

文章编号: 0258-7025(2007)11-1567-04

激光微细熔覆快速制造微加热器阵列

王少飞, 曹 宇, 王小宝, 李祥友, 曾晓雁

(华中科技大学 武汉光电国家实验室(筹)激光部, 湖北 武汉 430074)

摘要 采用激光微细熔覆法制备了 2×2 和 1×4 微加热器阵列, 研究了激光扫描功率和速率对微加热器图形线宽的影响。结果表明, 线宽随激光功率增大而增大; 随扫描速率增大而减小。并对 2×2 微加热器阵列进行了性能测试。研究了加热时间、电压和空间位置对温度的影响规律。结果表明, 微加热器温度随加热时间的延长而升高并最终达到稳定值; 随电压的增加而升高; 加热区域离微加热器越远, 温度越低。对恒定电压下的升温速率进行了计算和测定, 第一分钟内加热速度可达 $0.45 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 。最后, 给出了所制作的微加热器及其阵列的示例。

关键词 激光技术; 激光微细熔覆; 微加热器阵列; 温度

中图分类号 TN 249; TG 665 **文献标识码** A

Microheater Array Fabrication by Laser Micro-Cladding Method

WANG Shao-fei, CAO Yu, WANG Xiao-bao, LI Xiang-you, ZENG Xiao-yan

(National Laboratory for Optoelectronics,

Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract The 2×2 and 1×4 microheater arrays have been fabricated by laser micro-cladding. The effect of laser power and scanning speed on the line width have been studied. The results demonstrate that the line width increases with the increase of laser power, and decreases with the increase of laser scanning speed. The performances of the 2×2 microheater array were tested. The effect of heating time, voltage and position on the temperature were studied. The results demonstrate that the temperature of the microheater increases with the increase of heating time and becomes unchangeable in the end. The temperature of the microheater increases with the increase of voltage. The temperature the heated area decreases with the increase of the distance to the microheater. And the calefactive speed was calculated when the voltage was stable, and it is up to $0.45 \text{ }^\circ\text{C/s}$. Lastly, some examples for microheaters array were demonstrated.

Key words laser technique; laser micro-cladding; microheater array; temperature

1 引 言

微加热器是一种能够发热的微型功能元件。与普通加热器电热炉等相比, 它具有尺寸小、精度高、功耗低、升温快等优点, 可以广泛应用在需要温度控制的诸多领域。目前主要采用微电子工艺中的薄膜技术等方法制作微加热器及其阵列。1986 年 Takahashi 等^[1]采用溅射法制作了金属 Pt 膜加热器, 得到膜厚 $1 \text{ }\mu\text{m}$ 的 Pt 微加热器, 其加热温度可达 $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 。1993 年, 美国 Case Western 大学 Wu

Qinghai 等^[2]采用硼扩散的方法制作了扩散电阻加热器。2004 年, Haesik Yang 等^[3]利用刻蚀、低压化学气相沉积(LPCVD)和溅射等工艺制作了一种微加热器阵列, 并在相邻加热器间制作了真空热隔离腔。当微加热器使一个电极温度升高 $75 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 相邻 $200 \text{ }\mu\text{m}$ 电极的温度仅升高 $2 \text{ }^\circ\text{C}$, 具有良好热隔离效果。2004 年 闰卫平等^[4]利用溅射、低压化学气相沉积、光刻和腐蚀等工艺制作了一种用于基因扩增(PCR)生物芯片的微加热器。

收稿日期: 2006-11-30; 收到修改稿日期: 2007-01-19

基金项目: 国家 863 计划(2005AA311030)和国家自然科学基金(50575086)资助项目。

作者简介: 王少飞(1982—), 男, 硕士研究生, 研究方向为激光微制造微电子器件。E-mail: volcanohust@gmail.com

导师简介: 曾晓雁(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为激光先进制造技术与设备。

E-mail: xyzeng@mail.hust.edu.cn(通信作者)

由于微电子、薄膜技术等方法工艺流程多、成本高、需掩膜、周期长。本文提出采用激光微细熔覆方法^[5~9]制备微加热器阵列。与现有技术相比,本方法具有工艺简单、无需掩膜、成本低、速度快、易于将微温度传感器和微加热器一体化制作等优点。

