

文章编号: 1001-3806(2005)02-0123-03

激光微细熔覆电阻浆料直写电阻技术初步研究

李文兵, 李祥友, 曾晓雁

(华中科技大学 激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

摘要: 应用一种新工艺——激光微细熔覆电阻浆料直写电阻技术, 在陶瓷基板上制备厚膜电阻。介绍了新工艺研究的初步成果, 及激光直写的附着机理, 并展示了部分线电阻及通过搭接获得的电阻图案。重点讨论工艺参数的影响, 研究了预置膜层厚度、激光功率和激光扫描速度对电阻线宽的影响规律。

关键词: 激光技术; 激光微细熔覆; 厚膜电路; 电阻; 陶瓷基板

中图分类号: TG156.99 **文献标识码:** A

A preliminary study on resistor direct preparation by laser micro-cladding resistor pastes on ceramic substrate

LI Wen-bing, LI Xiang-you, Zeng Xiaoyan

(National Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract A new technology to prepare thick film resistors directly by laser micro-cladding resistor pastes on ceramic substrate is introduced. The preliminary result of the experiment is given. Some line resistors and some special resistors overlapped are fabricated successfully. Also the mechanisms of resistors formation are analyzed. Mainly the influence of parameters is discussed. The effects of coating thickness, laser power and laser scanning speed on resistor line width are studied in detail.

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

引 言

厚膜混合集成电路于 40 年代中期出现, 直至 1964 年后, 美国国际商用机器公司 (IBM) 利用厚膜集成电路制成 360 计算机, 其体积小、性能好, 此后厚膜混合集成电路才受到很大重视并获得迅速发展^[1]。目前厚膜集成电路实用产品的工艺水平已达到布线层数 5 层, 线宽/间距 $150\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m} / 200\mu\text{m} \sim 300\mu\text{m}$ 。

厚膜集成电路制造的主要生产工艺为丝网印刷后烧结。丝网印刷法是一种依赖于掩模的方法, 一般来说掩模制作周期长, 费用高; 掩模一旦制成后, 不能再修改; 对于出现问题的电路板, 也不易进行修复; 而且丝网网孔限制了精度的进一步提高。

借鉴激光微细熔覆直写布线技术的思想, 应用于厚膜集成电路中电阻的制备, 即作者应用的激光微细熔覆电阻浆料直写电阻技术。它摆脱了传统工艺中掩

模的限制, 所需电路图样只需在计算机中正确绘制出来, 就可以利用该技术直接制备电阻, 并可随时根据不同的用户要求进行修改, 制备速度快, 制作周期短, 柔性化制造程度高。

该技术的主要思想是: 将电阻浆料预置在基板上, 然后用激光扫描预置膜层, 在激光扫描过的区域, 激光的光热作用促使浆料的粘接相发生物理化学反应而将电阻浆料中导电相粒子之间以及玻璃相与基板之间连接到一起, 然后清洗基板上未反应的浆料, 留下电阻图案。为使电阻性能更加稳定, 最后将布好电阻的基板再回炉中烧结一次^[2-4]。

1 实验材料与方法

激光直写电阻实验用的基片采用厚膜电路通用的 96% Al_2O_3 基板, 板厚 1mm, 它在高频和低频下均有良好的机电性能, 较低的介质损耗; 高的机械强度, 较大的硬度; 线胀系数小; 耐热性能好。所用的电阻浆料是购自某电子浆料公司的成品电阻浆料, 该浆料主要用于传统的丝网印刷法制备电阻, 其原始技术指标为: 细度 $\leq 5\mu\text{m}$; 方阻为 $763.6\Omega/\square$; 粘度为 $115\text{Pa}\cdot\text{s}$; TCR 为 $46 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$; 柱状方阻为 $763.6\text{k}\Omega/\square$ 。其原始工艺条件为: 850°C 烧结 10min。由于在新工艺的甩胶过程中, 浆料粘度过大将造成膜层甩不开或甩不匀, 影响

基金项目: 国家八六三高新技术项目资助项目 (2001AA421290); 国家自然科学基金项目资助项目 (50075030)

作者简介: 李文兵 (1975-), 女, 硕士, 主要从事陶瓷板上激光直写电阻技术工艺研究。

E-mail: wbingke@sohu.com

收稿日期: 2004-03-08; 收到修改稿日期: 2004-06-28

后续工艺的进行,因此实验中对原始浆料进行了稀释,使其粘度控制在一定范围以内。表 1 中给出了实验中粘度的控制方法。

Table 1 Control of viscosity

viscosity	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]
paste weight/g	2	2	2	2	2	2	2
thinner weight/g	0.12	0.21	0.30	0.40	0.49	0.58	0.67

