

文章编号: 0258-7025(2005)05-0713-04

玻璃基板激光微细熔覆柔性布线技术研究

李祥友, 祁小敬, 曾晓雁

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要 与传统的布线技术相比,激光微细熔覆柔性布线技术可以提高线路板制备的效率并降低生产成本。对基于玻璃基板的激光微细熔覆柔性布线技术的工艺进行了重点研究,分析了激光功率密度和扫描速度对导体厚度和宽度的影响规律,同时研究了烧结时间对导体电阻率和结合强度的影响趋势。试验表明,激光功率密度和扫描速度对导线的厚度影响不大,而对导线的宽度有着重要的影响。导线宽度随功率密度增加、扫描速度减小而增加,并都存在临界值;随着烧结时间延长,导线电阻率减小,结合强度提高。在此基础上,探讨了导体附着机理和导电机理。

关键词 激光技术; 激光微细熔覆柔性布线; 玻璃基板; 银导体

中图分类号 TN249 文献标识码 A

Study of Conductor Fabrication by Laser Micro-Cladding Electronic Pastes on Glass Substrate

LI Xiang-you, QI Xiao-jing, ZENG Xiao-yan

(State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract Compared with traditional methods, conductor fabrication technology by laser micro cladding electronic pastes (LMCEP) can improve the efficiency and lower the production cost. In this paper, processes of silver conductor fabrication were studied. The effect of laser power density and scanning speed on conductor thickness and linewidth was researched systematically, at the same time, the effect of firing time on resistivity and adhesion strength was also analyzed. The result showed that, they which had critical values had very little effect on thickness of conductor and played a very important role on its linewidth, and with increasing the power density and decreasing the scanning speed, the linewidth increased. Besides, with the delaying of sintering time, the resistivity decreased and adhesion strength enhanced, on base of which the conductive and adhesive mechanisms were explored too.

Key words laser technology; conductor fabrication by laser micro-cladding electronic pastes; glass substrate; silver conductor

1 引言

传统的印制电路板(PCB)和厚膜电路的制造工艺方法例如光化学法和模板(或丝网)漏印法,由于它们需要事先制备模板,并且步骤多,周期长,对于修复或修改设计往往需要重新加工模板,因而越来越不能满足电子产品柔性化发展的需求。新一代的电子布线和封装技术迫切需要能在无掩膜(或模板)条件下,高精度、高速度连接高密度芯片和修复导电线路的柔性布线技术,以大幅度降低生产成本^[1,2]。另外,在绝缘基体上制备金属导体或涂层的需求也越来越大。

在环境条件比较恶劣的情况下,玻璃基板比树脂板所承受的温度高,并且抗酸碱腐蚀,而其成本远远低于 Al_2O_3 陶瓷基板,因而以玻璃为基板的印制电路板制造已经引起了人们极为广泛的关注。

激光直写制备金属导线技术和无模板图案沉积技术,已经引起了广大研究人员的极大注意。近几年来,利用激光诱导化学气相沉积技术(LCVD)已经在 SiO_xN_y , TiN, GaAs 和硅晶上成功地制备出了 Au, Al, Ag 和 Cu 导线^[3~6]。一般说来,激光诱导化学气相沉积技术制备的导线质量优良,线宽窄(可以达到 $2\ \mu m$),线间距小,但它的致命弱点是制备效率太低,

收稿日期: 2004-07-05; 收到修改稿日期: 2004-09-02

基金项目: 国家自然科学基金(50075030)和国家 863 计划(2001AA421290)资助项目。

作者简介: 李祥友(1975—),男,湖北五峰人,华中科技大学激光技术重点实验室教师,博士研究生,主要从事激光微细熔覆布线以及激光工业应用方面的研究。E-mail: xyli@mail.hust.edu.cn

