

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0223-04

激光微细熔覆快速制造厚膜热敏传感器的研究

戴智刚, 王少飞, 李祥友, 曾晓雁*

(华中科技大学光电子科学与工程学院, 武汉光电国家实验室(筹)激光部, 湖北 武汉 430074)

摘要 采用激光微细熔覆技术, 利用钨系厚膜热敏电阻浆料, 在质量分数为 96% 的 Al_2O_3 陶瓷基板上成功地制作出热敏电阻器。热敏电阻图形的极限线宽线距能达到 $60\ \mu\text{m}$ 。元件的电阻温度特性(TCR)值为 $2.33 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$, 热响应时间 2.3 s, 线性度达到 0.6 $^\circ\text{C}$, 有着良好的重复性、热稳定性和迟滞性。通过实验得出了激光处理工艺中参数对元件性能的影响规律。对所制作热敏电阻元件的各项电性能进行测量, 并与传统工艺制作的元件进行了比较, 测试结果证实新工艺制作的元件具有相对优良的特性, 有较强的实用前景。

关键词 激光技术; 厚膜电路; 激光微细熔覆; 热敏传感器; 陶瓷基板

中图分类号 TG665 文献标识码 A

Direct Fabrication of Thick Film Thermo Sensor by Laser Micro-Cladding

DAI Zhi-gang, WANG Shao-fei, LI Xiang-you, ZENG Xiao-yan

(Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, College of Optoelectronics Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract Thick film thermosensor is firstly fabricated on 96% Al_2O_3 ceramic substrate successfully by laser micro-cladding thick film paste. The sensors have excellent definition and narrow width (minimum $60\ \mu\text{m}$) with TCR $2.33 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$, time answering time 2.3 s and linearity tolerance $<1\ ^\circ\text{C}$. The processing parameters that affects the fabricated sensor performance are studied. The performances about the sensors fabricated by the laser micro-cladding technique are characterized. The experimental results demonstrate that the thermosensors fabricated by laser micro-cladding have excellent performances, which are a little better than those fabricated by the traditional silk screen printing methods.

Key words laser technique; thick film circuit; laser micro-cladding; thermosensor; ceramic substrate

1 引 言

铂热电阻由于测温范围、测温精度等多方面的优良特性, 在工业上得到了广泛的应用, 是一种国际公认的成熟产品^[1]。传统铂热电阻的制作方法是采用高纯度铂丝卷绕工艺, 它有一个很明显的缺点, 就是使用的铂金属太多, 成本太高。而采用厚膜工艺制作的热敏电阻具有体积小、热响应快、抗振动性好、节省贵金属、工艺自动化程度高、容易规模化生产等优点。同时, 与薄膜电阻传感器相比, 厚膜电阻又具有自热效应小、长期工作稳定性好等优点。厚

膜铂电阻工艺的研究开始于 20 世纪 70 年代, 1985 年英国马太印刷制品公司 (Matthey Printed producted Limited, PPM 公司) 推出外形尺寸长度为 25.4 mm, 宽度为 3.2 mm, 厚度为 0.8 mm 的第二代厚膜铂电阻。1992 年重庆仪表材料研究所取得关键技术的突破, 研制出电阻温度特性(TCR)复现性极好、工艺稳定的铂电阻厚膜温度传感器, 为规模生产奠定了基础。这些厚膜铂电阻温度传感器采用铂电阻浆料和传统丝网印刷工艺制作, 以铂膜替代纯铂丝, 以丝网印刷工艺替代丝烧工艺, 以玻璃浆料包封

基金项目: 国家高技术发展研究计划“863”(2005AA311030)和国家自然科学基金(50575086)资助课题。

作者简介: 戴智刚(1972—), 男, 硕士研究生, 主要从事激光微制造微电子器件方面的研究。

导师简介: 曾晓雁(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事激光先进制造技术与设备方面的研究。

* 通信联系人。E-mail: xyzeng@mail.hust.edu.cn

替代绝缘物封装,以激光调阻替代手工调阻^[2]。

本文提出采用激光微细熔覆直写技术制作厚膜热敏电阻,由于铂价格昂贵,故采用价格相对较低的钨系厚膜热敏电阻浆料进行实验。此技术具有无掩模限制、柔性化程度高、制作周期短、图形分辨率高、质量好等优点。

