， ΔX_i 表示第 i 次测量值与平均值的偏差， k 表示测量的次数。根据测量结果，可以计算出 $\tan \Psi$ 的标准差为 ± 0.0004 ， $\cos \Delta$ 的标准差为 0.001。

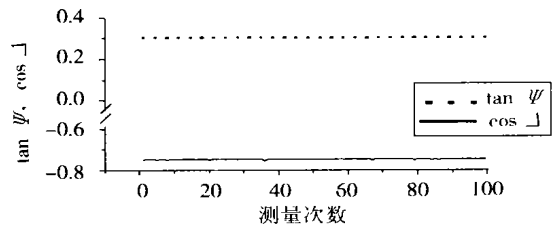


图 3 固定波长为 500 nm 的结果图

Fig. 3 Repeat at the wavelength of 500 nm

图 4 是对标准的硅衬底上的非晶态 SiO_2 薄膜的测量结果与用 SiO_2 折射率的文献数据^[3]来进行拟合的计算曲线的比较。图中，实线是用文献数据拟合的曲线，点线是实验数据。可以看到，它们符合得比较好。根据测量数据，计算出薄膜的厚度为 $d=461\text{ nm}$ ，与我们用台阶仪对同一样品的测量结

果 $d=459\text{ nm}$ 很接近。

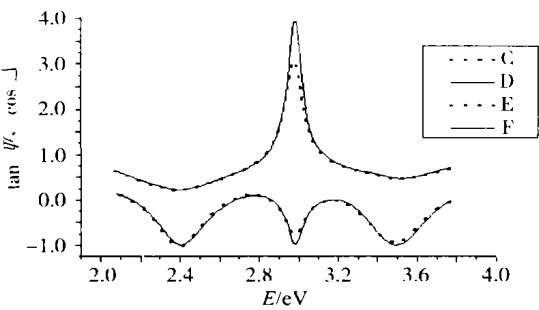


图 4 测量结果与文献数据拟合曲线比较图

Fig. 4 The comparison between the measurement and calculation of literature data

国外的椭偏仪早已作为产品出售，目前在国际市场上占主导地位的有美国的 Woollam 公司、法国的 Jobin-Yvon 公司和 SOPRA 公司等几家^[6]。表 1 是我们新研制的椭偏仪与国外部分产品的重复性精度的比较，可以看出，我们椭偏仪的精度优于法国 Jobin-Yvon 公司的 UVISEL 型，与美国 Woollam 公司的 VASE 型相当。

表 1 与国外同类产品的重复性精度比较

Tab. 1 The comparison of repeat precision between our ellipsometer and foreign ellipsometer

仪器	$\tan \Psi$	$\cos \Delta$
法国的 UVISEL 型	± 0.001	± 0.001
美国的 VASE 型	± 0.0005	± 0.001
本文的新型椭偏仪	± 0.0004	± 0.001

作者研制的自动化椭偏仪，自动化程度高，经大量的实验证明，硬件可靠，软件设计正确，精度高，重复性好， $\tan \Psi$ 的重复性精度为 ± 0.0004 ， $\cos \Delta$ 的重复性精度为 ± 0.001 。

参考文献:

[1] 莫党. 椭圆偏振法—测量薄膜与研究表面的新方法[J]. 电子科学技术, 1979(2): 33.
[2] 江任荣, 陈树光, 叶贤京, 等. TPP-1 型椭圆偏振光谱仪[J]. 仪器仪表学报, 1983, 4(4): 440.
[3] 朱德瑞, 赖天树, 李秋俊, 等. 高精度自动化椭圆偏振光谱仪[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1997, 36(4): 31.
[4] 莫党. 固体光学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996: 140.
[5] D PALIK EDWARD Handbook of optical constants of solids[M]. Academic Press Inc (LONDON) LTD. 24—28 Oval Road, London NW1 7DX, 1985: 759—760.
[6] 包学诚. 椭偏仪的结构原理与发展[J]. 现代科学仪器, 1999(3): 58.

(下转第 128 页)

参考文献:

[1] HUANG M Q, WALLACE W E, MCHENRY M E, et al. Soft magnetic properties of LaCo₁₃ and La(Co, Fe)₁₃ alloys [J]. J Appl Phys. 1998, 83(11): 6471—6473.

[2] YUAN D S, LIU G K, TONG Y X. Electrochemical behavior of Tm³⁺ ion and cyclic electrodeposition of a Tm—Co alloy film in dimethylsulfoxide [J]. J Electroanal Chem. 2002, 536 (1—2): 123—127.

[3] 屠振密. 电镀合金原理与工艺 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.

[4] JCPDS. Powder diffraction file inorganic phases [M]. Swarthmore Pennsylvania, 1992.

Pulse Electrodeposition of La-Co-Fe Alloy Films in Dimethylsulfoxide

YUAN Ding sheng¹, LIU Ying liang¹, LIU Guan kun², TONG Ye xiang²

(1. Department of Chemistry, Jinan University, Guangzhou 510632, China;

2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: La-Co-Fe alloy films were prepared by pulse technique in dimethylsulfoxide. Smooth, adhesive, compact and metallic luster alloy films were obtained when ethylenediamine was used as a complex reagent. La-Co-Fe alloy films were amorphous proven by XRD. The magnetism of the amorphous La-Co-Fe alloy films was measured. The alloy films were treated by thermal method containing La and LaFeO₃.

Key words: lanthanum; La-Co-Fe alloy film; ethylenediamine; dimethylsulfoxide

(上接第 125 页)

The Design of Automatic Ellipsometer

GUO Yang ming¹, MO Dang¹, ZHANG Yue li¹, TANG Zhen fang²

(1, State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technology and Department of Physics,

Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. College of Science and Technologies, Jinan University, Guangzhou 510630, China)

Abstract: The designs of automatic ellipsometer are reported. The experiment results show that the repeatability of tan Ψ and cos Δ is 0.000 4 and 0.001 respectively. The relative error of film thickness is less than 0.5%.

Key words: ellipsometer; photometry; hardware; software