

文章编号: 1001-3806(2004)06-0595-03

集成光电传感器的研究

黄 伟, 周肇飞, 张 涛

(四川大学 激光应用研究所, 成都 610065)

摘要: 为适应现代加工技术的需要, 研制了一种集成非接触式光电传感器, 它将几何量测量中常见的干涉法测量微观形貌、三角法测量微位移、散射法测量表面粗糙度 3 种测量方式结合起来, 实现同时测量 3 种参数的功能。通过运用自适应滤波对数据进行处理, 其测量精度与单功能传感器相近。

关键词: 光电传感器; 传感器集成; 粗糙度; 微位移; 微观轮廓

中图分类号: TP212.1 **文献标识码:** A

Research of integrated optic-electronic sensor

HUANG Wei, ZHOU Zhaofei, ZHANG Tao

(Institute of Applied Laser Technology, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In order to adapt to the development of modern manufacture technology, a noncontact integrated optic-electronic sensor is designed. It combines three common methods: micrometer, roughness meter and profilometer and can measure micro-displacement, roughness and profile at the same time. It uses an adaptive noise compensation system to eliminate the noise, whose accuracy is similar to each existing single function sensor.

Key words: photoelectric sensor; sensor integration; roughness; micro-displacement; micro-profile

引 言

随着现代加工技术的发展, 对测量精度和效率的要求越来越高。光电传感器由于其高精度以及与被测表面非接触等优点, 应用也越来越多。但一般光电传感器都只能完成单一的功能, 如三角法测位移, 干涉法测微观形貌, 激光散射法测表面粗糙度等。在这种情况下, 要对加工零件进行多种几何量参数的综合测量, 就必须使用几种不同类型的测量仪器, 使测量费时费力。而要实现在线实时测量就更加困难。因此, 研究出一种多功能集成光电传感器对制造行业具有重大意义。

目前, 精密机械加工中需要测量的几何量主要是表面粗糙度与形状误差两大类。本项目针对以上两类问题, 将表面微观轮廓、微位移、表面粗糙度三者结合起来, 形成一个集成传感器, 能够同时完成以上 3 种方式的测量, 并且其测量精度与单功能传感器相近。

作者简介: 黄 伟(1969), 男, 在职博士研究生, 现从事光电检测技术、纳米测试方面的研究。

E-mail: huangrui@scu.edu.cn

收稿日期: 2004-01-30; 收到修改稿日期: 2004-02-19

1 传感器集成的可行性分析

传感器集成不是简单意义上的组合与功能叠加, 而是要找出多种传感器的共性, 实现传感器功能的集成。为此, 选用具有一定共性的常见传感器: 测量表面微观轮廓的干涉法, 微位移测量的三角法, 表面粗糙度测量的光散射法等 3 种做集成。它们的共同方面是都可以采用激光光源。光电转换元件都可以采用 CCD、光电池阵列等元件。从光路原理上说, 散射法测表面粗糙度和三角法测微位移有相似之处。如图 1 与图 2 所示。它们均采用以一定入射

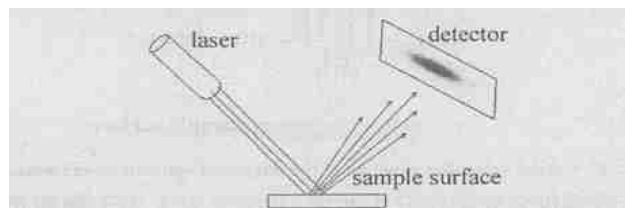


Fig. 1 Surface roughness measurement using scattering method

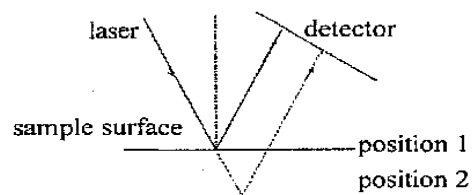


Fig. 2 Micro-displacement measurement using optical triangle method

角斜入射的光线。通过感光元件接收反射光线。粗糙度测量通过散射光在接收元件上的分布状况来获得被测表面粗糙度情况,微位移测量通过光斑中心位置的移动来获得微位移的大小。因此,在光路设计上粗糙度测量与微位移测量可共用光路。干涉法测量微观轮廓与前两种有所不同,它是以迈克尔逊干涉仪为基础。光路如图3所示。由图3可以看到,干涉法采用正入射,与前两种光入射方式不同,但它正好可以使干涉法与前两种方法在光路上分开,以保证干涉法对光源的要求,提高干涉测量的分辨率。从以上的分析可看出,3种测量方法在光源、光路、接收器件上都有一定的共性,可以进行集成。

