

文章编号: 1001-3806(2012)03-0379-03

激光直写制备薄膜铂电阻技术研究

吴波 吴云峰 匡艳

(电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054)

摘要: 为了研究激光直写技术在制备薄膜铂电阻中的应用, 采用激光直写制备了薄膜厚度为 $2\mu\text{m}$ 的铂电阻。探讨了激光直写技术制备薄膜铂电阻的原理, 以条形铂电阻为例, 研究了激光参量对铂电阻形状的影响, 在最优的激光脉冲频率 18kHz 、激光扫描速率 100mm/s 的参量下, 制备了实际电阻约为 0.37Ω 的条形薄膜铂电阻, 最后检验了薄膜铂电阻的电阻值。结果表明, 铂电阻的宽度分别随激光脉冲频率和激光扫描速率的增大而增大; 制备的电阻边缘整齐, 表面平整, 电阻实际值与理论值只有 0.8% 的相对误差, 吻合很好。

关键词: 激光技术; 薄膜铂电阻; 激光直写; 图形填充; 扫描振镜

中图分类号: TN249 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.03.024

Direct laser writing of thin platinum film resistors

WU Bo, WU Yun-feng, KUANG Yan

(School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: In order to study the application of laser direct writing technology in the fabrication of thin platinum film resistors, platinum resistors in $2\mu\text{m}$ thick were manufactured by means of laser direct writing. The fabrication mechanism of thin platinum film resistors was discussed. Taking strip platinum resistors as an example, the effect of the laser parameters on the figures of platinum resistors was studied. A 0.37Ω strip thin platinum film resistor was manufactured under the condition that the optimal laser pulse repetition frequency was 18kHz and the laser scanning speed was 100mm/s . Finally, the resistance of the platinum resistors was tested. The results indicate that the width of platinum resistor increases with the increase of laser pulse frequency and the increase of laser scan frequency independently. The edge of the manufactured resistor is neat and the surface is smooth. The relative deviation of the actual resistance to the theoretical one is only 0.8% .

Key words: laser technique; thin platinum film resistor; laser direct writing; graphic fills; scanning galvanometer

引言

薄膜铂电阻元件作为测量温度的主要敏感元件, 具有体积小、响应时间快、抗震性好、精度高、长期稳定性好等诸多优势^[1-2]。传统薄膜电阻是采用真空溅射、化学气相沉积、离子束沉积等方法制备薄膜^[3-5], 再配合掩膜制备的, 一般来说, 掩膜制作周期长、费用高, 一旦制成后, 很难再修改, 限制了薄膜电阻的发展。

激光直写技术已应用于集成光学器件、微光学与衍射元件、计算全息图等制作领域^[6-11]。激光聚焦后光斑直径可达几个微米, 用于制备薄膜铂电阻可实现元件高精度、小型化, 使得铂电阻测温精度可以大幅上升; 通过数字曲线多变形算法^[12], 计算机将 AutoCAD 的图形文件直接转化为控制激光扫描路径, 可以加工

各种复杂度高的图形, 而且可以随时根据不同的用户要求进行修改, 完全摆脱了传统工艺中掩膜的限制^[13]。

作者采用实验室自行研发的激光直写机, 设计并制备了条形薄膜铂电阻; 研究了激光直写工艺参量对铂电阻成型的影响规律; 最后对成型铂电阻的阻值进行了测量, 并和理论值进行比较。

1 试验方法和设备

激光直写制备实验与某薄膜铂电阻制造厂家合作, 在真空环境中把铂溅射在实验中所用的玻璃基片上, 薄膜厚度 $2\mu\text{m}$ 。

实验时, 把镀上铂膜的玻璃基片固定在平台上, 用激光按 DXF 图形文件生成好的扫描路径扫描膜层, 扫描区域的铂膜将由于激光高能量作用被去除, 未扫描区域留下膜层, 这样就得到了预先设计好图形的电阻。最后对电阻进行尺寸、阻值等测量。

实验平台是本实验室研发的激光直写机, 该直写

作者简介: 吴波(1987-), 男, 硕士研究生, 现主要从事激光应用技术方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: yfwu_72@163.com