2 材料与方法

2.1 材料

钨系厚膜热敏浆料成膜性能良好,烧结温度为 850 ℃。其主要成分包括微细功能陶瓷颗粒 CuRuO_3 和 $\text{Pb}_2\text{Ru}_2\text{O}_6$ 以及玻璃黏结剂和有机溶剂。其中功能陶瓷颗粒是采用 CuO , RuO_2 以及 PbO , RuO_2 分别进行混合研磨,在高温下烧成钨酸盐颗粒。玻璃黏结剂以硼硅玻璃为主体,加入少量的改性剂混合均匀,在 1350 ℃ 高温下烧制 30 min,然后水淬、球磨至微米级。有机溶剂包括增稠剂乙基纤维素,溶剂松油醇、丁基卡必醇、丁基卡必醇酸酯、蓖麻油。溶剂用来溶解金属颗粒等其他成分,使其成为黏稠的液体状,增稠剂则增加黏合剂的黏度与可塑性,使之形成容易成膜的浆料状态^[3]。

基板的选用对制作元件的性能也很重要^[4]。综合考虑温度、机械强度、物理化学性能、热膨胀系数匹配、平整度等因素,选择质量分数为 96% 的 Al_2O_3 陶瓷基板作为实验的基材。

2.2 方法

激光熔覆直写工艺采用光纤激光器,波长为 1.07 μm ,最大功率为 50 W,光斑可聚焦的最小直径为 20 μm 。实验工作台是二维坐标控制系统,将激光光束引导到聚焦头发,控制笔聚焦头的移动改变出光位置,达到扫描的目的。聚焦头移动完全由计算机控制。实验采用自行研制开发的激光精密加工系统软件进行操作,它可以将 Protel, CAD 等软件绘制的图形文件直接转化为加工文件进行加工,也可以自行编辑图形文件进行激光扫描^[5],操作简单方便。

实验主要工艺流程为设计→配料→旋涂制膜→低温烘干→激光加工→清洗→测试。

3 结果与分析

3.1 预置膜层厚度对极限线宽的影响

膜层的预置采用甩胶的方式。采用不同黏度的浆料以及不同的甩胶速率,得到厚度 2~10 μm 的

膜层,然后调整激光扫描的速率和功率密度,得到不同线宽的扫描图形。扫描时基板表面位于聚焦透镜的焦点处,以得到直径尽量小的扫描光斑,以期获得微细的图形。

图 1 所示为热敏电阻膜厚与极限线宽的关系示意图。从图 1 可以看出,预置膜层越薄,能得到的图形线宽最小值也就越小。当膜层为 3.5 μm 时,能制作出最小线宽达到 60 μm 的图形。

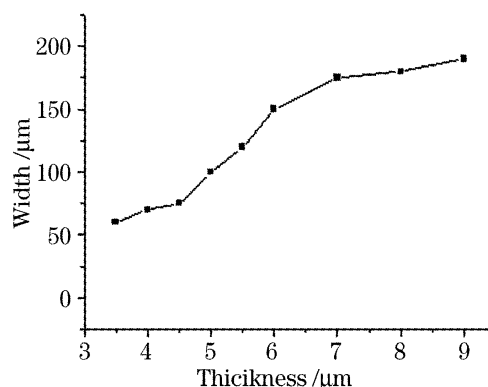


图 1 热敏电阻膜厚与极限线宽的关系示意图

Fig. 1 Effect of thickness on line width

3.2 激光扫描功率对线宽的影响

激光熔覆直写技术利用的是激光对厚膜浆料的热效应,因此扫描激光束的功率对所形成图形的参数有着最直接的影响。根据实验所得参数可以看出,图形线宽随扫描功率的增大而增加。图 2 是在扫描速率为 5 mm/s,膜厚为 5 μm 情况下所制作的图形线宽与激光功率的变化关系。可见,随激光功率密度增加,线宽逐渐增大。