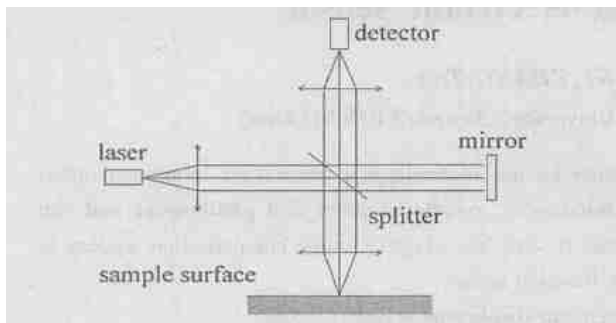
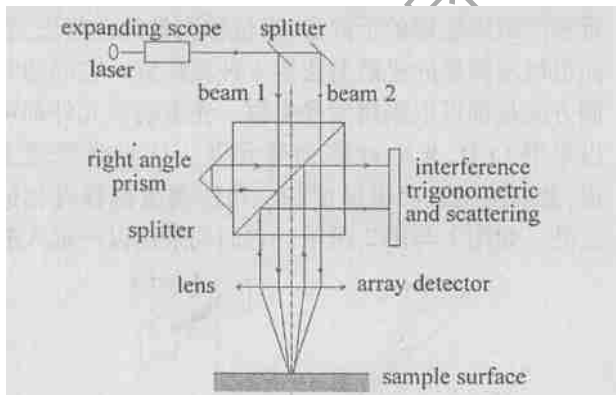


Fig. 3 Micro-profile measurement using profilometer

2 集成光电传感器设计

对上面分析的光路加以变化以适应集成的需要,然后加以集成得到集成光电传感器原理图。如图4所示,半导体激光器发出激光经自准直光纤准



直后通过分光棱镜分为两束,其中光束1为干涉测量光束,光束2为散射和位移测量光束。光束1经过立体分光棱镜分光后形成干涉测量的参考臂和测量臂,两束光分别经过直角反射镜和被测表面反射后到达光电池阵列表面。为了避免光束反射后回到激光器产生干扰,光束1的位置安排在透镜中心旁边一点。光束2在光轴另一侧通过,经过试件表面反射最后也到达光电池阵列表面。光束1与光束2分别从透镜

两边通过是为了使干涉信号接收点的位置与散射光斑位置间有足够的距离,使无论是测量较大的表面粗糙度和微位移时干涉信号都不受干扰。

设计中采用半导体激光器是因为它体积小、光强度高、寿命长,虽然其稳频精度不如气体激光器那样高,但这里已足以满足要求^[1,2],此处采用的是SU761TE,输出功率为3mW。采用自准直光纤准直的原理是通过将光纤的长度正好截为激光在光纤内传播的空间周期长度1/4的奇数倍,使光线正好由其传播轨迹的正弦曲线顶端出射,使出射光束为平行光束,这种方法的优点是体积小、成本低。对于设计中物镜的要求是:有效孔径要大,以满足散射光带的通过;像差要小,使干涉图像和散射光带对比度好,同时使散射光带不会形成明显的弯曲影响测量结果;焦距不能太大或太小,焦距太大不便于干涉测量聚焦,焦距太小不便于测量。此处采用的是焦距36mm、有效孔径25mm消色差透镜。光电转换元件可选用线阵CCD或光电池阵列等。从微位移测量精度和分辨率以及散射测量光带宽度考虑后选择使用有5000像素单元的线阵CCD,每像素尺寸为 $7\mu\text{m} \times 7\mu\text{m}$,完全能够满足散射、微位移和干涉测量的要求。

