

文章编号: 0258-7025(2008)Supplement2-0137-06

# 干涉椭偏测量系统中分光镜引入的非线性误差

邓元龙<sup>1</sup> 李学金<sup>2</sup> 柴金龙<sup>1</sup> 徐 刚<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 深圳大学机电与控制工程学院, 广东 深圳 518060)

(<sup>2</sup> 深圳大学物理科学与技术学院, 广东 深圳 518060)

**摘要** 研究了一种采用声光调制器实现的透射式外差干涉椭偏(IE)测量系统。实验测量了单层透明 ITO 膜, 膜厚和折射率测量误差分别达到 4 nm 和 6%。除了激光源和偏振器件之外, 分光镜也是重要的非线性误差源。研究了分光镜(BSs)退偏效应和方位角对椭偏测量误差的影响。采用琼斯矢量法推导出误差理论模型, 并数值计算了误差随分光镜光学参数和方位角的变化规律。计算结果表明, 由此引入的膜厚测量误差可达数纳米量级, 且与方位角误差近似成线性关系。退偏效应和方位角误差引入的非线性测量误差是互相关的, 不能通过移出被测样品的标定过程来完全消除。为了达到亚纳米级测量精度, 需要控制分光镜方位角误差在 0.01° 以内。根据分光镜退偏参数与非线性误差的关系, 可以设计或选择合适的分光镜。

**关键词** 测量;干涉椭偏术;分光镜;非线性误差;退偏效应;方位角误差

**中图分类号** TH744.3;TH89 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL200835s2.0137

## Nonlinear Error Introduced by Beam Splitters in an Interferometric Ellipsometer

Deng Yuanlong<sup>1</sup> Li Xuejin<sup>2</sup> Chai Jinlong<sup>1</sup> Xu Gang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> College of Mechatronics and control Engineering, Shenzhen University,  
Shenzhen, Guangdong 518060, China

<sup>2</sup> College of Physical Science and Technology, ShenZhen University, ShenZhen, Guangdong 518060, China

**Abstract** A heterodyne interferometric ellipsometer (IE) with two acousto-optical modulators was investigated. A single layer of transparent ITO on a glass substrate was measured; the measurement errors of film thickness and refractive index range up to 4 nm and 6%, respectively. Beam splitters are also important error sources besides laser source and polarizing optical components. The influence of the depolarization effect and misorientation of beam splitters (BSs) on ellipsometry is studied. The error model is given by using Jones Vectors; the rules between errors and the optical characteristics and misorientation of BSs are calculated. The calculation results indicate the error of film thickness measurement produced by BSs is up to several nanometers, and is approximately linear to the misorientation angle. The influence of the depolarization effect and misorientation on measurement accuracy is cross-correlated, so the error can not be eliminated by a calibration process of removing the sample out of the optical system. For obtaining subnanometers accuracy, the misorientaion angle must be lower than 0.01°. The rules between the depolarization parameters and the nonlinear errors presented in this paper could be used to determine how to design or select beam splitters in a heterodyne interferometric ellipsometer.

**Key words** measurement; interferometric ellipsometry; beam splitters; nonlinear error; depolarization effect; misorientation

## 1 引 言

由于具有高精度、非接触,可以同时测得折射率和厚度且擅长测量极薄膜等优点,椭圆偏振测量

术是重要的薄膜测试方法之一<sup>[1]</sup>。虽然各种类型的椭圆偏振测量仪发展很快,且成功应用于在线测量<sup>[2]</sup>,但测量速度仍然不能够适应一些快速过

**基金项目**: 深圳科技计划项目(200721)资助课题。

**作者简介**: 邓元龙(1971—),男,副教授,主要从事测量技术及仪器方面的研究。E-mail: dengyL@szu.edu.cn。

程<sup>[3]</sup>, 例如硬盘磁头飞行高度的在线测量<sup>[4]</sup>; 传统椭圆偏振测量仪由于存在机械旋转部件, 限制了测量速度的进一步提高, 而且一些固有的误差难以消除<sup>[5]</sup>。实时、在线与快速测量是椭圆偏振测量术发展趋势之一。Hazebroke 等于 1973 年提出了外差干涉式椭圆偏振测量<sup>[6]</sup>的概念, 针对其中存在的问题, 先后出现了很多种不同的方案设计。这些理论研究和实验表明, 干涉式椭圆偏振测量技术对于实时、快速薄膜测量有很好的应用价值和市场潜力, 但外差干涉测量中存在的非线性误差是其获得实际应用的主要障碍。外差干涉测量系统中的误差分析一直是国内外研究热点<sup>[7~14]</sup>, 但目前的研究都集中于采用迈克耳逊干涉仪结构的动态位移测量系统。

