

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 1-0170-04

# 绿激光精密修调在薄膜压力传感器中的应用

陈泽民<sup>1</sup> 王 中<sup>1,2</sup> 吕 锋<sup>2</sup> 闵大勇<sup>1,2</sup> 卢飞星<sup>\*2</sup>

(<sup>1</sup> 华中科技大学, 湖北 武汉 430223; <sup>2</sup> 武汉华工激光工程有限责任公司, 湖北 武汉 430223)

**摘要** 介绍了绿激光显微精密修调机,分析了其系统组成结构。系统主要由激光器系统、激光聚焦及定位光学系统、精密数控系统及自动化测试系统组成。描述了绿激光修调在薄膜压力传感器中的应用,同时分析了绿激光修调薄膜压力传感器的主要工艺,工艺的关键点是对激光束光斑的大小以及激光能量的实时控制。通过高性能的激光器、聚焦系统、监视系统、精确的运动控制系统成功的将调阻技术应用到了薄膜压力传感器生产中,使传感器的零点控制误差控制 $\pm 80 \mu\text{V}$ 以内,相应地保证了零点温漂小于 $0.02\% \text{ } ^\circ\text{C}$ ,且基本呈线性,实现了传感器的非补偿性。

**关键词** 激光修调; 绿激光; 薄膜调阻; 压力传感器

中图分类号 TN249 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200936s1.0170

## Precision Green Laser Trimming in Application of Film Pressure Sensor

Chen Zeming<sup>1</sup> Wang Zhong<sup>1,2</sup> Lu Feng<sup>2</sup> Min Dayong<sup>1,2</sup> Lu Feixing<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> University of Huazhong Science & Technology, Wuhan, Hubei 430223, China)  
(<sup>2</sup> Wuhan Huagong Laser Engineering Co. Ltd., Wuhan, Hubei 430223, China)

**Abstract** Precision green laser trimming system was Introduced. The system composition structure was analyzed. The system includes laser system, laser focus and optical localization system, precise numerical control system and automation test system. The application of green laser trimming in diaphragm pressure sensor was described. The main craft of green laser trimming which is used in the film pressure sensor was analyzed, the key craft is the laser energy real-time control and laser beam size. Through the high performance laser, focus, supervisory and precise motion control system, trimming technology was successfully applied in the film pressure sensor production. Sensor's zero point error has been controlled between  $-80 \sim +80 \mu\text{V}$ , and zero temperature drift is smaller than  $0.02\% \text{ } ^\circ\text{C}$ , the non-compensatory of sensor was achieved.

**Key words** laser trimming; green laser; film resistance trimming; pressure sensor

## 1 引 言

激光调阻是当前最精密的电阻阻值修调方法,其基本原理是将适当功率密度的激光束聚焦在电阻膜上,电阻材料因受高温,在瞬间即被气化,随着激光束的刻蚀,电阻膜受切割,电阻体的导电截面积减小,阻值上升<sup>[1]</sup>。为了提高电路的精度,必须进行阻值调整。由于电阻膜丝网印刷操作固有的不准确性,基板表面的不均匀及烧结条件的不重复性,膜电阻常出现正负误差,如果阻值超过标称值将无法修正,但是一般情况下印刷烧成后阻值低于目标值的大约 30%,所以可以通过激光调整达到目标值。近

十年来,激光修调在厚薄膜电路研制中已得到很好的应用,使不少指标高、难度大的产品得以顺利完成。薄膜压力传感器对电阻值要求非常精确,只有利用激光修调才能够满足其要求。

## 2 绿激光精密修调系统

绿激光精密修调系统是集光学、精密机械、计算机控制、精密测量等多种技术于一体的高技术成套设备,其最关键技术指标之一是修调精度。而修调精度直接与光学系统的激光光束质量、峰值功率和功率密度,自动化测试工装的电桥检测精度,激光束