只能达到每秒 $10\ \mu\text{m}$ 级的速度,同时需要消耗气体和需要真空系统,使得设备成本相当高。其他的金属沉积方法例如激光诱导前向转移技术(LIFT)、激光诱导电镀、化学镀以及金属有机高分子的分解等都存在沉积效率低下,操作不便,成本高,与基板(尤其是玻璃基板)结合强度很差的问题。

激光微熔覆柔性布线技术是一种全新、高效、简单且成本低的金属导体的制备方法^[7~11]。本文主要针对玻璃基板的特点,对玻璃基板上制备银导体的工艺进行了细致的研究,并对其导电和附着机理进行了初步的探讨。

2 实验方法与设备

玻璃基体选用最常用的硅酸盐玻璃,其软化温度约为 $735\ ^\circ\text{C}$ 。

试验中,首先利用旋转甩胶的方法,在玻璃基板上均匀预置一层电子浆料涂层,然后放入 $150\ ^\circ\text{C}$ 炉中烘干。其中,电子浆料由无机粘结剂(主要是低熔点玻璃成分)、热固性树脂成分、片状银粉(直径约 $7\sim 10\ \mu\text{m}$)和有机载体组成。然后用激光扫描涂层,在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清洗掉,这样就留下了导线。最后放入 $600\ ^\circ\text{C}$ 的炉中保温 $30\ \text{min}$ 。光源采用 CO_2 连续激光器,波长为 $10.6\ \mu\text{m}$,功率 $0\sim 50\ \text{W}$ 连续可调,焦距 $f=38\ \text{mm}$ 。表1给出了详细的试验条件。

表1 试验条件

Table 1 Experimental condition

Laser	CO_2
Wavelength	$10.6\ \mu\text{m}$
Maximum power	$50\ \text{W}$
Scanning speed of laser head	$1\sim 20\ \text{mm/s}$
Substrate	silicate glass (thickness: $1\ \text{mm}$)
Atmosphere	air

采用Nikon Epiphot300光学显微镜分析导线的宏观形貌和进行导线宽度的测量,采用JEOL JSM-5510LV电子显微镜进行扫描电子显微镜(SEM)分析。

3 制备工艺

3.1 激光功率密度和扫描速度对导线厚度的影响

图1(a),(b)分别给出了激光功率密度和扫描速度对导体厚度的影响关系曲线。从图中不难发现,激光功率密度和扫描速度对导体厚度影响不大,但相对于未处理的预置涂层来说,有稍微减薄的趋

势。这是因为当激光作用于涂层上时,浆料中的有机粘结剂成分受到热作用而固化,同时体积收缩。又由于粘结相中有机成分量少,所以仅产生微缩,故激光作用前后厚度变化不大。

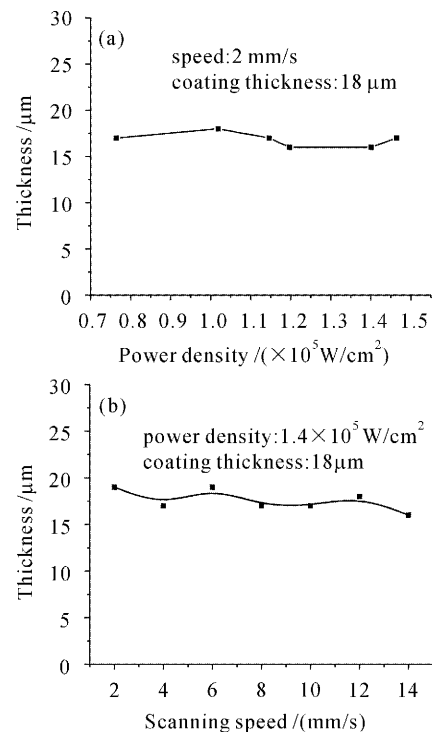


图1 激光功率密度(a)和扫描速度(b)对导体厚度的影响

Fig. 1 Effect of laser power density (a) and scanning speed (b) on thickness

3.2 激光功率密度和扫描速度对导线宽度的影响

图2(a),(b)分别给出了激光功率密度和扫描速度对导线宽度的影响曲线。可以看出,随着功率密度的提高,导线的宽度增大,但当功率密度增大到一定程度时[(如图2(a)“·”所示],导线将遭到破坏,出现过烧的现象(如图3所示);同时当功率密度减小到一定程度时[如图2(a)“×”所示],导线很容易被清洗掉,导致不连续的现象,甚至不能成线。另外,导线的宽度随着扫描速度的增加而减窄,同样当速度增大到一定程度[如图2(b)“×”所示]时,将很难形成连续的导线。选择适当的功率密度和扫描速度,就可以得到质量很好的导线(如图4所示)。