报道了外差干涉椭圆偏振测量系统中激光器和偏振分光镜的非理想对非线性误差的影响<sup>[15,16]</sup>, 而对于非偏分光镜引入的非线性误差, 国内外一直缺乏相应的研究。本文采用琼斯矢量法, 研究了分光镜的偏振效应和方位角误差对椭圆偏振测量精度的影响, 给出了椭圆偏振参数测量误差随分光镜参数和方位角的变化规律, 对设计与选择合适的分光镜有指导意义。

## 2 实验系统

实验系统采用对称的马赫-曾德尔 (Mach-Zehnder) 干涉仪结构, 如图 1 所示。其中 L 为 He-Ne 激光器; AO 为声光调制器; A 为光栏; PBS 为偏振分光镜; M 为反射镜; BS 为分光镜; S 为薄膜样品; D 为 PIN 管。入射角选择为  $70^\circ$ , 实验测量了 BK7 玻璃表面单层透明 ITO 膜 ( $d = 35.0 \pm 0.5 \text{ nm}$ ,  $n = 2.0$ ), 膜厚和折射率测量误差分别接近 4 nm 和 6%。

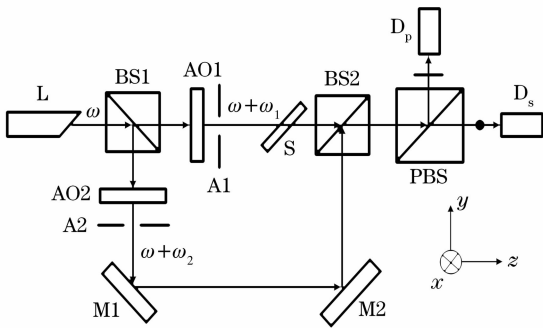


图 1 系统原理图

Fig. 1 Schematic of the optical configuration

## 3 分光镜引入的非线性误差

采用琼斯矢量法, 入射到 BS1 的激光束可以表示为

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \exp[i(\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{t} + \alpha)] \quad (1)$$

系统的琼斯响应如(2)式所示。

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_p &= \mathbf{P}_R (\mathbf{B}_T \cdot \mathbf{S}_T \cdot \mathbf{B}_T \cdot \mathbf{E}_m + \mathbf{B}_R \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{B}_R \cdot \mathbf{E}_r) \\ \mathbf{E}_s &= \mathbf{P}_T (\mathbf{B}_T \cdot \mathbf{S}_T \cdot \mathbf{B}_T \cdot \mathbf{E}_m + \mathbf{B}_R \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{B}_R \cdot \mathbf{E}_r) \end{aligned} \quad (2)$$

下标 R 和 T 代表反射和透射, 下标 r 和 m 代表参考光路和测量光路。其中

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_m &= \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \exp\{i[(\boldsymbol{\omega} + \boldsymbol{\omega}_1)t + \alpha_1]\} \\ \mathbf{E}_r &= \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \exp\{i[(\boldsymbol{\omega} + \boldsymbol{\omega}_2)t + \alpha_2]\} \end{aligned} \quad (3)$$

$\mathbf{P}$ ,  $\mathbf{M}$  和  $\mathbf{S}$  分别代表偏振分光镜、反射镜和薄膜样品的琼斯矩阵

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_R &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} & \mathbf{P}_T &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \\ \mathbf{S}_T &= \begin{bmatrix} t_s & 0 \\ 0 & t_p \end{bmatrix} & \mathbf{M} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4)$$

其中

$$t_s = |t_s| \cdot \exp(i\varphi_s) \quad t_p = |t_p| \cdot \exp(i\varphi_p) \quad (5)$$

分别代表薄膜对  $p$ ,  $s$  分量的透射系数。

考虑多层介质膜的退偏效应, 非理想分光镜的琼斯矩阵可以表示为

$$\begin{aligned} \mathbf{B}_T &= \begin{bmatrix} T_s \exp(i\tau_s) & 0 \\ 0 & T_p \exp(i\tau_p) \end{bmatrix} \\ \mathbf{B}_R &= \begin{bmatrix} R_s \exp(i\epsilon_s) & 0 \\ 0 & R_p \exp(i\epsilon_p) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6)$$