实验中,首先利用旋转甩胶的方法,在陶瓷基板上均匀预置一层电阻浆料涂层,然后放入 150℃ 炉中烘干。此后,用激光扫描涂层,扫描区域将由于激光的作用而固化,而未扫描区域可以用有机溶剂(乙醇或丙酮)清洗掉,这样就留下了成形的电阻,如图 1 所示。

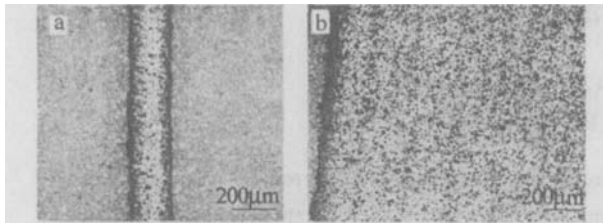


Fig 1 Appearance of resistors by laser direct scanning

a— single line resistor b— resistor overlapped

其中,激光器采用波长为 1.06μm 的 ytterbium fiber laser 功率 0~50W 连续可调, f=38mm。表 2 中给出了详细的试验条件。

Table 2 Experimental conditions

laser	ytterbium fiber laser
wavelength	1.06μm
power	0~50W
beam mode	TEM ₀₀
scanning speed of laser head	0.5mm/s~30mm/s
substrate	ceramic (thickness 1mm)
atmosphere	air

采用 Nikon Epiphot 300 光学显微镜分析电阻的宏观形貌和进行电阻宽度的测量。采用表面轮廓仪 SLOAN DEKTAK II 进行厚度及表面粗糙度的分析。

2 实验结果与分析

2.1 激光直写电阻的宏观形貌

实验结果表明,经过匀胶得到的电阻浆料膜层在激光作用下,将局部选择性与陶瓷基板实现初步结合,清洗后呈现出来的电阻在回炉高温烧结过程中又完成了与基板的稳固结合。最终试样的形貌如图 1a 所示,线条清晰均匀、表面有釉面光泽,单道线宽 50μm~800μm 可调,膜厚 2μm~12μm 可调。图 1b 所示为激光直写方式搭接出来的未经过高温烧结的电阻面。

图 2 为电阻的轮廓扫描曲线。其中图 2a 是单道

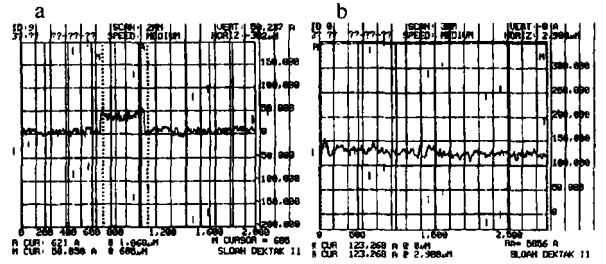


Fig 2 Outline of resistors by laser direct scanning

a— outline of single line resistor b— outline of resistor overlapped

电阻线轮廓扫描图,可以看到其线宽为 395μm、厚度约 5.02μm,边界清晰;图 2b 是搭接电阻的面扫描曲线,可以看到其粗糙度 $R_a = 0.5856\mu\text{m}$ 。考虑到基板本身具有一定的粗糙度,这个数据已经说明通过搭接方式获得的电阻平面外观是相当平整的。

图 3 是通过搭接获得的帽形电阻,入高温炉烧结后表面有釉面光泽,形状整齐。由于它突出的帽顶便于激光调阻,在实际生产中应用很广。通过单道扫描得到的电阻线逐条搭接,可以得到形状复杂的各种电阻。这个过程可以通过绘图软件较容易地实现,完全摆脱了掩模的限制。所获得图形的形状与尺寸则完全取决于布线设备的 CAD/CAM 功能,精确度高。

