

# 共路外差表面轮廓仪

韩昌元 刘斌 卢振武 张晓辉 顾去吾

(中国科学院长春光学精密机械研究所应用光学国家重点实验室, 长春 130022)

## 提 要

本文提出了一种改进的外差共路干涉仪,用于表面粗糙度的测量,它对机械振动、温度变化等极不敏感,纵向分辨率为 0.1 nm,可用于表面粗糙度的实际检测工作.

**关键词** 表面轮廓仪, 外差, 粗糙度.

## 1 引 言

随着现代超精加工技术的不断发展,对超光滑表面粗糙度的测量提出了越来越高的要求. 尽管接触式探针表面轮廓仪具有很高的横向和纵向分辨率<sup>[1]</sup>,但因为是接触测量,会造成样品表面的划伤. 外差干涉是检测超光滑表面的成功手段之一,原理上具有极高的纵向分辨率而在测量长度上没有理论极限. Huang<sup>[2]</sup>和 Pantzer<sup>[3]</sup>等先后报导了这方面的研究工作,但他们所采用的方案都存在着一定的问题. 本文对其实验方案进行了改进,采取了一种共路干涉系统,使其对外界振动和温度漂移等极不敏感,达到在一般环境条件下可实际检测超光滑表面的要求.

## 2 工作原理

本文的共光路外差干涉仪由两个独立的干涉仪构成,如图 1 所示. 前面的马赫-陈德尔 (Mach-Zehnder) 干涉仪用来产生两个共心、偏振方向相互垂直、光频率稍有不同的光束;后面的等腰三角环形干涉仪则用来进行表面粗糙度的测量.

单模线偏振激光束在第一个干涉仪中经过  $BS_1$  分束后,分别通过两个声光调制器  $AO_1$ 、 $AO_2$  工作频率稍有不同(频差为 20 kHz). 一路经过  $\lambda/2$  波片后,偏振方向旋转  $90^\circ$ ,最后经  $PBS_1$  合束. 合束后的共心光束经透镜  $L_1$ 、 $L_2$  和针孔滤波器组成的扩束系统扩束. 扩束后的平行光经  $BS_2$  分束,反射部分经过偏振片  $P_1$  和会聚透镜  $C_1$  后,由探测器  $D_1$  接收,作为参考信号;透射部分进入第二个干涉仪,作为此干涉仪的光源. 两相互垂直的光束,一束经  $PBS_2$  后反射,再经棱镜反射镜  $M_1$  和透镜  $L_3$  后会聚在  $F_1$  点,由  $PBS_3$  反射和  $L_4$  准直后到达样品表面,光束直径为 1.7 mm,此光束作为检测样品的参考光束,经样品反射回环形干涉仪. 它两次经过  $\lambda/4$  波片,偏振方向旋转  $90^\circ$ ,经  $PBS_3$  和  $PBS_2$  透射、 $M_3$  和  $BS_2$  反射,进入探测器  $D_2$ . 另一束经  $PBS_2$

收稿日期:1992年6月1日

\* 此课题得到国家自然科学基金资助.

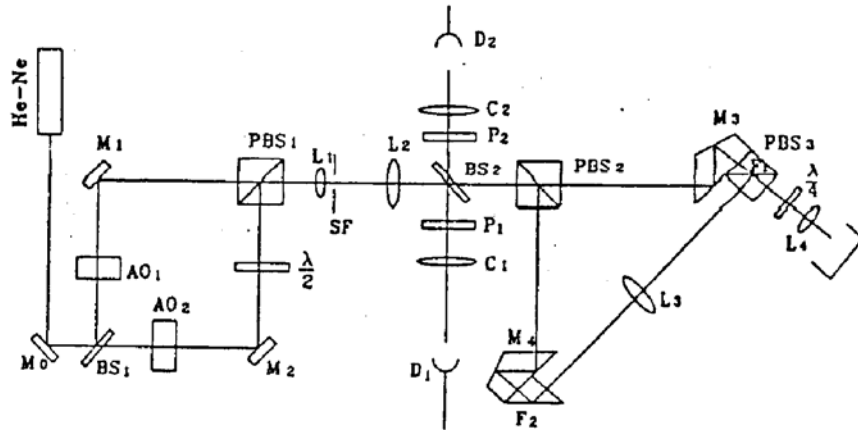


Fig. 1 Heterodyne common path interferometer.

M-Mirror, BS-Beam splitter, AO-Acoustooptic modulator,  $\lambda/2$ - $\lambda/2$  plate, PBS-polarizing beam splitter, L-lens, D-detector, SP-spatial filter, P-polarizer, C-condenser lens,  $\lambda/4$ - $\lambda/4$  plate

为透射光,经  $M_3$ 、 $PBS_3$  和  $L_4$  后会聚在样品表面作为检测光束,其光斑大小为  $3 \mu\text{m}$ . 经样品反射后,也两次经过  $\lambda/4$  波片,偏振方向旋转  $90^\circ$ ,它经  $PBS_3$  反射,由  $L_3$  会聚在  $F_2$  点,再经  $M_4$ 、 $PBS_2$  和  $BS_2$  后进入探测器  $D_2$ . 探测器  $D_1$  和  $D_2$  接收到的光场分别为

$$E_r = A_1 \exp [i(2\pi f_1 t - k_1 z_1)] + A_2 \exp [i(2\pi f_2 t - k_2 z_2)], \quad (1)$$

$$E_p = B_1 \exp [i(2\pi f_1 t - k_1 z_1 - k_1 z_3)] + B_2 \exp [i(2\pi f_2 t - k_2 z_2 - k_2 z_4)]. \quad (2)$$