其中  $T \cdot \exp(i\tau)$  和  $R \cdot \exp(i\epsilon)$  分别代表透射和反射幅值系数。可以把上式归一化为

$$\mathbf{B}_T = \begin{pmatrix} \eta \cdot \exp(i\tau) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \mathbf{B}_R = \begin{pmatrix} \kappa \cdot \exp(i\epsilon) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

其中

$$\begin{aligned} \eta &= T_s/T_p, \quad \tau = \tau_s - \tau_p, \\ \kappa &= R_s/R_p, \quad \epsilon = \epsilon_s - \epsilon_p \end{aligned} \quad (8)$$

如果分光镜的  $p$ ,  $s$  轴与图 1 中的  $Y$ ,  $X$  坐标轴不重合, 而是存在方位角误差  $\theta$ , 则(7)式转换为

$$\begin{aligned} \mathbf{B}_T &= \begin{bmatrix} \eta \cos \theta \exp(i\tau) & -\sin \theta \\ \eta \sin \theta \exp(i\tau) & \cos \theta \end{bmatrix} \\ \mathbf{B}_R &= \begin{bmatrix} \kappa \cos \theta \exp(i\epsilon) & -\sin \theta \\ \kappa \sin \theta \exp(i\epsilon) & \cos \theta \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

为了简化分析过程, 可以假设 BS1 和 BS2 完全相同。把(3),(4),(5)和(9)式代入(2)式可得场强分量

$$\begin{aligned} E_p &\propto A_1 \exp(i\varphi_1) \exp\{i[(\omega + \omega_1)t + \alpha_1]\} + A_2 \exp(i\varphi_2) \exp\{i[(\omega + \omega_2)t + \alpha_2]\} \\ E_s &\propto A_3 \exp(i\varphi_3) \exp\{i[(\omega + \omega_1)t + \alpha_1]\} + A_4 \exp(i\varphi_4) \exp\{i[(\omega + \omega_2)t + \alpha_2]\} \end{aligned} \quad (10)$$

其中

$$\begin{aligned} A_1 \exp(i\varphi_1) &= \frac{1}{2} t_s \eta^2 \sin 2\theta \exp(i2\tau) + \frac{1}{2} t_p \eta \sin 2\theta \exp(i\tau) - t_s \eta \sin^2 \theta \exp(i\tau) + t_p \cos^2 \theta \\ A_2 \exp(i\varphi_2) &= \frac{1}{2} \kappa^2 \sin 2\theta \exp(i2\varepsilon) + \frac{1}{2} \kappa \sin 2\theta \exp(i\varepsilon) - \kappa \sin^2 \theta \cdot \exp(i\varepsilon) + \cos^2 \theta \\ A_3 \exp(i\varphi_3) &= -\frac{1}{2} t_s \eta \sin 2\theta \exp(i\tau) - t_p \eta \sin^2 \theta \exp(i\tau) + t_s \eta^2 \cos^2 \theta \exp(i2\tau) - \frac{1}{2} t_p \sin 2\theta \\ A_4 \exp(i\varphi_4) &= -\frac{1}{2} \kappa \sin 2\theta \exp(i\varepsilon) - \kappa \sin^2 \theta \exp(i\varepsilon) + \kappa^2 \cos^2 \theta \exp(i2\varepsilon) - \frac{1}{2} \sin 2\theta \end{aligned} \quad (11)$$

忽略不影响结果的常数项，可得归一化的外差光强信号为

$$I_p \propto A_1 A_2 \cos(\Delta\omega t + \Delta\alpha + \varphi_1 - \varphi_2) \quad I_s \propto A_3 A_4 \cos(\Delta\omega t + \Delta\alpha + \varphi_3 - \varphi_4) \quad (12)$$

假设通过仔细调整光学系统，使得分光镜方位角误差  $\theta = 0^\circ$ ，则(12)式可以表示为

$$I'_p \propto |t_p| \cos(\Delta\omega t + \Delta\alpha + \varphi_p) \quad I'_s \propto \eta^2 \kappa^2 |t_s| \cos[\Delta\omega t + \Delta\alpha + \varphi_s + 2(\tau - \varepsilon)] \quad (13)$$

