

文章编号: 1001-3806(2007)06-0575-03

无钎剂激光喷射植球工艺的研究

卫国强, 杨永强, 温增璟

(华南理工大学 机械工程学院, 广州 510640)

摘要: 为了研究在氮气保护条件下, 无钎剂激光喷射植球工艺参数对凸点剥离强度的影响, 对激光电流、激光脉冲时间和凸点剥离强度的关系进行了试验, 得出了激光脉冲时间一定时, 剥离强度随激光电流的增加而降低; 激光电流一定时, 剥离强度随脉冲时间的增加而增加的结果; 同时借助扫描电镜和能谱分析, 对凸点 (Sn63Pb37) 焊盘 (Au/Ni/Cu 镀层) 界面的组织形貌及相组成进行了分析。结果表明, 在保证凸点外观质量的前提下, 大激光电流、短激光脉冲时间时凸点剥离强度较低, 小激光电流、长激光脉冲时间时凸点剥离强度较高; 在现试验条件下, 钎料球能很好地润湿焊盘并在凸点/焊盘界面处形成了连续的 $AuSn_4$ 金属间化合物层。

关键词: 激光技术; 激光植球; 无钎剂; 剥离强度; 显微组织

中图分类号: TG456.7 文献标识码: A

Investigation on fluxless laser jet bumping technology

WEI Guo-qiang, YANG Yong-qiang, WEN Zeng-jing

(College of Mechanical Engineering South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract The effect of the technology parameters (laser current, laser pulse time and N_2 pressure) for fluxless laser jet bumping on the bump's peel strength under N_2 protecting conditions were investigated. The interfacial microstructure and composition of the intermetallic compound at bump (Sn63Pb37) / pad (Au/Ni/Cu) were analyzed in term of scanning electron microscopy and energy dispersive spectrometer. As the laser pulse time is constant, the peel strength decreases with increasing laser current; as the laser current is constant, the peel strength increases with increasing laser pulse time. In case of obtaining good bump's appearance, larger laser current along with shorter pulse time results in the decrease of bump's peel strength, smaller laser current along with longer pulse time increases bump's peel strength. Under existing test conditions, solder ball (Sn63Pb37) may wet the pad (Au/Ni/Cu) commendably. The continuous $AuSn_4$ intermetallic compound layer is formed at the bump/pad interface and $AuSn_4$ is detected in the solder bump near the interface.

Key words laser technique; laser jet bumping; fluxless; peel strength; microstructure

引 言

由于微电子, 光电子, 机电系统技术的快速发展, 对其封装技术提出了越来越高的要求。无钎剂激光喷射植球技术是近几年发展起来的一种芯片凸点制作及微连接技术。该技术具有如下优点: (1) 在连接过程中不加钎剂, 对所加工的器件不会造成化学污染; (2) 热源能量密度高, 加热速度快, 对器件热损伤小, 并且可精确控制热量; (3) 由于激光光斑小, 因此加热区域窄, 可对精密元、器件进行微细加工连接; (4) 钎料球的放置和植球一次完成, 凸点位置可准确定位, 简化加工工艺, 因此在微电子, 光电子, 机电系统领域

将得到广泛应用^[1]。对无钎剂激光喷射植球技术, 国内外学者进行了大量研究, 从已公开的文献来看, 研究的重点主要集中在: (1) 连接机理: KASULKE, LEE 等^[1-3]对无钎剂激光钎焊去除焊盘氧化膜, 从而使钎料球润湿焊盘进行了研究; LI 等^[4]用调制激光 (关断频率为 20Hz) 作为热源, 研究了氧化膜的去除机理; (2) 钎料球凸点成型: ANTAL 等^[5]用熔化的钎料直接喷射到铜基材上来进行植球, YANG 等^[6]对液态微滴钎料喷射到固态基板时的铺展和凝固进行了数值模拟, HONG, YANG 等^[7,8]对激光喷射植球后采用等离子重熔的方法对凸点的再成型进行了研究; (3) 凸点/焊盘界面反应: TIAN 等^[9]对激光植球及红外重熔后凸点/焊盘界面的显微组织进行了研究; (4) 激光加热温度场: LI 等^[10]对激光和材料相互作用时的温度场变化进行了研究。以往的研究对激光喷射植球工艺参数对界面结合强度的影响研究较少。作者采用无钎剂激光喷射植球的方法, 重点研究工艺参数 (如激光电流, 激