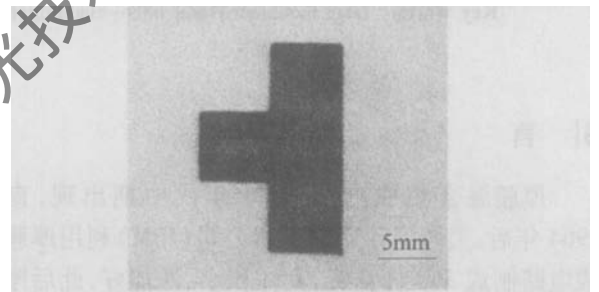


Fig 3 Cap resistor overlapped

2.2 激光直写电阻的附着机理及其与传统印制法的比较

目前,厚膜电阻浆料最为常用的是 Ag-Pd 电阻浆料及钎系电阻浆料。其固态成分主要是:导电相, Ag-Pd 或者二氧化钎及钎酸盐;粘结相,硼硅酸铅玻璃^[1-5,6];以及少量为改善电阻浆料性能而添加的金属氧化物,如 Al_2O_3 , MnO_2 等。其液态成分主要是有机粘合剂,如松油醇、乙基纤维素等。典型的烧成温度 850℃。

这种烧结型电阻浆料的常规烧结过程可分为 4 个阶段^[6]: (1) 燃烧阶段,有机物大约在 420℃ 被全部烧去; (2) 玻璃软化前阶段; (3) 电阻烧成阶段,在这阶段,温度较高,玻璃软化流动,导电相颗粒表面被玻璃浸润覆盖,烧结成膜,与基板有很好的粘结性,烧成膜的厚度为 1μm~200μm,一般为 2μm~15μm; (4) 冷却阶段,冷却速度越快,电阻内应力越大,使电阻性能不稳定。

在电阻膜表面,主要成分为玻璃相,玻璃相形成连

续光滑的的釉面结构,只有少量的导电相粒子填充其空隙中。在电阻膜的底层,熔融态玻璃浸润表面微观结构为锯齿状的陶瓷基板,并部分下渗到基板上,咬合相连,冷却后形成了坚固的结合体。导电相颗粒相对于玻璃则沉积重排,形成导电链通路;另一方面,玻璃熔融也将分散的导电相颗粒拉近,形成导电链通路,从而具备导电能力。烧成后的电阻体是一个非均匀相结构,陈章其^[7]认为在烧结过程中,熔融的玻璃会上浮至电阻体表面,烧结温度越高,上浮的玻璃成分会越多,在这种上浮现象中,又以 SiO_2 为最甚。

激光微细熔覆直写电阻的原理和传统方法是一致的,都是利用热效应使浆料中的玻璃相在热作用下熔化,并浸润导电相颗粒以及基板,从而把导电相颗粒之间以及电阻带与基板间连接起来。由于激光的作用时间短,玻璃相不能充分地熔化并实现浸润,而且冷却速度很快,容易形成较大的内应力,使电阻性能不稳定,所以激光的作用主要是实现初步的附着,摆脱传统掩模的限制,更加柔性化,而要想最终得到性能稳定、结合牢靠的电阻还需要利用传统的高温烧结方法回炉中烧结。

2.3 工艺参数对电阻形貌的宏观控制

激光直写工艺制备的电阻其电气性能主要取决于浆料本身,而宏观特性如激光单道扫描得到的电阻线宽受工艺影响很大。电阻单道线宽主要受光斑大小的影响,但在激光器提供的光斑大小不变的情况下,其它工艺参数的变化对其影响也是很大的。下面是对这些参数的实验分析结果。

2.3.1 涂层厚度的影响

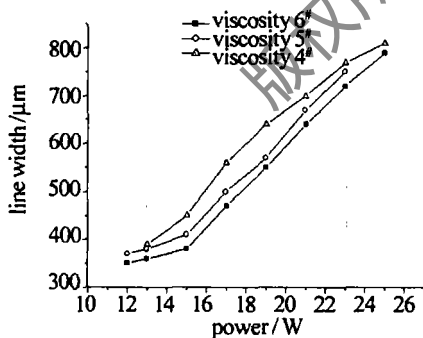


Fig 4 Effect of thickness on line width

(4[#], 5[#]和 6[#]粘度的电阻浆料在相同甩胶工艺下得到)的浆料膜层,扫描光斑位于焦点以下 2mm 处,激光扫描速度为 2mm/s 不同激光功率作用下所得线宽的变化趋势。激光功率低于 13W,电阻易出现断线,甚至不能附着;功率在 13W ~ 23W,电阻在陶瓷基板上附着良好,外观均匀清晰,且随着激光功率的提高,电阻线宽加大;激光功率高于 23W,电阻中部开始出现烧损坑。由于浆料粘度越大,相同工艺甩胶后所得膜层相对越厚,因此,图 4 中实际反映了预置电阻膜层的厚

