

## 精密微小孔激光测量方法<sup>①</sup>

徐利梅\* 张家裕

(电子科技大学电子机械系 成都 610054)

**【摘要】** 提出了一种测量微小孔的方法,该系统由半导体激光器,步进电机驱动的二维工作台,以微型计算机为基础的控制电路组成,激光头将激光束聚焦在被测工件表面并立即反射回来,反射的光束经过一光学组件到达四象限探测器,工件表面以及孔反射的光通量不同,四象限探测器将光通量转化为电流,此电流送至接口电路及微型计算机处理。实验表明该方法能可靠地获得精密微小孔的测量值。

**关键词** 微小孔; 激光头; 四象限探测器; 象散

中图分类号 TM930.126

精密微小孔的测量,长期以来是国内外测试领域的一大难题。通过对国内外有关的新产品新技术的开发研究和市场信息的了解,以及查阅有关文献资料,至今未发现应用光聚焦技术进行微小孔测量的先例。

精密微小孔泛指广义的孔:直径不超过 1 mm 的盲孔或通孔,目前采用的有放大法,即将微小孔通过光学系统进行放大比较测量,这种方法存在弊端,基准定义不准确,测量精度低,效率低,系统复杂,很难实现在线测量。另外,若采用 CCD 器件的系统测量,分辨率低于 5  $\mu\text{m}$ 。本文提出了一种测量精密微小孔的方法,实验装置的研制构思新颖、性能优异。成本低,具有开发为高科技产品的前景。

### 1 从激光头中产生的测量信号

70 年代中期, C. BRICOT 等人在 THOMSON CSF 实验中心做了大量工作,详细阐述了光学读取头的激光光路结构,利用四象限探测器的信号读取原理,为光盘技术的实用化,以及相关的测试技术领域中的精密对准定位奠定了基础<sup>[1]</sup>。

半导体激光器中产生的光束通过设计的光学组件最后经物镜聚焦在被测工件上成为直径仅为 1  $\mu\text{m}$  的光斑,工作反射后的象散光束再次经过物镜及光学组件聚焦在光电二极管上,四个光电二极管 A, B, C, D 如图 1 按 45° 对称排列,分立元件的分界线约几个毫微米,由于被测工件和激光传感头物镜之间距离的变化,在光电二极管上产生象散现象,当准确聚焦时光斑为正圆,输出信号值  $(A+B)-(C+D)$  经差分放大为零,当近离焦或远离焦时光斑呈不同的椭圆,输出的误差信号值  $(A+B)-(C+D)$  分别大于零或小于零。

本文中设两个信号,一个是误差信号  $(A+B)-(C+D)$ ,另一个是测量微孔信号  $(A+B+C+D)$ 。误差信号代表非聚焦的特性,它是自动聚焦回路的输入信号,其动态变化范围依据物镜的聚焦长度,如图 2 所示,典型的范围在  $\pm 200 \mu\text{m}$  内。信号  $A+B+C+D$  代表了工件表面所需要的信息,大电流代表工件表面,小电流代表工作表面的孔,虽然代表盲孔和通孔的小电流不同,但不会影响测量的结果。