可以把被测薄膜移出光学系统从而实现相对测量，根据分析过程可以直接给出标定信号

$$I'_s \propto \eta^2 \kappa^2 \cos[\Delta\omega t + \Delta\alpha + 2(\tau - \varepsilon)] \quad I'_p \propto \cos(\Delta\omega t + \Delta\alpha) \quad (14)$$

上标 C 代表标定。比较(13)式和(14)式的幅值和相位，可得椭圆偏参数对  $\tan(\psi)$ ， $\Delta$

$$\Delta = [\varphi(I'_p) - \varphi(I'_s)] - [\varphi(I'_p) - \varphi(I'_s)] = \varphi_p - \varphi_s \quad \tan(\psi) = |\rho| = \frac{A(I'_p)}{A(I'_s)} \bigg/ \frac{A(I'_p)}{A(I'_s)} = |t_p| / |t_s| \quad (15)$$

其中  $\varphi$  和  $A$  代表取信号相位和幅值。

从(15)式可明显看出，如果不存在方位角误差，分光镜本身的退偏效应并不影响外差干涉椭圆偏振测量精度；但是由于光学元件性能、支架的对准和定位精度都受到环境参数，特别是温度的影响，很难在测量过程中始终保持  $\theta = 0^\circ$ ，因此由分光镜引入的综合非线性误差可以从(12)、(14)和(15)式导出

$$\begin{aligned} \delta\Delta &= [(\varphi_1 - \varphi_2) - (\varphi_3 - \varphi_4)] - \\ &[\varphi(I'_p) - \varphi(I'_s)] - (\varphi_p - \varphi_s) \end{aligned}$$

$$\delta|\rho| = \frac{A_1 A_2}{A_3 A_4} \cdot \frac{A(I'_s)}{A(I'_p)} - \frac{|t_p|}{|t_s|} \quad (16)$$

## 4 分析与讨论

分光镜的玻璃基片折射率为 1.5146，交错镀四层折射率分别为 2.00 和 1.45 的分光介质膜系，每层厚度均为  $1.5\lambda$ ，则分光镜的光学特性如表 1 所示<sup>[17]</sup>。将被测薄膜参数和表 1 中分光镜参数代入(11)式和(16)式，得到椭圆偏振参数误差随方位角的变化规律如图 2 所示。

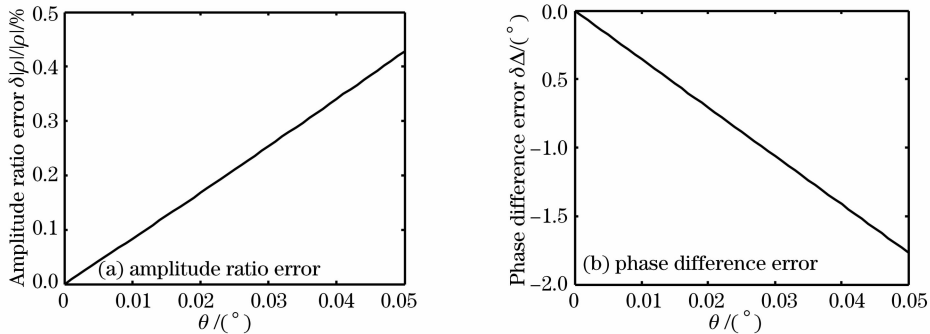


图 2 椭圆偏参数误差随方位角  $\theta$  的变化规律  
Fig. 2 Ellipsometric parameters errors versus  $\theta$

表 1 分光镜的光学参数

Table 1 Optical characteristics of the BS1 and BS2

| Polarization components | R      | T      | $\tau$ /rad | $\epsilon$ /rad |
|-------------------------|--------|--------|-------------|-----------------|
| s                       | 0.9341 | 0.3571 | -0.8596     | 2.2255          |
| p                       | 0.2064 | 0.9785 | -1.7034     | 1.4758          |

注： $\eta = 0.3649$ ,  $\kappa = 4.5257$ ,  $\tau = 0.8438$ ,  $\epsilon = 0.7497$ ；符号定义见(6)式~(8)式。