度对最终电阻线宽的影响。从图中可见,功率较低时,不同膜厚的浆料膜层所获得线宽差别不明显;但是随着功率继续升高,线宽差别变大。这是由于在低功率激光作用时,浆料膜层所受热影响区小,且其能量不足以使热影响区中的浆料实现沉积,因而不同膜厚制备的线宽差别不明显;当激光功率再升高,激光作用热影响区变大,热影响区中的能量已足以实现电阻浆料的沉积,不同膜厚涂层在激光照射下热影响区范围不同,相同激光功率作用下膜层厚的其对应的线宽就宽。

2.3.2 不同功率的影响 其它条件一定,仅改变激光功率,如图 5 所示为 5[#]粘度的浆料、激光扫描速度

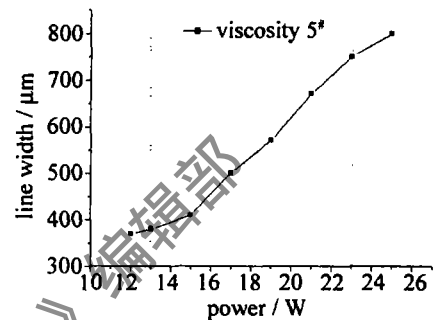


Fig 5 Effect of laser power on line width

2mm/s 不同激光功率作用下线宽的变化曲线。功率在 13W ~ 23W 时,电阻线在陶瓷基板上附着良好,外观均匀清晰,且随着激光功率的提高,电阻线线宽加大。分析知,线宽的变化主要是受激光热影响区范围的影响,激光功率越大,热影响区越大,线宽越宽,但功率不能过高(存在临界功率),激光功率高到一定程度光束会击穿电阻膜层,从而在电阻线中部出现烧损坑。

2.3.3 不同扫描速度的影响 当其它条件一定,仅改变扫描速度,观察扫描速度对线宽的影响。图 6 所示为 4[#]粘度的电阻浆料、激光功率恒定 8W、扫描光斑位

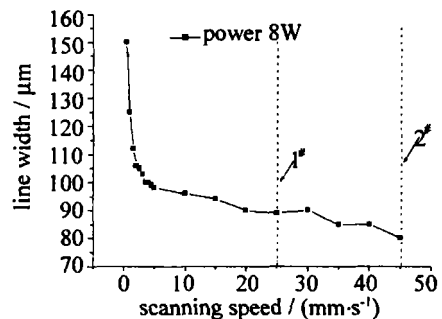


Fig 6 Effect of scanning speed on line width

于焦点以下 1mm 处,激光扫描速度对线宽的影响曲线。可见,线宽随扫描速度的提高总体呈下降趋势,但下降速度有一个由快速而逐渐缓慢的过程。当扫描速度大于 25mm/s 时,电阻线中部出现孔洞;扫描速度大于 45mm/s 时,不能成线。这是由于当扫描速度较低时,热量扩散较充分,热影响区相对大,因此对线宽的影响较大,表现在曲线上就是变化较剧烈;而当扫描

(下转第 134 页)

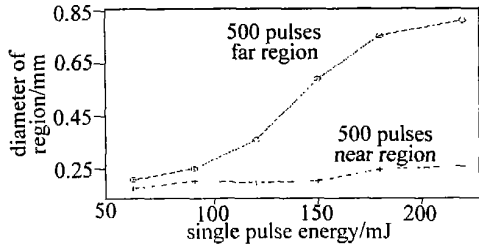


Fig 6 The relationship between regions of silicon and laser pulse energy

量为 50Q。同样,影响区的大小用其最小覆盖圆直径来衡量,从图中可以看出,金属铜、不锈钢和半导体硅的近区随着脉冲能量的增加而增大,这可解释为激光脉冲能量越大,单脉冲产生的横向影响也越大,从而近区的尺寸也越大。将图 5 和图 6 结合起来,可以发现相同条件下,半导体硅的近区尺寸比金属不锈钢的小;同时,在远区尺寸随脉冲能量变化的规律上,金属与半导体也有较大的区别,金属的远区尺寸随脉冲能量变化不明显(图中未标出),而半导体硅的远区尺寸随脉冲能量增加显著增大。这些差别可归结为材料本身特性的差异,金属是热的良导体,一方面,加工过程中积累的热量在金属试件上更容易传播,这使得金属不锈钢相比半导体硅有较大的近区尺寸;另一方面,在金属材料上,热量也更容易消散,这就导致金属的远区尺寸随脉冲能量变化不明显。加之,半导体硅是脆性材料,在响应光效应引起的冲击作用时会产生横向裂纹^[5],这也一定程度上加剧了对它的横向影响。上述的差别说明,准分子直刻加工过程的横向影响不仅与激光的参数有关,而且与加工试件本身材料特性也有密切的关系。