收稿日期: 2011-07-12; 收到修改稿日期: 2011-09-13

机选用波长为 1065nm 的脉冲光纤激光器, AutoCAD 制作 DXF 图形, 通过自主研发的标刻软件转换成扫描路径, 然后使用 x, y 轴双振镜扫描系统控制激光扫描; 3 维移动平台控制玻璃基片水平移动以及竖直方向激光调焦, 移动精度达到 $2\mu\text{m}$ 。利用光学显微镜分析电阻的宏观和微观形貌以及配合软件测量功能测量电阻尺寸; 由于电阻体积太小, 用已知电阻的细铜丝把普通万用表的探针改细后测量其阻值, 得到测量值后再对铜丝对阻值的影响做修正。表 1 是激光器具体参量。

Table 1 Laser parameters

central wavelength	1065nm
average power/peak power	20W/12kW
pulse repetition frequency range	1kHz ~ 25kHz
beam diameter at aperture	3.1mm(normal)
polarization state	random

2 试验结果与讨论

2.1 激光直写技术制备铂电阻原理

激光器输出的激光束在聚焦后, 得到直径 $10\mu\text{m}$ 的光斑, 达到适当的能量密度, 控制光斑路径对铂金属膜层进行切割, 改变薄膜导体有效导电面积, 得到具有预先设计好阻值的薄膜铂电阻。铂金属薄膜的激光加工包括以下几个过程: 激光聚焦后照射至薄膜表面; 薄膜吸收激光能量; 薄膜被加热, 气化; 热量通过热传导散失^[14]。

2.2 激光参量对铂电阻形状的影响

图 1 是用于实验的 DXF 图形, 图 2 是直写软件读取图 1 后生成的填充图形。图 1 中, 设计的铂电阻有效导电部分是宽为 0.1mm 的条形, 即图中箭头所指; 薄膜厚度 $2\mu\text{m}$ 左右两侧为引脚; 图 2 中, 软件生成了扫描路径, 激光束将按此路径扫描切割成型条形铂电阻。

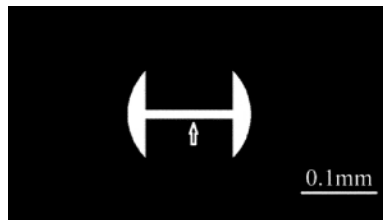


Fig. 1 Design drawing of a strip platinum resistor

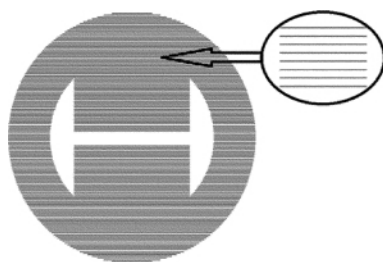


Fig. 2 Fill drawing of a strip platinum resistor

2.2.1 激光脉冲频率 在扫描速率适当的情况下, 激光脉冲频率决定了激光切割铂金属薄膜得到的线条形状, 激光脉冲频率太大, 虽然光斑在薄膜上标刻的点很致密, 但由于能量较弱, 容易在激光切口边缘形成熔融物堆积; 激光脉冲频率太小, 光斑标刻的点会过于稀疏, 而且能量过大, 由于热传导原因会使激光切割过多的薄膜区域, 甚至会使衬底被破坏。激光脉冲频率通过对切割线条形状的影响, 将影响到铂电阻形状, 最终会影响到铂电阻的阻值。图 3 是扫描速率为 0.1mm/s 的条件下, 激光脉冲频率与条形铂电阻宽度的关系曲线。