从图 2 可知， $\theta$  很小时，误差与  $\theta$  近似成线性关

系；当  $\theta = 0.01^\circ$  时产生的椭圆偏参数测量误差为

$$\delta\Delta \approx -0.4^\circ \quad \frac{\delta|\rho|}{|\rho|} \approx 0.1\% \quad (17)$$

将(17)式代入椭圆偏振测量基本方程<sup>[1]</sup>可知，由此引入约 1 nm 左右的膜厚测量误差。

图 3 描述了由分光镜引入的误差与膜厚的非线性关系。根据膜厚的预测数据，可以选择合适的入射角从而避开误差曲线峰零点。

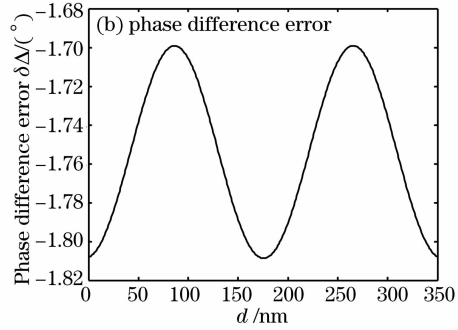
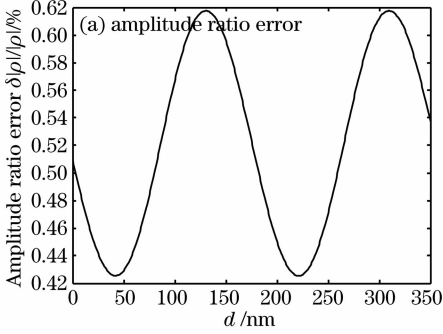


图 3 椭圆偏参数误差与膜厚的非线性关系

Fig. 3 Ellipsometric parameters errors versus film thickness

当  $\theta = 0.05^\circ$ ， $\eta$ ， $\kappa$  分别取 0.3649 和 4.5257 时，图 4 和图 5 分别描述了由分光镜引入的椭圆偏参数误差与  $\eta$ ， $\kappa$  的关系。由图 4 和图 5 可知，当  $\eta = \kappa$

时相位差的误差最小；当  $\kappa = 1$  并且  $\eta \times \kappa = 1$  时，幅值比误差最小。也就是说，理想中性分光镜( $\kappa = 1$ ， $\eta = 1$ )对椭圆偏测量没有影响。

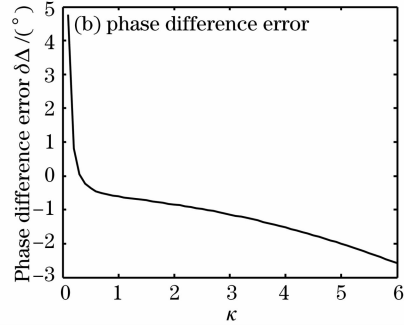
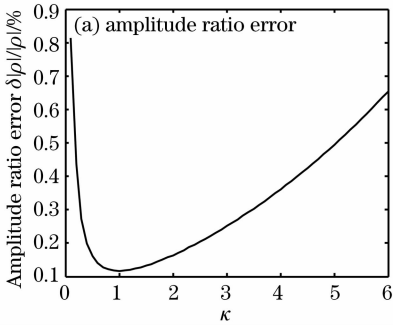


图 4 椭圆偏参数误差随  $\kappa (R_s/R_p)$  的变化规律

Fig. 4 Ellipsometric parameters errors versus  $\kappa (R_s/R_p)$

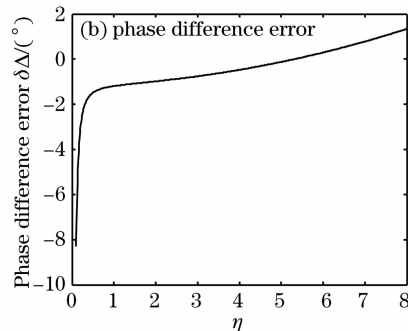
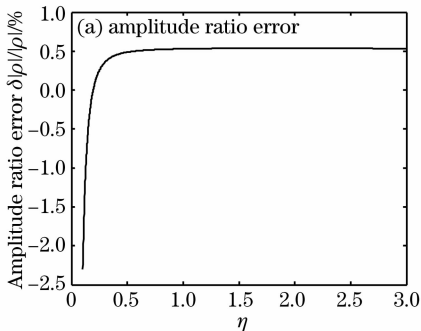