**基金项目:** 国家科技支撑计划(2007BAQ00120)资助课题。

**作者简介:** 陈泽民(1965—),男,工程师,主要从事激光技术应用方面的研究。E-mail: zmchen@hust.edu.cn

\* 通信联系人。E-mail: lufeixing@hglaser.com

定位控制系统的定位精度和修调工艺参数有关。系统主要由以下几部分组成：

### 2.1 激光器系统

激光器系统采用半导体端面抽运的 Nd:YAG 电光调 Q 腔内倍频绿光激光器,其输出波长为 523 nm,平均功率大于 1 W,光束直径为 1 mm,光束质量  $M^2$  小于 1.1,脉冲重复频率范围为 1~1 kHz,脉冲宽度最小为 1.5 ns。当激光器脉宽为 1.5 ns 时,输出光的单脉冲能量为 0.7 mJ,峰值功率为 450 kW。该激光器输出功率稳定、光束质量好、峰值功率高。

### 2.2 激光聚焦及定位光学系统

用 40×长工作距平场显微物镜对激光器系统输出的绿光进行聚焦,焦点处(光斑最小处)其光斑尺寸小于 10 μm,峰值功率密度为  $5.7 \times 10^9 \text{ W/mm}^2$ ,足以完成对厚薄膜电路膜层材料的切割或气化,从而完成激光修调工作<sup>[3]</sup>。

为达到必要的成像清晰度和成像对比度,对成像物镜和工件的照明都有较高的要求。本系统采用同轴照明的方式。另外,考虑到精细修调必需的精密定位对准,系统采用高倍双目显微镜同轴对准。

光路系统结构如图 1 所示。

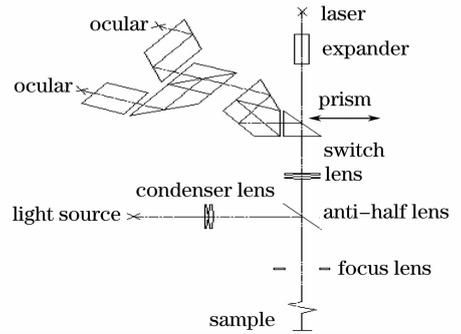


图 1 光学系统结构原理图

Fig. 1 Schematic diagram of optical system construction

### 2.3 精密数控系统

系统采用滚珠螺杆、方导轨十字工作台,配以精密减速器,可使工作台运行平稳,定位精度高。在工作台与夹具之间增加一个精密旋转工作台,可编程数控;也可手动控制,以方便精密调整工件的角度。运动控制卡,可控制二轴或三轴。系统使用 MPC02 型运动控制卡来进行工作台的运动控制,同时,根据实际修调需要可选择步进电机及其驱动器或伺服电机及其驱动器。控制系统结构框图如图 2 所示。

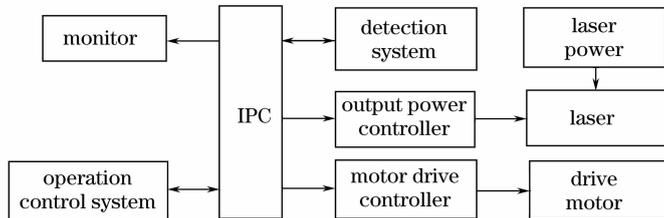


图 2 控制系统结构框图

Fig. 2 Construction diagram of control system

### 2.4 自动化测试工装(ATE)

为满足薄膜压力传感器电路更高精度的需要,系统的测量精度需要达到 6 1/2 位,本系统采用数字电桥来实现测量,电桥通过 USB 与工控计算机相连,这样可以同时满足速度与精度的要求,软件上接口也非常方便,通用性强。其中测量单元采用具有 6 1/2 精度的高速数字万用表,通过 USB 接口与工

控机连接传递数据,与工件之间采用刀式探针及调节机构连接<sup>[5]</sup>。

系统软件采用模块化设计,使用面向对象的高级语言 VC++ 6.0 编写,主要包括上位人机界面、运动控制和实时数据采集等几部分,涉及到多线程、伺服控制、通用并行接口(GPIB)通讯等方面,软件的结构如图 3 所示<sup>[6]</sup>。