3 数据处理

由于集成传感器工作在一般实验室环境下,会受到多种干扰的影响,如外部杂光干扰、工频干扰等,使集成传感器的分辨率、精度都下降,因此有必要对数据进行处理,以消除这些影响所带来的测量误差。对于测量信号中高频干扰,可以采用低通滤波来加以消除,但是对于工频干扰等频率较低,变化较为缓慢,与测量信号频率相近的信号,要滤出就比较麻烦。为此,采用自适应滤波器来消除这些干扰。自适应滤波器的流程图如图5所示。除高频信号外,一般低频信

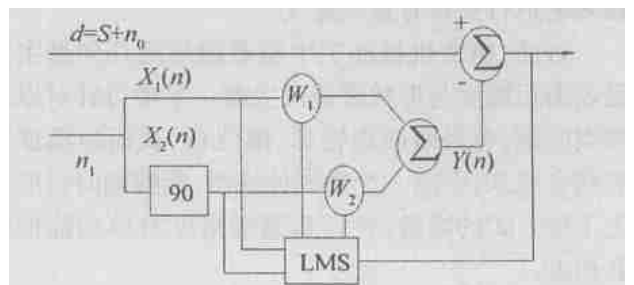


Fig. 5 The flow chart of the filtering system

号可近似简化为简单的周期信号,此时自适应滤波系统可变化为包含两个自动加权的单频自适应滤波器。原始输入信号 d 由有用信号 S 与噪声信号 n_0 组成,它可以表示为 $d = S + n_0 = S + A \cos(\omega_0 t + \Phi + \Phi_0)$ 。

参考输入信号 n_1 是 CCD 最后一个未参与成像的像素输出的信号,它与其它像素受到的干扰信号 n_0 相关。此时参考信号可表示为 $n_1 = C\cos(\omega_0 t + \Phi)$ 。当原始输入信号与参考输入均以采样频率 $f_s = 1/T$ 同步采样时,有: $X_1(n) = C\cos(\omega_0 nT + \Phi)$, $X_2(n) = C\sin(\omega_0 nT + \Phi)$, 加权系数 $W_1(n)$, $W_2(n)$ 与自适应滤波器的输出 $Y(n)$, 通过相关抵消回路由最小均方值(LMS)算法确定:

$$\begin{cases} W_1(n+1) = W_1(n) + 2\mu\varepsilon(n)X_1(n) \\ W_2(n+1) = W_2(n) + 2\mu\varepsilon(n)X_2(n) \\ Y(n) = X_1(n)W_1(n) + X_2(n)W_2(n) \\ \varepsilon(n) = d(n) - Y(n) \end{cases} \quad (1)$$

式中, μ 为收敛因子, 实验中取 $\mu = 0.0001$, 加权系数初始值 $W_1(0) = 0$, $W_2(0) = 0$, $C = 5$ 。经以上过程循环迭代, 噪声消除明显, 测量精度与分辨率都有提高。

4 实验结果

集成传感器中干涉法测量微观形貌垂直高度上的变化量为 $\Delta h = \lambda\lambda/2$ ^[3]。图 6 与图 7 分别是 Zygo New View 2000 (标称分辨率 0.1nm) 和本装置对同