① 1997 年 8 月 19 日收稿,1998 年 4 月 21 日修改定稿

\* 女 28 岁 硕士 讲师

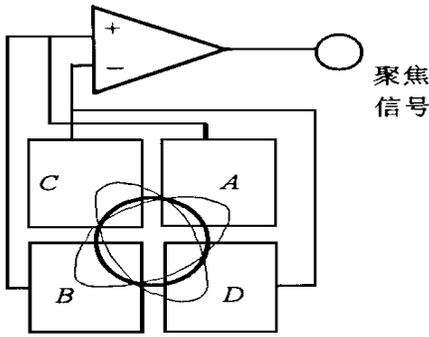


图1 四象限探测器

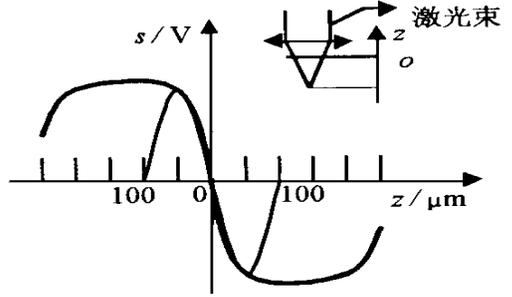


图2 聚焦误差信号

### 2 测量原理

二维工作台由步进电机通过无间隙齿轮组(传动比为 1/4)精密丝杆驱动,脉冲当量  $S$  为  $0.78 \mu\text{m}$ 。本文采用的测量微小孔直径需用二维坐标来完成,利用其中一维坐标找到通过孔的任意一条弦的中点,过中点垂直于弦的直线与孔边缘交点之间的距离即是孔直径。如图 3 所示,快速驱动工作台,激光传感头搜寻微孔的位置,如果其中一坐标  $X$  找到了孔的位置,激光头在  $X$  坐标方向上以工作速度被驱动从  $A$  移到  $B$ ,驱动步进电机的脉冲被同步记录,这时控制信号  $N_1$  驱动激光头反方向移到  $AB$  的中点  $H$ ,然后控制信号 2 使传感头从  $H$  沿  $Y$  坐标方向移至  $C$  点,再反方向移至  $D$  点,  $D$ 、 $C$  间的脉冲  $N_3$  被同步记录,距离  $N_3S$  便是圆孔的直径,采用这种方法测量孔,数学模型简单,容易实现控制。

聚焦误差信号  $(A+B)-(C+D)$  值的大小与远离焦或近离焦的距离成正比,如图 5 所示,此信号送至放大电路放大,驱动聚焦线圈,使之与聚焦线圈机械固接的物镜产生相应的轴向移动,获得良好聚焦。

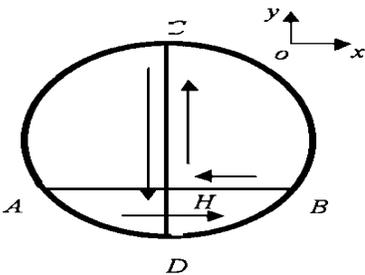


图3 直径测量原理

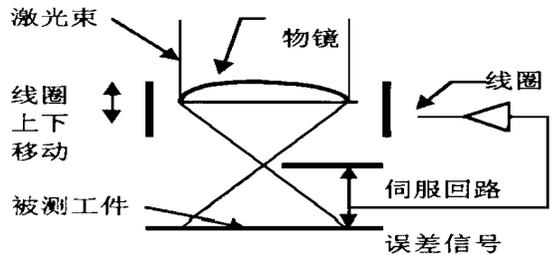


图4 聚焦伺服回路

### 3 测量系统

测量系统框图如图 4 所示,激光头的分辨率为  $0.8 \mu\text{m}$ ,被测孔径量程为  $10 \mu\text{m} \sim 1\,000 \mu\text{m}$ ,光源为半导体激光器  $780 \text{ nm}$ ,光斑的直径为  $0.8 \mu\text{m}$ 。计算机上编制的软件完成工件表面扫描的控制以及同步计数最终完成微小孔直径的测量<sup>[2]</sup>。