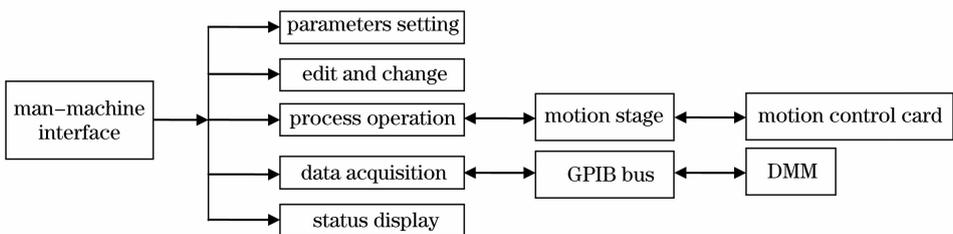


图 3 控制软件结构图

Fig. 3 Construction diagram of control software system

### 3 绿激光精密修调在薄膜压力传感器中的应用

#### 3.1 薄膜压力传感器的生产工艺要求

离子束镀膜技术、特殊的稳定性处理工艺、合适的弹性材料和电阻材料、高精度加工工件、一体化结构等为薄膜压力传感器性能达 0.2 级提供了基础,但要保证在  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  下压力传感器零点漂移小于  $0.02\% / ^{\circ}\text{C}$ , 还需要激光调阻。由于在  $-200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  下,很少线性与温度系数都与膜材料基本接近的补偿电阻材料,外串的补偿电阻材料与膜电阻材料不匹配将引起温度误差,这个误差与原膜电阻的温

度误差相叠加将导致大部分传感器的零点温漂超出 0.2 级,这样有需要外串电阻进行补偿。而温补材料不能保证  $-200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  的温度范围内有一致的温度系数,将影响传感器温度误差在整个温区内的线性。这样,零补电阻与温补电阻材料对零点输出和温度误差的相互影响增加了调试的工艺复杂性,同时外串电阻亦为传感器的稳定性带来隐患。为同时保证传感器的常温零点和零点温漂在误差范围内,工艺上必须对薄膜电阻进行修正,而激光精密调阻是一种最好的选择,如图 4 所示。

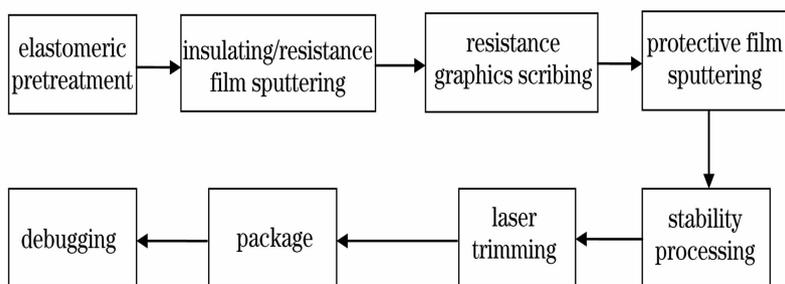


图 4 薄膜电阻压力传感器工艺流程

Fig. 4 Film resistor pressure transmitter technical process

#### 3.2 高精度绿激光修调在薄膜压力传感器中的调阻工艺

通过对薄膜压力传感器进行调阻试验发现,当激光聚焦能量不均匀或峰值功率不高时[如图 5(a)所示],调修线条花状,很难控制调修电阻的阻值;当

聚焦能量过大时[如图 5(b)所示],金属层下面的绝缘层被烧蚀掉,整个薄膜压力传感器被破坏;当控制系统精度不高时[如图 5(c)所示],很难精确定位,无法保证调修后电阻的精度;只有选用峰值功率为  $450\text{ kW}$ ,光束质量  $M^2$  小于 1.1 的激光器;经过