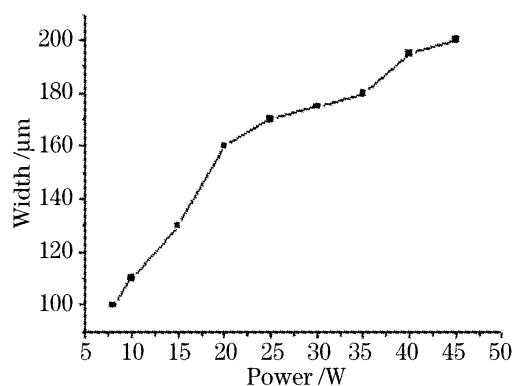


图 2 图形线宽与激光扫描功率的变化关系

Fig. 2 Effect of laser power on line width

3.3 激光扫描速率对线宽的影响

实验中得到激光扫描速率的增大会造成图形线宽的减小。图 3 是在功率 15 W,膜厚 5 μm 的情况下,图形线宽随激光扫描速率的变化关系。

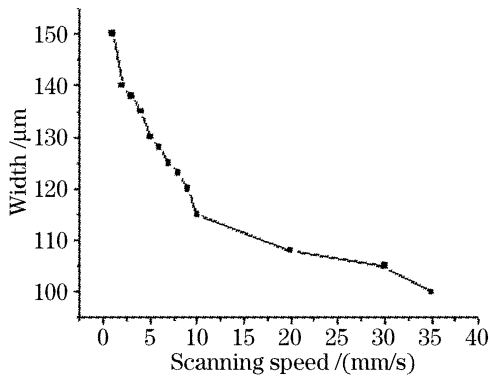


图3 线宽与激光扫描速率的变化关系

Fig. 3 Effect of scanning speed on line width

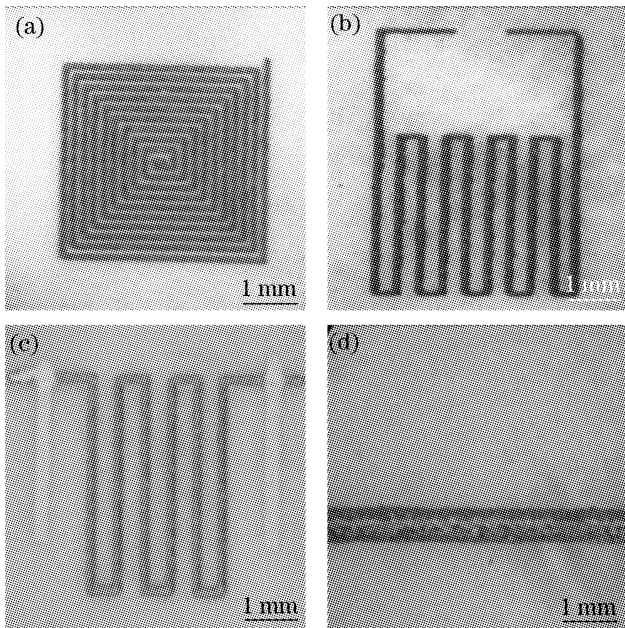


图4 激光微细熔覆制作的各种热敏电阻图形

Fig. 4 Different patterns of thermo sensor resistors fabricated by laser microcladding

3.4 热敏电阻的电性能测量

3.4.1 电阻温度特性

表征热敏电阻器阻值随温度变化的参数为TCR值,这是表达热敏电阻性能的最重要参数。

热敏电阻的电阻温度系数表达式为

$$\text{TCR} = \frac{R_1 - R_2}{\Delta T \times R_1}, \quad (1)$$

R_1 和 R_2 分别表示在温度 T_1 和 T_2 的情况下元件的电阻值, ΔT 表示两测量温度 T_1 和 T_2 之间的差值。采用水浴法测量厚膜热敏电阻器在 $0 \sim 100$ °C 范围内的基本电性能。

制作线宽 $100 \mu\text{m}$ 的元件样品,采用此方法进行阻值测量,得到如图5所示的电阻值随温度的变化曲线。

对图5所测量得到的参数按照(1)式进行计算,

得出所制作的热敏电阻器在 $0 \sim 100$ °C 范围内 TCR 值为 $2.33 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ 左右。

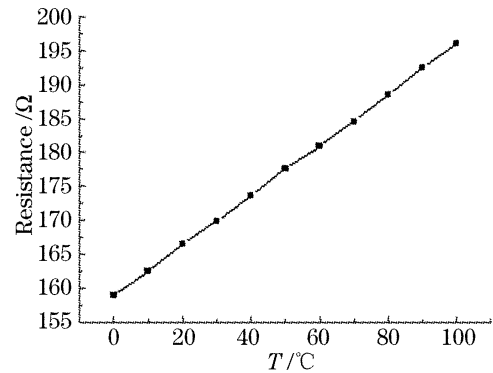


图5 热敏电阻阻值随温度的变化曲线

Fig. 5 Relationship between the resistance of the thermo-sensors and the environmental temperature