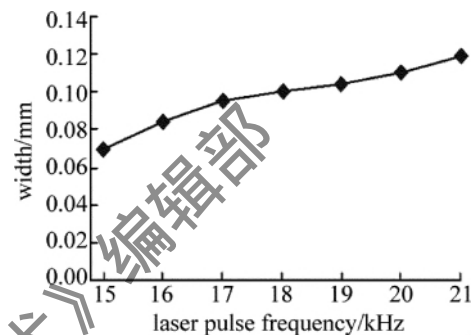


Fig. 3 Width of a strip platinum resistor versus laser pulse frequency

图 3 中, 铂电阻宽度随着激光脉冲频率的增大而增大, 当脉冲频率增大到 18kHz 时, 铂电阻宽度达到设计的 0.1mm , 说明 18kHz 是适合制备该膜厚铂电阻的激光脉冲频率。脉冲频率小于该值时, 成型的条形铂电阻宽度小于 0.1mm , 因为激光能量会过大, 没有被激光扫描到的薄膜区域也会吸收多余热能, 气化; 脉冲频率大于该值时, 成型的条形铂电阻宽度大于 0.1mm , 激光能量不足, 被激光扫描的区域也不能吸收到足够的热能, 在切口边缘形成熔融物堆积。

2.2.2 激光扫描速率 在激光脉冲频率一定的情况下, 激光扫描速率也会对切割薄膜的线条形状产生影响, 从而影响铂电阻形状, 图 4 是激光脉冲频率为 18kHz 的条件下, 激光扫描速率与条形铂电阻宽度的关系曲线。

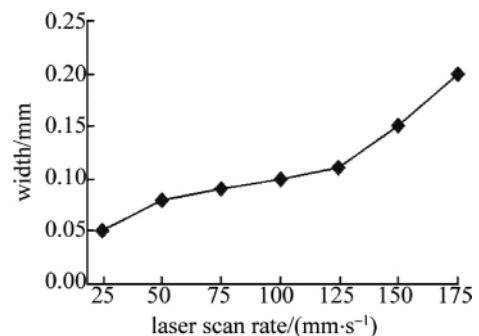


Fig. 4 Width of a strip platinum resistor versus the laser scan rate

图 4 中, 铂电阻宽度随激光扫描速率的增大而增大, 当扫描速率为 100mm/s 时, 铂电阻宽度达到设计的 0.1mm , 说明 100mm/s 是适合制备该膜厚铂电阻的

激光扫描速率。扫描速率小于该值时,成型的条形铂电阻宽度小于0.1mm,因为扫描速率较低时,热传导对薄膜未被扫描区域影响较大;扫描速率大于该值一定区域内,宽度变化不明显,一旦高于某值,宽度迅速增大,这是因为速率在一个范围时,热传导对薄膜未被扫描区域影响很小,切割线条宽度取决于激光光斑尺寸,但是速率超过这个区域时,激光扫描点过于分散,切割线条将不能成型,使被扫描区域薄膜不能完全气化,导致电阻宽度迅速变宽。

2.3 条形铂电阻的电阻值检验

在18kHz的激光脉冲频率和100mm/s的扫描速率条件下,被激光切割成型的条形铂电阻宏观形状如图5所示。从图中可以看出,成型后的铂电阻轮廓清晰,外观平整,与未被激光扫描区域对比明显。接下来验证电阻阻值。

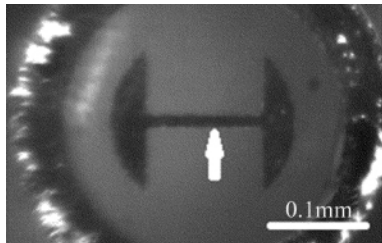


Fig. 5 Photograph of a strip platinum resistor

根据条形铂电阻的设计图纸给出的数据计算温度20℃时条形铂电阻的阻值。根据电阻公式 $R = \rho l / S$ 可以算出条形电阻的电阻值,其中 ρ 表示20℃时铂的电阻率,值为10.6Ωm; l 表示条形电阻电流方向的长度,值为0.7mm; S 表示垂直于电流方向的横截矩形面积,由公式 $S = h \times m$ 算出, h 为膜的厚度2μm, m 为条形电阻宽度0.1mm,得到 S 的值为200μm²。经计算得到条形铂电阻的理论值为0.371Ω。