图5给出了激光与涂层相互作用的示意图,该状态为激光刚照射到表面的情况,随时间推移,热影响区将扩大。可见激光光斑直径的大小对导线的宽度影响巨大,而当光斑直径一定时,导线宽度的大小就取决于单位体积的涂层所吸收的激光能量的大小

$$E \propto D/V, \quad (1)$$

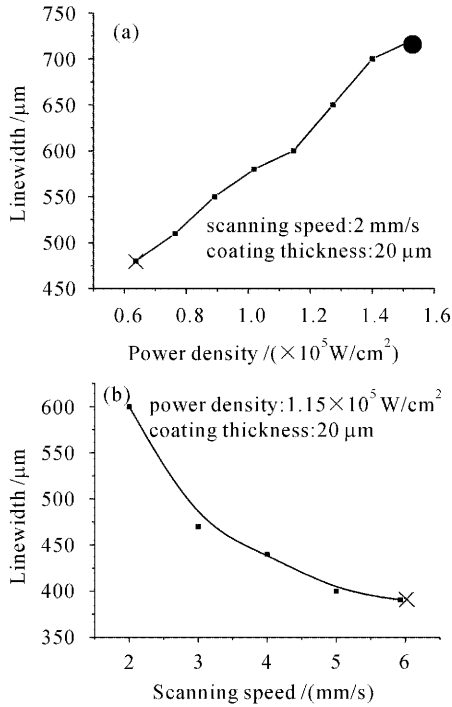


图2 激光功率密度(a)和扫描速度(b)对导线宽度的影响
Fig. 2 Effect of laser power density (a) and scanning speed (b) on linewidth

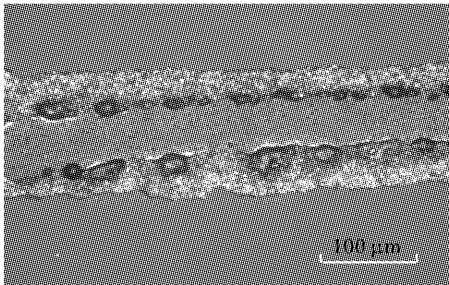


图3 过烧的导线
Fig. 3 Conductor on over-burn process

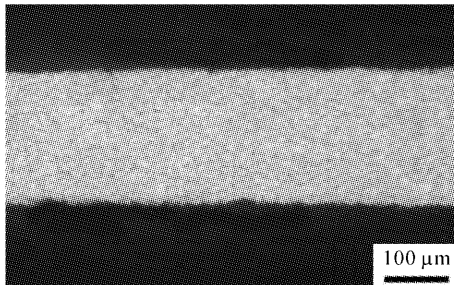


图4 优化工艺制备的导线
Fig. 4 Conductor on optimal process

式中 E 为吸收的能量, D 为功率密度, V 为扫描速度。而单位体积吸收的能量 E_e 可表示为

$$E_e \propto \frac{E}{L \cdot W \cdot T} \propto \frac{D}{V \cdot L \cdot W \cdot T}, \quad (2)$$