2 材料与方法

2.1 材料

选择质量分数为 96% 的氧化铝陶瓷作基板,钎系电热浆料作加热器,无水乙醇或丙酮作清洗剂。电热浆料参数如表 1 所示。

表 1 电热浆料参数

Table 1 Parameters of silver paste

Granularity / μm	<10
Peak temperature / $^{\circ}\text{C}$	850
Temperature time / min	10
Sintering atmosphere	Air
Square resistance / (Ω/cm^2)	0.1

2.2 方法

激光熔覆直写工艺采用的激光器是掺镱光纤激光器。其主要技术参数为:波长 $1.07 \mu\text{m}$,最大功率 50 W,光斑可聚焦的最小直径 $20 \mu\text{m}$ 。实验工作台是二维坐标控制系统,将激光光束引导到笔头发射,控制笔头的移动改变出光位置,达到扫描的目的。笔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^[10],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 激光扫描功率对线宽的影响

激光扫描电热浆料膜层,浆料与稀释剂质量比为 20:1,扫描速率为 1 mm/s ,焦点位置,焦斑直径 $40 \mu\text{m}$,功率为 $11 \sim 35 \text{ W}$,采用直径 3 mm 光阑。激光熔覆技术利用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最直接的影响。采用 Nikon Epiphot300 显微镜观测,得到的线宽与功率密度关系如图 1 所示。

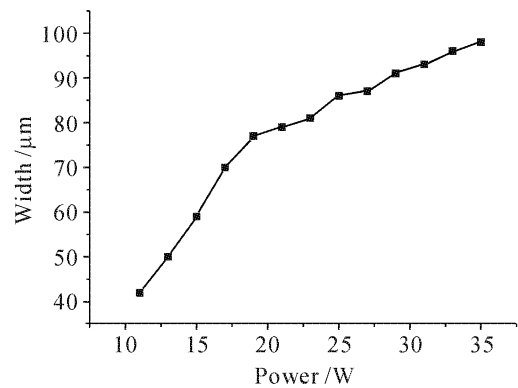


图 1 激光功率对线宽的影响

Fig. 1 Effect of laser power on line width

可见,随激光功率增加,线宽逐渐增大。其原因为激光功率增大,在扫描速率不变的情况下,单位时间里作用在厚膜浆料上的能量越大,热影响区就越大,线宽也逐渐增大。当功率为 11 W 时,有最小线宽 $42 \mu\text{m}$ 。

3.2 激光扫描速率对线宽的影响

实验中得到激光扫描速率与图形线宽的关系如图 2 所示。浆料与稀释剂质量比为 20:1,激光功率为 20 W ,焦点位置,焦斑直径 $40 \mu\text{m}$,扫描速率为 $0.1 \sim 15 \text{ mm/s}$,采用直径 3 mm 光阑。

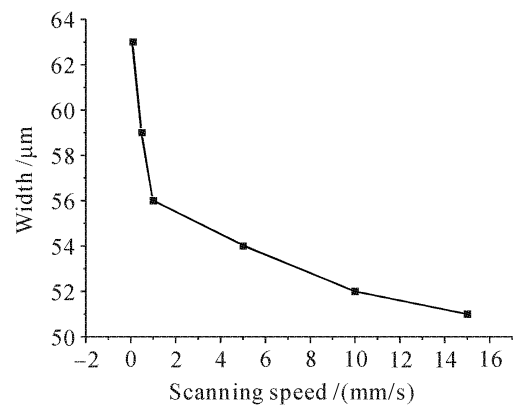


图 2 激光扫描速率对线宽的影响

Fig. 2 Effect of scanning speed on line width

可以看出在激光扫描速率为 $0.1 \sim 15 \text{ mm/s}$ 的范围内,元件线宽随激光扫描速率增加而减小

$$Q = PT \quad (1)$$

$$T = L/V \quad (2)$$

式中 Q 为作用在浆料上的能量, P 为激光功率, T 为时间, L 为激光扫描距离, V 为激光扫描速率。

在激光扫描功率 P 不变的情况下,随着激光扫描速率的增大,激光作用在长度为 L 的浆料上的时间 T 就会减小,导致激光作用在 L 长度浆料上的能量减小,热影响减小,最终导致线宽减小。

3.3 通电时间及空间位置对温度的影响

2×2 微加热器和温度传感器阵列 TC-1 如图 3 所示。按照顺时针顺序将微加热器命名为微加热器 A, B, C, D, 将温度传感器命名为温度传感器 A, B, C, D。微加热器和温度传感器由导线引出并和外围设备相连。此系统将温度量转化为数字量输出。通过调节加在微加热器上的电压值进而调节发热功率, 最终调节基板区域温度。