因为条形铂电阻的电阻小于1Ω,直接用一般万用表电阻档进行测量结果不准确,所以采用以下方法进行电阻测量。一个可调带电流显示的电压源,一个MS8218普通数字万用表,在室温20℃的条件下,电压源电压调至最小,把条形铂电阻用导线接到电源输出端,逐步调节电压并观测电流显示,当电流显示为1A时停止电压调节,使用改装后的万用表500mV档,测得成型条形铂电阻两端电压为368.3mV。万用表显示精度是0.1mV,最后一位不可靠,因此取368mV进行计算,根据欧姆定律 $R = U / I$,得到条形电阻实际值为0.368Ω。可见实际值与理论值的相对误差约为0.8%,两者符合得非常好。

3 结论

(1) 铂金属薄膜在聚焦激光光束照射下,吸收激

光能量;薄膜被加热/气化,本文中利用这一原理完成了条形铂电阻的激光直写成型。

(2) 在激光扫描速率一定的情况下,条形铂电阻的宽度随激光脉冲频率的增大而增大;在脉冲频率一定的情况下,条形铂电阻的宽度随激光扫描速率的增大而增大,得到的制备膜厚2μm时,铂电阻最佳脉冲频率是18kHz,最佳扫描速率是100mm/s。

(3) 利用实验室自主研发的激光直写机制备了尺寸为0.1mm、膜厚2μm、实际电阻值为0.368Ω的条形薄膜铂电阻,电阻实际值与理论值相对误差只有0.8%。

参考文献

- [1] LU J, CHU J, HUANG W H, *et al.* Preparation of thick Pb(Zr,Ti)O₃(PZT) film by electrostatic spray deposition(ESD) for application in micro-system technology [J]. *Applied Physics*, 2002, 41(6): 4317-4320.
- [2] KONDO I, YONEYAMA T. Formation of high adhesive and pure Pt lasers on TiO₂ [J]. *Journal of Vacuum Science & Technology*, 1992, A10(6): 3456-3459.
- [3] LEE W, KIM Y, KIM H. Pt-base electrodes and effects on phase formations and electrical properties of high dielectric thin films [J]. *Thin Solid Films*, 1995, 269(1/2): 75-79.
- [4] KUSHIDA K A. Pt/TiN electrodes for stacked memory with polysilicon plug utilizing PZT films [J]. *Integrated Ferroelectrics*, 1996, 13(1/3): 113-119.
- [5] SALGUEIRO J R, ROMAN J F, MORENO V. System for laser writing to lithograph masks for integrated optics [J]. *Optical Engineering*, 1998, 37(4): 1115-1123.
- [6] HARURNA M, TAKAHASHI M, WAKAHAYASHI K, *et al.* Laser beam lithographed micro-Fresnel lenses [J]. *Applied Optics*, 1990, 29(34): 5120-5126.
- [7] BABER S C. Application of high resolution laser writers to computer generated holograms and binary diffractive optics [J]. *Proceedings of SPIE*, 1989, 1052: 66-76.
- [8] KOTECKI D E. High-K dielectric materials for DRAM capacitors [J]. *Semiconductor International*, 1996, 19(12): 109-110.
- [9] ZHANG F, ZENG X Y, LI X Y, *et al.* Laser etching and cutting printed circuit board by 355nm and 1064nm diode pumped solid-state lasers [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2008, 35(10): 1637-1643 (in Chinese).
- [10] LIANG F C, HU J, XU Z J. Realization of electric control of laser direct writing mesh on concave spherical substrate [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2006, 14(5): 792-796 (in Chinese).
- [11] WEI G J, SHAO J, ZHOU X H, *et al.* Laser direct writing system of fabricating binary optical elements [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2006, 17(10): 1213-1215 (in Chinese).
- [12] LUO P, WU Y F, YUE S, *et al.* Polygonal approximating algorithm of digital curves for bitmap laser marking [J]. *Laser Technology*, 2011, 35(3): 372-375 (in Chinese).
- [13] LIU J W, ZENG X Y. Status and prospect of laser direct writing [J]. *Laser Journal*, 2001, 22(6): 15-18 (in Chinese).
- [14] SUN J F, TANG J H, GUO X G. The analysis of laser trimming resistance technical on the resistance value precision [J]. *Applied Laser*, 2004, 24(3): 139-141 (in Chinese).