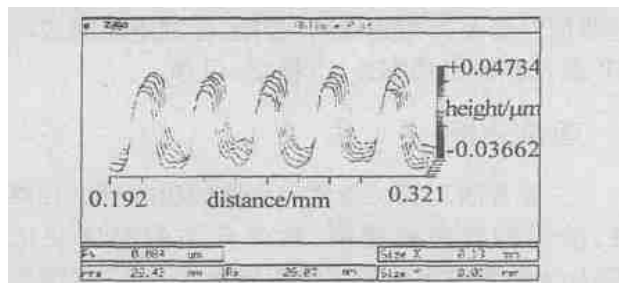


Fig. 6 Zygo new view 2000 measure result

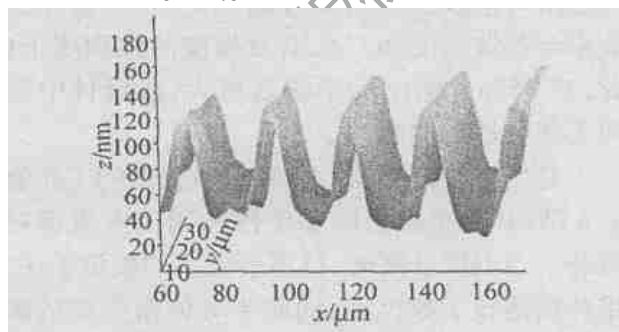


Fig. 7 Integrated sensor measure result

一试样的测量结果图, 可以看出, 本装置测量结果基本能反映被测试件的微观形貌, 其分辨率 $R_a = 0.005\mu\text{m}$ 。

集成传感器中三角法测量微位移, 垂直高度上的位移量 δ 为: $\delta = Df^2/2aL$, 其中 D 为光电池阵列上光斑位置变化量, a 为入射光束偏离物镜光轴的距离, f 为物镜焦距, L 为像方焦平面到光电池阵列的距

离^[4]。由于光散射(此光路同时用于测量表面粗糙度)和离焦的影响, 成像不是一个光点而是一个光带, 因此, 必须通过拟合的方法在光带中找到一个极大值点, 以此作为成像光点的位置。由于表面粗糙度增大, 使散射光带分布强弱变化减小, 测量范围和灵敏度都会随之下降。表 1 中是使用本装置在分辨率为 $0.5\mu\text{m}$ 的微动工作台上比对测试的结果。集成光电传感器中的微位移测量在 $0\mu\text{m} \sim \pm 1000\mu\text{m}$ 范围内有较好精度。其最高位移分辨率可达到 $1\mu\text{m}$ 。

Table 1 Result of sensing move measurement

| | movement/ μm | | | | |
|-------------------|-------------------------|------|-----|-----|-----|
| sine protractor | 1 | 20.5 | 100 | 500 | 820 |
| integrated sensor | 1 | 20 | 100 | 501 | 819 |

集成传感器中散射法测量表面粗糙度, 是以光学散射特征值 S_n (standard notation) 评价散射光强角分布^[5], 而 S_n 与表面粗糙度 R_a 之间又有确定的对应关系。实验通过查表将测得的 S_n 值与仪器中存储的 S_n-R_a 对应表比对得出 R_a 值。表 2 中是本实验装置与其它仪器比对结果, 可以看出, 与其它仪器测量结果基本吻合。

Table 2 Result of roughness measurement

| sample | 1 | 2 | 3 |
|--------------------|-------------------|-------|------|
| roughness | $R_a/\mu\text{m}$ | | |
| SE-100 | 0.023 | 0.100 | 0.24 |
| instruments taly-6 | 0.025 | 0.103 | 0.24 |
| integrated sensor | 0.026 | 0.106 | 0.25 |

5 结 论

实验表明, 利用半导体激光器作为光源的集成光电传感器能够同时实现表面微观轮廓、微位移、表面粗糙度等 3 种几何量的测量。通过对测量信号的处理, 其测量精度与分辨率基本能够达到单个传感器的精度与分辨率。

参 考 文 献

- [1] ZHOU W D, ZHOU Z F, CHI G C. Investigation of common-path interferometry [J]. Opt Engng, 1997, 36(11): 3172~3175.
- [2] DOWNS M J, Mc GIVERN W H, FERGUSEN H J. Optical system for measuring the profile of super smooth surface [J]. Precision Engineering, 1985, 7(4): 211~215.
- [3] HUANG C C. Optical heterodyne profilometer [J]. Opt Engng, 1984, 23(4): 365~370.
- [4] 唐朝伟, 梁锡昌. 表面起伏测量系统中激光三角测量头的设计 [J]. 激光杂志, 1993, 14(1): 30~34.
- [5] 唐文孝, 强锡富. 用散射光测量光滑金属表面的粗糙度 [J]. 仪器仪表学报, 1993, 14(4): 381~385.