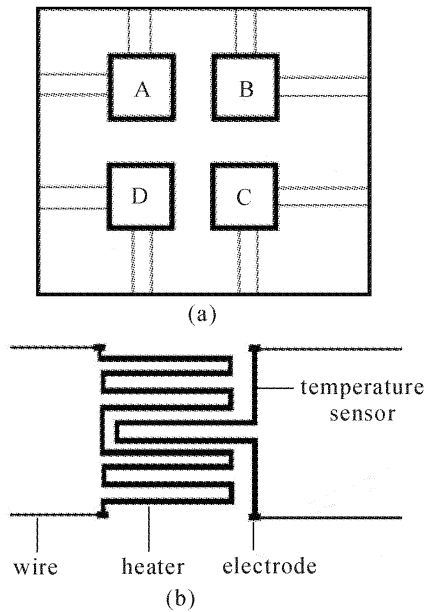


图 3 微加热器和温度传感器阵列示意图

Fig. 3 Sketch map of microheaters and temperature sensors array

图 3(a) 为 2×2 微加热器和温度传感器阵列示意图; 图 3(b) 为单个微加热器和温度传感器示意图。微加热器 A, B, C, D 尺寸均为 $6 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$, 相互间距为 4 mm 。

进行微加热器通电时间和在温度场中的位置对温度影响的实验。对温度控制器 A 中的微加热器通以 21.5 V 的直流电压, 由 A, B, C 中的温度传感器测得 A, B, C 区域的温度与通电时间的关系, 如图 4 所示。由图 4 可见, A, B, C 区域的温度均随加热时间的增加而升高, 加热 5 min 后温度达到稳定值。在空间布局中 B, C 处于微加热器 A 温度场的不同位置, 与 A 相比 B 区域更加远离温度场的中心。体现在温度值上, 有 $T_A > T_B > T_C$ 。

3.4 电压对温度的影响

2×2 微加热器和温度传感器阵列 TC-1, 通过调节加在微加热器 A 两端的电压, 得到区域 A 温度与电压关系曲线, 如图 5 所示。

由图 5 可见, 区域 A 温度随电压的增加而升

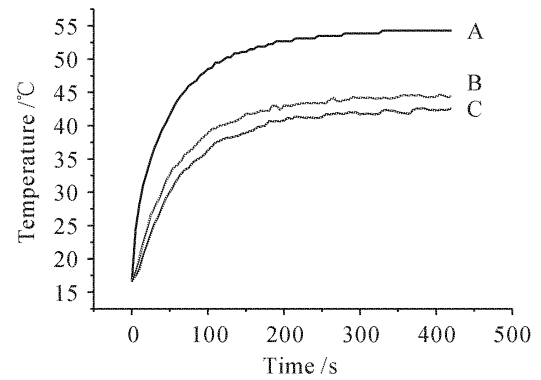


图 4 加热时间对 A, B, C 区域温度的影响

Fig. 4 Effect of heating time on temperature in A, B, C area

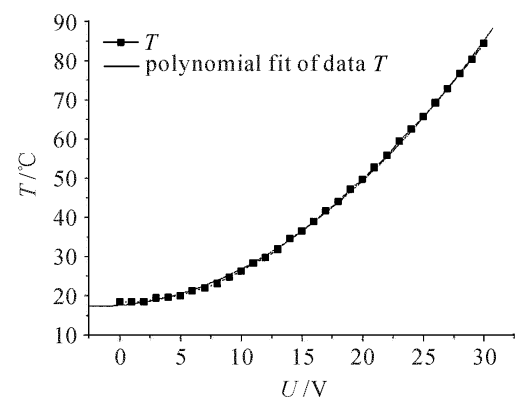


图 5 区域 A 温度与电压关系曲线

Fig. 5 Effect of voltage on temperature in A area

高。升温曲线近似为二次曲线, 拟合得到

$$T = 17.51815 + 0.27098V + 0.06603V^2,$$

可见温度与电压成二次曲线关系。通过调节电压, 即可得到所需的温度。

3.5 升温速率

根据图 4 计算 A 区域平均升温速率为 $0.10 \text{ } ^\circ\text{C/s}$, 在升温的第一分钟内, 升温速率为 $0.45 \text{ } ^\circ\text{C/s}$ 。