(上接第 125 页)

速度较高,热量来不及扩散,热影响区相对小,因此对线宽的影响较小,表现在曲线上就是变化较平稳;扫描速度继续增大,则电阻浆料膜层上吸收的热量不够熔融玻璃,形成电阻,故清洗后出现空洞。

3 小 结

通过对陶瓷基板上激光直写电阻的实验研究,可以得出如下结论:(1)通过激光扫描、多道搭接的形式可获得不同形状的电阻,其线条清晰均匀、外观平整光滑,电阻的形状与尺寸完全取决于布线设备的 CAD/CAM 功能,不需要掩模,图形可控,精确度高;(2)电阻的激光单道扫描线宽受扫描速度、激光功率以及预置膜层厚度的影响,扫描速度增加,激光功率减小以及膜层厚度增加,均使电阻线宽度减小;但都存在一个极

3 结 论

248nm KrF 准分子激光直接刻蚀金属和半导体的实验研究表明:刻蚀过程中的横向影响与激光脉冲能量、脉冲频率、脉冲数,以及试件的材料特性和加工环境均有密切关系,横向影响的程度随着脉冲能量、脉冲频率、脉冲数的增加而增大,为了控制刻蚀过程中的横向影响必须适当调节上述工艺参数,例如,在满足加工的条件下,采用小的脉冲能量和低的脉冲频率有利于减小横向影响区;另外,在刻蚀的过程中通入辅助气体(如氮气)可以减少刻蚀过程中氧化物的生成和加快热量的消散,从而,也有利于减小横向影响区。

参 考 文 献

- [1] BRANNON JH. Excimer laser ablation and etching [J]. IEEE Circuits & Devices 1990, 6: 16~24.
- [2] LAUDE L D. Excimer lasers [M]. Dordrecht Kluwer Academic 1994.
- [3] 范永昌,戴尔 P E,凯奕 P H. KrF 准分子激光烧蚀氧化镁单晶的实验研究 [J]. 激光技术, 1995, 19(5): 283~285.
- [4] 林振能,沈建新,廖文和. 193nm 准分子激光切削角膜的研究 [J]. 激光技术, 2003, 27(6): 510~513.
- [5] 马炳和,苑伟政,李铁军 *et al*. 准分子激光直接刻蚀单晶硅研究 [J]. 西北工业大学学报, 2000, 18(3): 491~495.
- [6] 李呈德,万盈,陈涛 *et al*. 准分子激光微加工用 Schwarzschild 物镜设计 [J]. 应用激光, 2001, 21(1): 13~15.
- [7] 江超,王又青,胡少六 *et al*. 248nm KrF 准分子激光精密加工 Al_2O_3 的实验研究 [J]. 激光杂志, 2002, 23(2): 59~61.
- [8] 江超,王又青. KrF 准分子激光精密加工 K9 光学玻璃的实验研究 [J]. 电加工与模具, 2003(2): 33~35.

限值,超过或低于此值,将严重影响电阻的质量(很容易清洗掉或者被烧损)。

参 考 文 献

- [1] 李耀霖. 厚膜电子元件 [M]. 广州:华南理工大学出版社, 1991, 2~4.
- [2] 刘敬伟,曾晓雁. 激光直写布线技术的现状与展望 [J]. 激光杂志, 2001, 22(6): 15~18.
- [3] 刘敬伟. 基于有机导电浆料的激光直写技术工艺和机理研究 [D]. 武汉:华中科技大学, 2002, 1~12.
- [4] 祁晓敬. 基于玻璃基底的激光直写布线技术研究 [D]. 武汉:华中科技大学, 2003, 1~10.
- [5] 李著,肖爱武. 国内厚膜电子浆料的发展与应用 [J]. 电子元件与材料, 1999, 18(1): 25~28.
- [6] 夏仁麟. 电子元件材料手册 [M]. 北京:电子工业出版社, 1989, 488~490.
- [7] 陈章其. 钇系厚膜电阻阻值受烧结温度影响的机理初探 [J]. 四川真空, 1992(1): 62~65.