图 5 椭圆偏参数误差随  $\eta (T_s/T_p)$  的变化规律

Fig. 5 Ellipsometric parameters errors versus  $\eta (T_s/T_p)$

图6和图7分别描述了分光镜光学参数 $\tau$ 和 $\epsilon$ 对椭圆参数测量误差的影响。很明显当 $\epsilon + \tau = \pi$ 时，相位差误差最小。方位角 $\theta$ 对幅值比和相位差的测量误差影响不同，相对而言，幅值比更容易受到

$\theta$ 的影响，因此图6和图7中的误差极小值点并不重合。也就是说，分光镜的退偏效应和方位角引起的非线性误差不是独立，而是互相影响的。

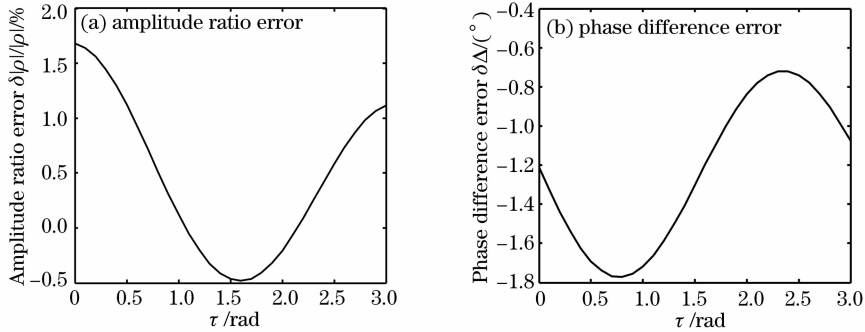


图6 椭圆参数误差随 $\tau$  ( $\tau_s - \tau_p$ )

Fig. 6 Ellipsometric parameters errors versus  $\tau$  ( $\tau_s - \tau_p$ )

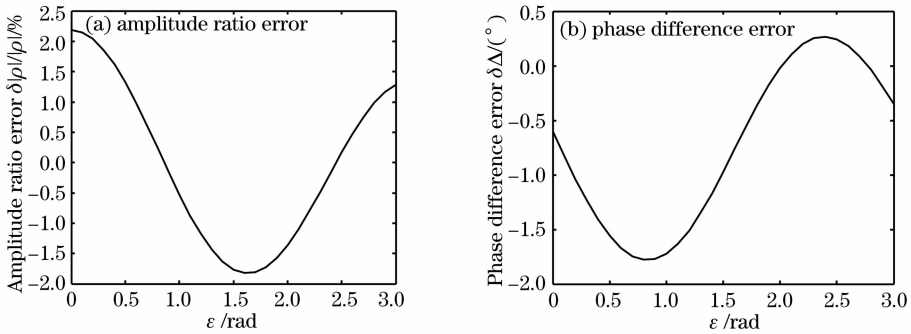


图7 椭圆参数误差随 $\epsilon$  ( $\epsilon_s - \epsilon_p$ )的变化规律

Fig. 7 Ellipsometric parameters errors versus  $\epsilon$  ( $\epsilon_s - \epsilon_p$ )

## 5 结 论

研究了分光镜退偏效应和方位角引入的椭圆参数测量误差。对比实验数据和误差分析结果可知，非理想分光镜是激光源和偏振器件之外又一重要的非线性误差源，由此导致的膜厚测量误差可达纳米量级，而且由分光镜退偏效应和方位角误差共同引起的非线性误差，无法通过标定的方法来消除。通过研究每一项非线性误差源，可以综合得到外差干涉椭圆测量系统误差模型，从而为下一步研究误差补偿算法提供理论基础。

## 参 考 文 献

- 1 R. M. A. Azzam, N. M. Bashara. Ellipsometry and Polarized Light[M]. Liang Minji, Yi Shubai, Zhang Fuchu *et al.*. Trans. Beijing: Science Press, 1986
- 2 R. M. A. 阿查姆, N. M. 巴夏拉. 椭圆偏振测量术和偏振光[M]. 梁民基, 尹树百, 张福初 等译. 北京: 科学出版社, 1986
- 3 Sun Zhaoqi, Cao Chunbin, Song Xueping *et al.*. Study on ellipsometric spectra of ITO film[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(2): 403~408
- 4 孙兆奇, 曹春斌, 宋学萍 等. 氧化铟锡薄膜的椭圆光谱研究[J].