3.6 微加热器及其阵列示例

图 6, 7 为激光微细熔覆制造的微加热器和 1×4

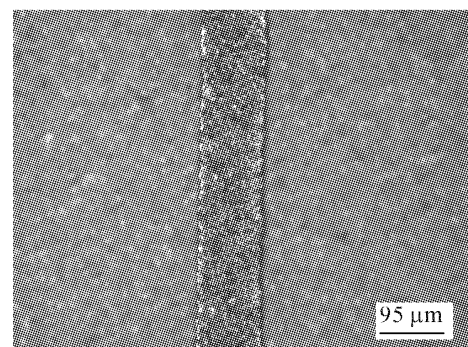


图 6 激光微细熔覆制造的微加热器

Fig. 6 Microheater made by laser micro-cladding

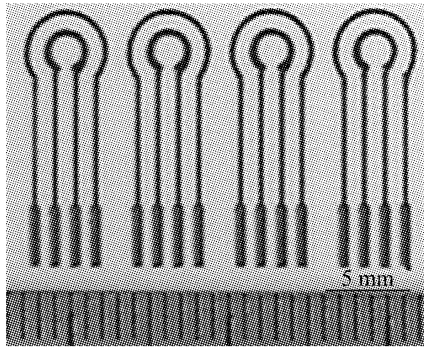


图 7 激光微细熔覆制造的 1×4 微加热器阵列

Fig.7 1×4 microheater array made by laser micro-cladding

微加热器阵列。

4 结 论

提出了激光微细熔覆制作微加热器及其阵列的新方法。研究了激光工艺参数对微加热器线宽的影响。对所制作的微加热器及其阵列进行了性能测试。测试表明,此微加热器及其阵列有望应用在微米或毫米尺寸的温度控制中,如在生命科学领域中对细胞、线虫等进行温度控制。

参 考 文 献

- 1 Hideaki Takahashi, Haruyoshi Kondo, Takashi Takeuchi *et al.*. Thin film oxygen sensor with microheater [P]. US Patent, 1986. 4574264
- 2 Qinghai Wu, Kwang-Man Lee, Chung-Chiun Liu. Development of chemical sensors using microfabrication and micromachining techniques [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 1993, **13** (1-3):1~6

- 3 Haesik Yang, Chang Auck Choi, Kwang Hyo Chung *et al.*. An independent, temperature-controllable microelectrode array [J]. *Anal. Chem.*, 2004, **76**(5):1537~1543
- 4 Yan Weiping, Zhu Jianbo, Ma Lingzhi *et al.*. Research of metal membrane heater [J]. *Chinese J. Sensors and Actuators*, 2004, **17**(4):615~618
闫卫平,朱剑波,马灵芝等.金属薄膜加热器的研究[J].*传感技术学报*, 2004, **17**(4):615~618
- 5 Li Yanling, Zeng Xiaoyan, Li Xiangyou. Direct fabrication of resistor on glass board by laser micro-fine cladding [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(2):281~286
李慧玲,曾晓雁,李祥友.玻璃基板上激光微细熔覆直写电阻技术的研究[J].*中国激光*, 2005, **32**(2):281~286
- 6 Li Xiangyou, Qi Xiaojin, Zeng Xiaoyan. Study of conductor fabrication by laser micro-cladding electronic pastes on glass substrate [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(5):713~716
李祥友,祁小敬,曾晓雁.玻璃基板激光微细熔覆柔性布线技术研究[J].*中国激光*, 2005, **32**(5):713~716
- 7 Li Yanling, Zeng Xiaoyan, Li Xiangyou *et al.*. Research on structure property of thick-film conductive lines fabricated by laser micro-fine cladding and flexibly direct writing [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(7):1001~1005
李慧玲,曾晓雁,李祥友等.激光微细熔覆柔性直写厚膜导带组织性能的研究[J].*中国激光*, 2005, **32**(7):1001~1005
- 8 Li Yanling, Zeng Xiaoyan. Effect of overlapped spaces on structure property of thick-film resistors flexibly and directly fabricated by laser micro-cladding [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(11):1554~1560
李慧玲,曾晓雁.搭接量对激光微细熔覆柔性直写厚膜电阻组织性能的影响[J].*中国激光*, 2005, **32**(11):1554~1560
- 9 Li Yanling, Zeng Xiaoyan. Effect of subsequently sintered processing on properties of thick-film resistor directly fabricated by laser micro-cladding [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(4):570~576
李慧玲,曾晓雁.后续烧结工艺对激光微细熔覆制备厚膜电阻性能的影响[J].*中国激光*, 2006, **33**(4):570~576
- 10 Li Xiangyou, Li Yaobin, 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