式中 L, W, T 分别表示导线的长、宽和厚。为了得到

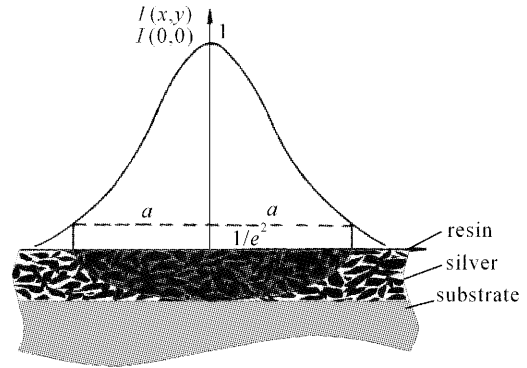


图5 激光与涂层作用示意图
Fig. 5 Schematic map of laser action on coating

连续、表面光滑的导线, E_e 必须处于导线所能承受的上临界值 $E_{e\max}$ 和下临界值 $E_{e\min}$ 之间, 如

$$E_{e\min} \leq k \cdot \frac{D}{V \cdot L \cdot W \cdot T} \leq E_{e\max}, \quad (3)$$

式中 k 为待定系数。从(3)式可以清楚地看到, 功率密度 D 和扫描速度 V 存在极限值。

3.3 烧结工艺对导体性能的影响

利用激光处理虽然可以得到所需的导线, 但是它的性能并不稳定, 其与基板的结合强度也不高, 因而需要通过进一步烧结来提高导体的质量。图6和图7分别给出了烧结时间对导体的电阻率和导体与基板的结合强度的影响关系曲线。从图中可见, 随着烧结时间的延长, 导线的电阻率减小, 与基板的结合强度提高。一般来说, 激光的作用只是使浆料中的有机粘结剂产生固化, 而其中的无机粘结成分仅部分甚至完全没有发生作用, 所以此时银粉颗粒之间以及基板与导体之间的结合并不十分紧密, 从而导致导体的性能不稳定。进一步的烧结可使银粉颗粒结合得更加致密, 并且可以分解掉有机杂质, 从而使导线性能变好。同时无机粘结成分下沉, 使与基