3.4.2 热响应时间

热响应时间属于热敏电阻的动态特性参数,表征的是测量值对时间的变化相对于被测量值随时间变化的延迟程度。对热响应时间的标准定义是,将电阻从温度 T_1 快速放入温度 T_2 的环境中,电阻到达温度 $T_1 + 63.2\%(T_2 - T_1)$ 时所需要的时间。采用上述水浴装置,将被测量元件密封好之后放置于冰水混合物中静置一段时间,测量出其在 0 °C 时的阻值 R_1 ,然后将元件置于沸腾的水中测量出在 100 °C 时的阻值 R_2 ,将元件的电阻温度系数看作理想的线性值,计算出在 63.2 °C 时理想线性值对应的阻值大小 R_3 。将放置于冰水混合物中已静置了一段时间的元件迅速放入沸水中,同时采用百分位数的秒表读取当元件电阻值升高到 63.2 °C 对应的阻值 R_3 时所需要经历的时间 T ,此时间即是热敏元件的热响应时间。实验中测得所制作元件的热响应时间为 2.3 s 左右。

3.4.3 线性度

线性度是表征敏感元件测量值随被测量值变化的线性程度。热敏电阻的线性度是指其电阻值随温度变化的线性程度,用所制作元件测量出的温度值与实际温度值之间的差值来表示,差值越小表明元件的线性度越好。将元件看作理论上的完全线性,根据测量出的最高和最低温度下的两电阻值,计算出其在某一温度值下对应的电阻值,然后与实际测量中该阻值对应温度比较,得出两温度值之间的差。依据图5测量的厚膜热敏电阻器试样的电阻温度关系,对其线性度在 $0 \sim 100$ °C 范围进行测量计算,结果列于表1。由表1可以看出,所制作元件的线性度在测量范围内都小于 1 °C。

表 1 元件的线性度测量
Table 1 Linearity measuring

Real temperature /°C	Measure windage /°C
10	0.54
20	0.27
30	0.54
40	0.81
50	0
60	0.54
70	0.81
80	0.27
90	0.27

4 结 论

采用激光微细熔覆直写技术在陶瓷基板上制作出高精度(最小线宽、线距 60 μm)、图形清晰的厚膜热敏电阻器,所制作的钎系厚膜热敏电阻器,其 TCR 值达到 $2.33 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$,热响应时间 2.3 s,线性度小于 1 $^\circ\text{C}$ 。

现有实验室条件已成功采用激光熔覆法制备出热敏电阻器,由于激光微细熔覆技术属于直接制造过程,不需要制作掩模板,制作周期短、灵活性高,所

制造元件体积小,因此该技术在工业和科研领域有望获得广泛的应用。

参 考 文 献

- 1 Zhang Guodong. An exploratory study on a thermistor nonlinearity correction method [J]. *Engineering for Thermal Energy and Power*, 1994, **9**(5): 304~309
张国栋. 热敏电阻非线性修正方法的探讨 [J]. *热能动力工程*, 1994, **9**(5): 304~309
- 2 Peng Yutian, Yang Jigui, Du Ping. Research on thick film platinum resistor temperature sensors [J]. *Electronic Components and Materials*, 1996, **15**(4): 36~39
彭雨田,杨机贵,杜平. 厚膜铂电阻温度传感器研究 [J]. *电子元件与材料*, 1996, **15**(4): 36~39
- 3 Yang Wen. A thick film paste for PTC thermistors [J]. *Electronic Components and Materials*, 2002, **12**: 5~6
杨雯. PTC厚膜热敏电阻浆料 [J]. *电子元件与材料*, 2002, **12**: 5~6
- 4 Li Yaolin. Thick Film Electronic Component [M]. First Edition, Guangzhou: Huanan University of Science and Technology Press, 1991. 1~4, 30~34, 49~50
李耀霖. 厚膜电子元件 [M]. 第一版, 广州: 华南理工大学出版社, 1991. 1~4, 30~34, 49~50
- 5 Li Xiangyou, Li Yaobing, Liu Dongsheng *et al.*. Study of laser micro-cladding system to circuit boards fabrication [J]. *Applied Laser*, 2004, **24**(5): 258~260
李祥友,李耀兵,刘冬生等. 激光微熔覆柔性布线系统研究及应用 [J]. *应用激光*, 2004, **24**(5): 258~260