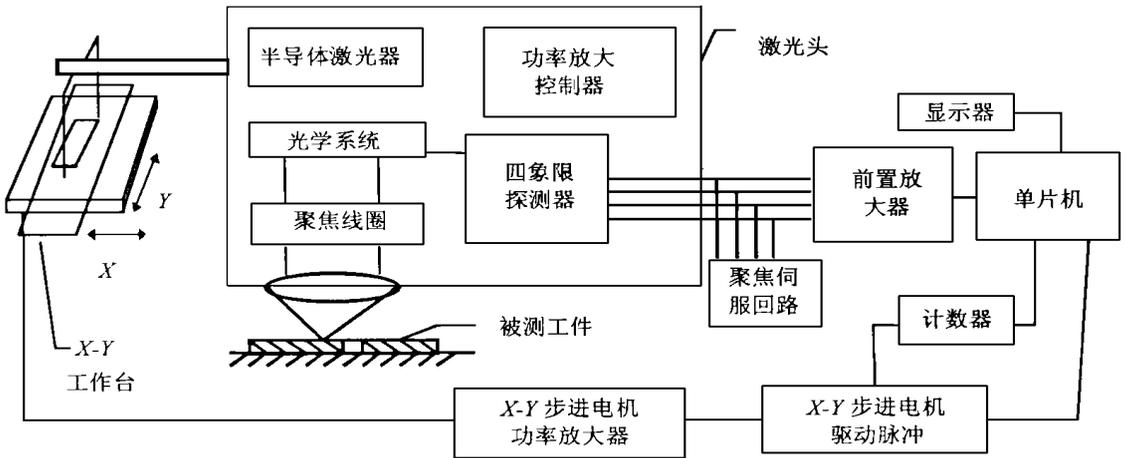


图 5 激光测量系统框图

## 4 实验结果

### 4.1 测试信号的有效性

取两个样板做测试, 结果如表 1 所示。表中板 1 和 2 为光盘; 板 3 和 4 为薄铝片;  $V$  为集成电路插脚电压;  $a$  为工件表面;  $b$  为工件表面的微孔;  $t$  为环境温度;  $D$  为测量日期。

表 1 工件表面和微小孔的测量信号

| $V$ | 1     | 3     | 12    | 14    | 17   | $t$ | $D$  |
|-----|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|
| 1a  | -3.25 | -3.51 | -2.45 | -2.63 | 9.30 | 27  | July |
| 1b  | -1.19 | -1.28 | -0.84 | -0.93 | 4.35 |     |      |
| 2a  | -2.12 | -2.41 | -2.88 | -3.26 | 8.69 | 20  | Oct. |
| 2b  | -1.10 | -1.20 | -1.42 | -1.56 | 5.20 |     |      |
| 3a  | -2.15 | -2.32 | -2.65 | -3.06 | 8.62 | 13  | Nov. |
| 3b  | -0.51 | -0.53 | -0.72 | -0.78 | 2.70 |     |      |
| 4a  | -2.12 | -2.22 | -2.54 | -3.01 | 8.30 | 10  | Dec. |
| 4b  | -0.50 | -0.53 | -0.67 | -0.69 | 2.65 |     |      |

从表 1 可以看出, 代表工件表面和孔的电压显著不同, 同时电压随温度的变化和工件材料的变化而波动, 当然, 这种波动通过电路消除不会影响测试结果。因此精密测量可以不考虑工件的材料、颜色和温度的波动。由于采用了激光功率驱动电路 APC, 激光输出量可以自动控制。但激光头必须保持良好接地状态和绝缘性, 这点对整个实验至关重要, 它也是减少噪声的有效途径。

### 4.2 微小孔直径测试

两个微孔直径测量结果见表 2 和表 3, 测量工件为光盘; 微小孔加工方式为钻孔后铰孔; 微小孔计数脉冲为  $N$ , 平均值

$$N = \frac{1}{n} \sum N_i$$

极差

$$P_{\max} = N_{\max} - N_{\min}$$

均方根值

$$\alpha_n = [\sum (N_i - N) / n]^{1/2} \quad \alpha_l = [\sum (L_i - L) / n]^{1/2}$$

表 2 微小孔 1 直径的测量值

| 次数                        | 1        | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|---------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $N$                       | 2 566    | 2 566 | 2 569 | 2 566 | 2 567 | 2 567 | 2 566 | 2 567 | 2 566 |
| $\bar{N}$                 | 2 566.67 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| $L/\mu\text{m}$           | 2 005.21 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| $\alpha_{n1}$             | 0.942 8  |       |       |       |       |       |       |       |       |
| $\alpha_{L1}/\mu\text{m}$ | 0.736 5  |       |       |       |       |       |       |       |       |
| $P_{\max}$                | 3        |       |       |       |       |       |       |       |       |

表 3 微小孔 2 直径的测量值

| 次数                        | 1        | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|---------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $N$                       | 1 286    | 1 284 | 1 284 | 1 286 | 1 284 | 1 285 | 1 283 | 1 284 | 1 284 |
| $\bar{N}$                 | 1 284.44 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| $L/\mu\text{m}$           | 1 003.47 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| $\alpha_{n1}$             | 0.955 8  |       |       |       |       |       |       |       |       |
| $\alpha_{L1}/\mu\text{m}$ | 0.746 7  |       |       |       |       |       |       |       |       |
| $P_{\max}$                | 3        |       |       |       |       |       |       |       |       |