式中  $f_1$ 、 $f_2$  分别为经过  $AO_1$  和  $AO_2$  后频移的光频, $k_1$ 、 $k_2$  为与  $f_1$ 、 $f_2$  有关的波数, $z_1$ 、 $z_2$  分别为两束光在第一个干涉仪中的光程, $z_3$ 、 $z_4$  为在第二个干涉仪中的光程, $A_1$ 、 $A_2$ 、 $B_1$  和  $B_2$  为光振幅. 两个探测器中的强度信号为

$$\left. \begin{aligned} I_r &= A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos \Phi_r \\ \Phi_r &= (2\pi f_1 - 2\pi f_2)t - (k_1 z_1 - k_2 z_2), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} I_p &= B_1^2 + B_2^2 + 2B_1 B_2 \cos \Phi_p, \\ \Phi_p &= 2\pi(f_1 - f_2)t - [k_1(z_1 + z_3) - k_2(z_2 + z_4)]. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

经过电子学处理系统后,两信号的位相差为

$$\Phi = \Phi_p - \Phi_r = (2\pi/c)(f_2 z_4 - f_1 z_3), \quad (5)$$

式中  $c$  为光速. 把上式微分后,可以证明,样品表面粗糙度由下式决定<sup>[3]</sup>:

$$\Delta\Phi = (2\pi/c)f_1 \Delta z, \quad (6)$$

式中  $\Delta z$  为  $z' = z_4 - z_3$  的微小变化量. 因为采用了共光路干涉仪, $\Delta z$  的大小仅由宽光束的平均位相值与小光斑有位相值之差决定,即  $\Delta z = 2\Delta h$ ,  $\Delta h$  为样品表面的高度变化, $\lambda$  为光源波长. 于是(6)式变为

$$\Delta h = (\lambda/4\pi)\Delta\Phi, \quad (7)$$

### 3 实验结果与讨论

实验中使用了如图 1 所示的光路,光源为功率 20 mW、单模线偏振的 He-Ne 激光器,在  $D_1$  和  $D_2$  处用两个相同硅光二极管接收,信号经电子学放大处理后,输入到 DRANETZ Technic

Co., 305 C 型数字位相计中进行比相, 这种位相计的灵敏度为  $0.01^\circ$ , 精度为  $0.05^\circ$ . 整个实验装置放在一个未采取防震措施的平台, 系统的稳定性由静止样品测定. 由于共路外差干涉是通过测量时间位相求出空间位相  $\Delta\phi$ , 整个系统在 1 min 时间内, 位相计中读数变化小于  $0.1^\circ$ , 由(8)式可知, 当  $\Delta\phi$  变化  $0.10$  时,  $\Delta h$  变化大约为  $0.1 \text{ nm}$ . 因此, 本文的系统具有  $0.1 \text{ nm}$  的纵向分辨率. 实验采用钻石车床加工的铝平面反射镜进行了实际测试, 扫描长度为  $300 \mu\text{m}$ , 其结果如图 2 所示. 两次测量的 rms 值重复性为  $0.1 \text{ nm}$ , 它的 rms 值与用 Talystep 所测结果一致.

在本文的表面轮廓仪中, 由于采取了共光路系统, 整个系统对机械不稳定性、温度漂移和激光频率不稳定等因素极不敏感, 充分利用了外差干涉的优点, 使其纵向分辨率达到  $0.1 \text{ nm}$ , 而在 Pantzer<sup>[3]</sup> 的系统中, 由于非共路的影响, 其纵向分辨率仅为  $5 \text{ nm}$  左右. 由于本文的系统在光学结构上的独到改进, 使其对测量环境无特殊要求, 所以共路外差表面轮廓仪可直接用于实验室或工厂, 进行各种样品的粗糙度检测.

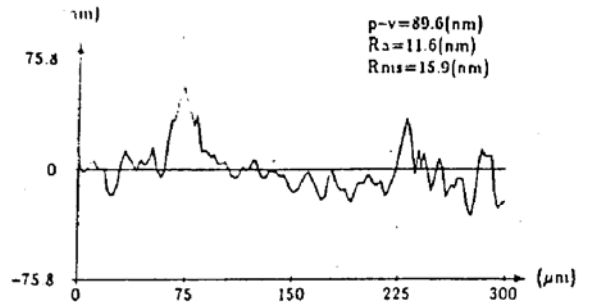


Fig. 2 A profile of aluminium sample

### 参 考 文 献

- [1] J. M. Bennett, J. H. Dancy, Stylus profiling instrument for measuring statistical properties of smooth optical surfaces. *Appl. Opt.*, 1981, **20**(10):1785
- [2] C. C. Huang, Optical heterodyne profilometer. *Opt. Eng.*, 1984, **23**(4):365
- [3] D. Pantzer *et al.*, Heterodyne profiling instrument for the angstrom region. 1986, *Appl. Opt.*, **25**(22):4168

## Heterodyne common path surface profilometer

HAN Changyuan    LIU Bin    LU Zhenwu    ZHANG Xiaohui    GU Quwu

( State Key Laboratory of Applied Optics  
Changchun Institute of Optics & Fine Mechanics, Academia Sinica Changchun 130022 )

(Received 1 June 1992)

### Abstract

As a modified heterodyne profilometer the heterodyne common path surface profilometer for measuring surface roughness is described. The profilometer is not sensitive to mechanical instability and temperature variations. The actual height resolution is  $0.1 \text{ nm}$  and this system could be developed into a standard instrument for surface roughness measurement.

**Key words** surface profilometer, Heterodyne, roughness.