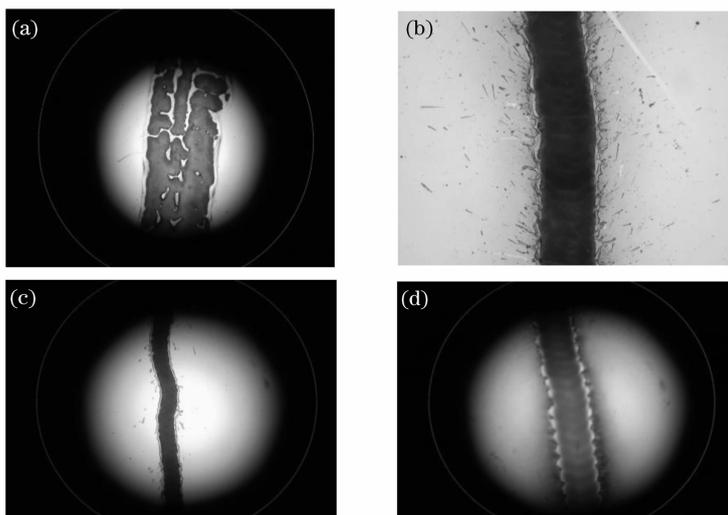


图 5 不同实验条件下的调修结果。(a)激光能量不均匀或峰值功率小(调修不合格);(b)激光能量过大时(调修不合格);(c)控制精度不高时(调修不合格);(d)最佳条件时(调修合格)

Fig. 5 Trimming results under different conditions. (a) with laser energy that is not uniform or peak power that is small (unqualified); (b) with laser energy that is too high (unqualified); (c) with low control accuracy (unqualified); (d) with optimum condition (qualified)

反复试验精确控制激光能量,控制系统的定位达到 $\pm 0.005\text{ mm}$ ,才能保证调修精度[如图 5(d)所示],做出合格的产品。

## 4 结 论

激光调阻就是通过激光对膜电阻的长度或宽度进行修正来改变膜电阻阻值。该工艺的关键点是对激光束光斑的大小及激光能量的控制,既要保证去掉多余合金的同时,不破坏合金下面的绝缘层,又要保证修调精度并进行实时监控。通过精心设计的激光器、聚焦系统、监视系统、运动控制系统成功地将调阻技术应用到了薄膜压力传感器生产中,使传感器的零点控制误差控制在 $\pm 80\ \mu\text{V}$ 以内,相应地保证了零点温漂小于 $0.02\% \text{ }^\circ\text{C}$ ,基本呈线性,实现了传感器的非补偿性。

绿激光精密修调系统于 2007 年 12 月经湖北省电子信息产品质量监督检验院(站)测试,该机型完全达到预期技术指标要求;经过客户比较,生产效率比国外的同类设备提高近 50%。系统解决了绿激光精密修调机的关键技术。

## 参 考 文 献

1 Song Yunduo, Tian Xingzhi, Liu Xuan. Design for optical system of laser resistor trimming machine [J]. *Control &*

*Automation*, 2005, **21**(12-1): 44~46

宋云夺, 田兴志, 刘 轩等. 激光调阻机光学系统设计[J]. 微计算机信息, 2005, **21**(12-1): 44~46

2 Wang Ben, Shen Shuqun. *Laser Scan and Compact Disc Technology* [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 1990

王 本, 沈树群. 激光扫描和光盘技术[M]. 北京: 北京邮电出版社, 1990

3 Lan Xinju. *Laser Technique*[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1995

蓝信钜. 激光技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 1995

4 Ji Xiuyuan, Zhang Baofeng, Xu Xiaoming. Research on cutting and carving machine of high speed[J]. *J. Tianjin University of Technology*, 2007, **23**(3): 64~67

季秀远, 张宝峰, 徐晓明. 高速激光雕刻切割机的研究[J]. 天津理工大学学报, 2007, **23**(3): 64~67

5 Du Gang, Jiang Jingjie, Xu Hongjun. The design of the new-style numerical thermal-detector [J]. *Control & Automation*, 2005, **21**(5): 169~170

杜 刚, 姜景捷, 徐宏君. 新一代数字化热导仪的设计[J]. 微计算机信息, 2005, **21**(5): 169~170

6 Li Jifan, Luo Yuanyu. *Precise Electrical Measurement* [M]. Beijing: China Metrology Publishing House, 1984

李继凡, 罗远瑜. 精密电气测量[M]. 北京: 中国计量出版社, 1984

7 Zhang Weiping. *Modern Electronic Circuit Principle and Design* [M]. Beijing: Atomic Energy Publishing House, 1999

张卫平. 现代电子电路原理与设计[M]. 北京: 原子能出版社, 1999

8 K H Gerlach, J Jersch, K Dichmann *et al.*. Design and performance of an excimer laser based optical system for high precision micro-structuring [J]. *Optics & Laser Technology*, 1997, **29**(8): 439