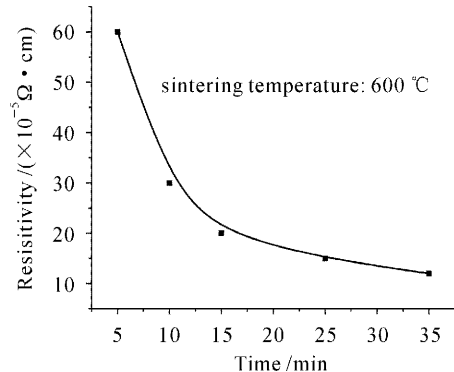


图6 烧结时间对电阻率的影响
Fig. 6 Effect of firing time on resistivity

板的结合强度增加。而且随着烧结时间的延长,电阻率和结合强度接近于一个稳定值,说明此时粘结

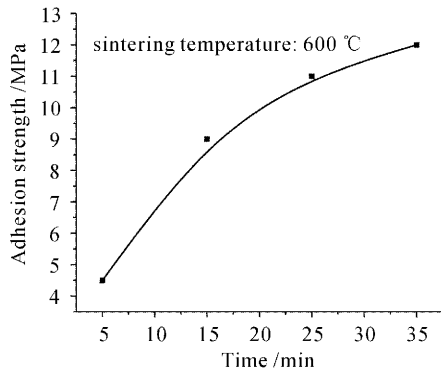


图7 烧结时间对结合强度的影响

Fig. 7 Effect of firing time on adhesion strength

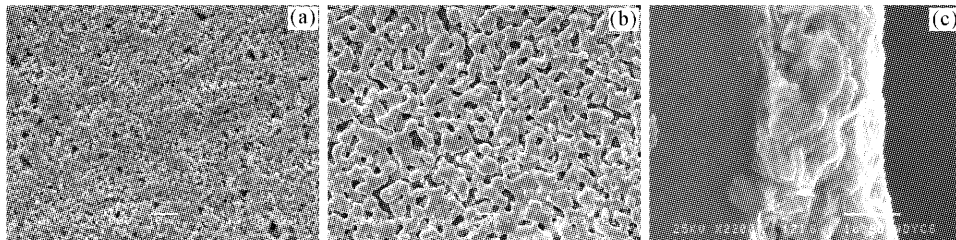


图8 导线表面和截面的微观形貌

Fig. 8 Morphology of conductor surface and cross section

5 结 论

1) 激光功率密度和扫描速度对导线的厚度影响不大,但对导线的宽度至关重要,并且都存在极限值;2) 电阻率和结合强度是表征导线性能的最主要参量,烧结时间的长短,对其有着十分重要的影响,并且激光处理得到的导线必须经过进一步烧结才能把性能稳定下来;3) 炉中烧结不仅可以稳定性能,而且可以提高性能,它使电阻率减小,结合强度上升;4) 导体导电是因为银粉颗粒之间形成了三维导电网络,而粘结剂使基板与导体紧密结合起来。

参 考 文 献

- 1 Olaf Lehmann, Michael Stuke. Laser-driven movement of three-dimensional microstructures generated by laser rapid prototyping[J]. *Science*, 1995, **270**(5242): 1644~1646
- 2 Zs Geretovszky, T. Szorényi. Can laser deposition from the liquid phase be made competitive? [J] *Appl. Surface Science*, 1997, **109/110**: 467~472
- 3 A. Kar, J. Mazumder. Laser chemical vapor deposition of thin films [J]. *Materials Science and Engineering*, 1996, **B41**: 368~373
- 4 K. Kordás, K. Bali, S. Leppavuori *et al.*. Laser direct writing of palladium on polyimide surfaces from solution[J]. *Appl. Surface Science*, 1999, **152**: 149~155

剂已经完全固化。

4 导体的微观形貌及讨论

图8给出了导体的扫描电镜(SEM)形貌,其中(a)为激光处理后的表面形貌,(b)为炉子烧结后的表面形貌,(c)为炉子烧结后导体的横截面形貌。不难发现,仅激光处理后,导体中的银粉颗粒仍然被其他物质所包覆,其存在影响了导体的电阻率。炉子烧结后,导体形成一个互相导通的三维导电网络,尽管由于有机杂质的分解、挥发而留下很多孔隙,但银粉颗粒之间结合得更加致密了,导致导电性能的提高。从横截面形貌可以看出,导线已经和基板紧密地结合在一起了。

- 5 K. Kordás, L. Nánai, G. Galbács *et al.*. Reaction dynamics of CW Ar⁺ laser induced copper direct writing from liquid electrolyte on polyimide substrates[J]. *Appl. Surface Science*, 2000, **158**: 127~133
- 6 K. Kordás, K. Bali, S. Leppavuori *et al.*. Laser direct writing of copper on polyimide surfaces from solution [J]. *Appl. Surface Science*, 2000, **154~155**: 399~404
- 7 Xiangyou Li, Huiling Li, Jingwei Liu *et al.*. Conductive line preparation on resin surfaces by laser micro-cladding conductive pastes[J]. *Appl. Surface Science*, 2004, **233**: 51~57
- 8 X. Li, H. Li, Y. Chen *et al.*. Silver conductor fabrication by laser direct writing on Al₂O₃ substrate[J]. *Appl. Phys. A*, 2004, **79**(8): 1861~1864
- 9 Huiling Li, Xiaoyan Zeng, Huifen Li *et al.*. Research on film thickness of conductive line formed by laser micro-fine cladding and flexibly direct writing technique[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(11): 654~657
- 10 Li Huiling, Zeng Xiaoyan, Li Xiangyou. Research on technology of laser micro-fine cladding and direct writing resistance on glass structure [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
- 11 Qi Xiaojing, Liu Jingwei, Li Xiangyou *et al.*. A new technology of conductive line preparation by laser micro-cladding metal-organic pastes on PCB board[J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(7): 883~887
祁小敬,刘敬伟,李祥友等. 一种激光微细熔覆直写布线的新技术[J]. *中国激光*, 2004, **31**(7): 883~887