本实验系统中, 步进电机的步距角  $\varphi$  为  $0.75^\circ$ , 传动比  $i=1/4$ , 丝杆的螺距  $P=1.5\text{ mm}$ , 电机转速  $n_1 = \varphi/360^\circ \cdot t$ ; 脉冲当量  $S = i \cdot h \cdot t \cdot n_1 = 0.78\ \mu\text{m}$ , 微孔的直径  $L$  可以由下面简单的计算获得

$$L = N \times S = N_{xi} \cdot h \cdot t \cdot n_i$$

直径  $L$  中的累积误差

$$dL = (dN^2 + d\varphi^2 + de^2)^{1/2}$$

式中  $dN$  为计数脉冲误差的均方根值;  $de$  为工件表面和微孔的边缘误差;  $d\varphi$  为和步距角以及直径测量相关的误差  $d\varphi = (d/P) \cdot Pe$ ;  $d$  为测量直径;  $Pe$  为丝杆螺距误差。实验表明测量分辨率达到  $1\ \mu\text{m}$ , 理论上, 如果减小步距角和激光聚焦光束的直径, 采用精度更高的二维工作台, 分辨率可以达到  $0.1\ \mu\text{m}$ 。

## 5 结 论

- 1) 这种数学方法简单实用, 它可用于微小孔的直径测量;
- 2) 该实验装置系统中, 测量的分辨率达到  $1\ \mu\text{m}$ , 理论上, 将来开发的完备系统的分辨率能达到更高;
- 3) 不同材料的工件反射的光线不同, 与之对应的电压将产生波动, 不会对测试结果产生影响, 因此可以测量金属, 塑料, 玻璃等材料的工件;

- 4) 激光测量头有较高的响应速度;
- 5) 非接触测量不会对工件和激光头产生任何损坏, 延长了使用寿命便于维护;
- 6) 这种测量原理和分辨率不仅可用来测量直径, 还可用于测量工件表面的粗糙度, 轴的不圆度和具有与背景有足够反差的平面图形。

### 参 考 文 献

1 Bricot C, Leheureau J C, Puech C. Optical readout of videodisc. IEEE Trans on CES, 1976, 11:304~308  
 2 Townsend Michael. Air bearings provide stable speed and precise positioning. Laser Focus World, 1994, 2: 16~18

## Micro-hole Diameter Measurement Method

Xu Limei     Zhang Jiayu

(Dept. of Electro-mechanical Eng., UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** A method measuring micro-hole diameter is presented in this paper. To perform measurement, a measuring system is developed, which consists of laser sensor head, 2D-table, driven by step motors, driven and control circuits based on single chip microcomputer etc. The laser sensor head focus the beam on the measured piece. The reflected light is passed through the optical components before reaching four phase photodiode. The photodiode converts the light into current. The current is different between micro-hole and surface on the piece, and would be processed and controlled through interface and single chip microcomputer. The experiment showed the reliability to obtain the accurate diameter of micro-hole.

**Key words** micro-hole; laser sensor head; four phase photodiode; astigmatic

编辑 叶 红

.....  
·科研成果介绍·

### 异种数据库互操作支撑件 IST

主研人员 熊 萍 刘锦德 唐雪飞 徐 波 谭 浩 李国华 谢 娟

该成果主要内容为:

- 1) 将交易技术引入数据库互操作中, 通过交易器和交易活动实现了集中式的全局目录管理和服务管理, 提供了完全的数据库位置透明性和迁移透明性。
- 2) 提供了后端信关的思想, 通过后端信关机制提供数据库类型透明性, 提供了后端信关的自动生成工具, 为用户今后接入其他关系数据库创造了条件, 使 IST 环境在后端具有良好的开放性。
- 3) 网络会话管理基于远程数据库访问模型 RDA, 数据库访问不经过交易性, 避免了通信瓶颈, 缩短了响应时间。
- 4) 为应用开发提供了统一的客户方编程接口库, 使 IST 环境在前端具有良好的开放性。
- 5) 提供客户方与服务方的安全隔离。

该成果及其在实现中所采用的技术在国内处于领先地位, 其主要性能达到或超过国外同类中间件产品的先进水平。

·科 卜·