- 5 光学学报, 2008, **28**(2): 403~408
- 6 K. Hemmes, M. A. Hamsra, K. R. Koops *et al.*. Evaluation of interferometric ellipsometer systems with a time resolution of one microsecond and faster[J]. *Thin Solid Films*, 1998, **313-314**: 40~46
- 7 Yue Zhaoyang, Lin Dejiao, Song Nanhai *et al.*. In-situ measurement for flying height modulation of magnetic head by symmetrical common-path heterodyne interferometry[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(6): 841~845
- 8 岳兆阳, 林德教, 宋南海 等. 对称共路外差干涉法测量硬盘磁头飞行高度瞬态调制[J]. *中国激光*, 2007, **34**(6): 841~845
- 9 Chinhua Lin, Chien Chou, Kehsu Chang. Real time interferometric ellipsometry with optical heterodyne and phase lock-in techniques[J]. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(34): 5159~5162
- 10 H. F. Hazebroek, A. A. Holscher. Interferometric ellipsometry[J]. *J. Phys. E.*, 1973, **6**(4): 822~826
- 11 Wenmei Hou, Gunter Wilkening. Investigation and compensation of the nonlinearity of heterodyne interferometers[J]. *Precision Engineering*, 1992, **14**(1): 91~98
- 12 Chen Hongfang, Ding Xuemei, Zhong Zhi *et al.*. Method to reduce first harmonic nonlinearity in laser heterodyne interferometry[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(6): 1027~1030
- 13 陈洪芳, 丁雪梅, 钟志 等. 减小外差干涉一次谐波非线性误差的方法[J]. *光学学报*, 2007, **27**(6): 1027~1030
- 14 Chunyong Yin, Gaoliang Dai, Zhixia Chao *et al.*. Determining the residual nonlinearity of a high-precision heterodyne interferometer[J]. *Opt. Eng.*, 1999, **38**(8): 1361~1365

- 10 Huijie Zhao, Guangjun Zhang. Nonlinear error by orientation and elliptic polarization in a two-beam interferometer[J]. *Opt. Eng.*, 2002, **41**(12): 3204~3208
- 11 Chen Hongfang, Ding Xuemei, Zhong Zhi. Effect of nonlinearity by the nonideal splitting performance of polarization beam splitter in laser heterodyne interferometry[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(11): 1562~1565  
陈洪芳, 丁雪梅, 钟 志. 偏振分光镜分光性能非理想对激光外差干涉非线性误差的影响[J]. *中国激光*, 2006, **33**(11): 1562~1565
- 12 Hou Wenmei, Wang Jun. Subdivision and elimination of nonlinearity in heterodyne interferometers[J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2007, **28**(3): 210~215  
侯文玫, 王 俊. 外差激光干涉仪非线性的细分和消除[J]. *计量学报*, 2007, **28**(3): 210~215
- 13 Ning Zhigao, Cheng Zhaogu, Gao Haijun. Error analysis of frequency mixing for heterodyne interferometer[J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(6): 852~854  
宁志高, 程兆谷, 高海军. 外差干涉仪混频误差分析[J]. *中国激光*, 2005, **32**(6): 852~854
- 14 Chen Benyong, Mu Ruizhen, Zhou Yanjiang *et al.*. Nonlinear error analysis of laser synthetic-wavelength nanomeasurement interferometer [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(2): 240~245  
陈本永, 穆瑞珍, 周砚江 等. 激光合成波长纳米测量干涉仪的非线性误差分析[J]. *中国激光*, 2008, **35**(2): 240~245
- 15 Yuanlong Deng, Xuejin Li, Yubin Wu *et al.*. Analysis of frequency mixing error on heterodyne interferometric ellipsometry [J]. *Meas. Sci. Technol.*, 2007, **18**(11): 3339~3343
- 16 Yuanlong Deng, Jinlong Chai, Xuejin Li *et al.*. Polarization mixing error in transmission ellipsometry with two acousto-optical modulators[J]. *Opt. Engng.*, 2008, **47**(7): 075601
- 17 G. A. Lysenko, A. V. Krioukov, Y. Y. Kachurin *et al.*. Accurate measurements at interferometric ellipsometer[J]. *Opt. Engng.*, 2006, **45**(2): 023605