作者简介: 卫国强 (1960), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 从事钎焊、电子封装及激光加工技术的研究。

E-mail: gqw@scut.edu.cn

收稿日期: 2006-09-04 收到修改稿日期: 2007-01-26

光脉冲时间, 氮气压力)对凸点剥离强度的影响, 同时对凸点界面显微组织进行了分析。

1 实验方法

图 1 为无钎剂激光喷射植球工艺示意图, 分球机构把钎料球送进喷嘴, 当氮气压力达到设定值时, 激光

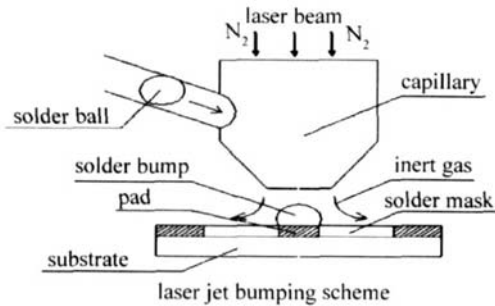


Fig 1 Fluxless laser jet bumping technology scheme

器发射激光加热钎料球, 吸收了激光能量的钎料球熔化并在氮气压力的作用下, 喷射到焊盘, 从而形成连接, 氮气不仅可加速熔化的钎料球碰撞焊盘破碎氧化膜而形成喷射连接, 而且还可防止熔化的钎料球再氧化。本实验采用的激光器为脉冲 Nd:YAG 激光器, 焊盘采用 Au/Ni/Cu 3层结构, 厚度分别为 1 μ m, 1.5 μ m, 12 μ m, 钎料球为共晶 Sn-Pb 钎料 (63Sn37Pb), 直径为 300 μ m, 喷嘴到焊盘的距离为 0.6mm, 凸点剥离强度试验在微型剪切试验机上进行, 用电子扫描镜 (scanning electron microscopy SEM) 分析凸点/焊盘界面组织形貌, 能谱分析 (energy dispersive spectrometer EDS) 对界面相结构进行半定量分析。

2 实验结果与讨论

2.1 激光电流对凸点剥离强度的影响

图 2 为采用激光植球技术的凸点外观形貌照片,

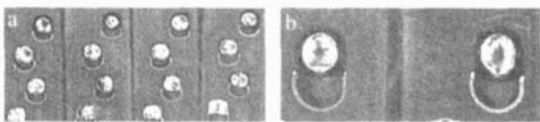


Fig 2 Photographs of bump appearance

钎料球完全润湿焊盘, 凸点呈球形, 表面无裂纹。图 3 为在保证凸点外观质量的前提下, 设定脉冲时间为

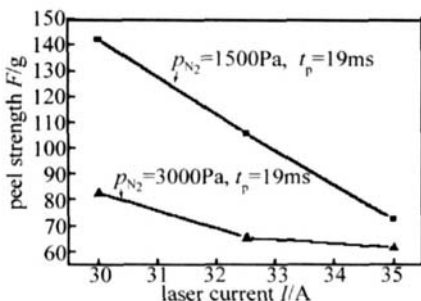


Fig 3 Effect of laser current on peel strength

19ms, 氮气压力分别为 3000Pa, 1000Pa 时激光电流对凸点剥离强度的影响图, 当氮气压力 (分别为 3000Pa, 1500Pa) 和脉冲时间 (10ms) 一定时, 激光电流的增加将引起凸点剥离强度的降低, 这表明在脉冲时间一定时, 激光电流的增加, 意味着激光功率的增加, 激光功率的增加一方面使液态的钎料球中的温度梯度增加, 液态钎料球撞击焊盘凝固时的内应力增加, 另一方面激光功率的增加将导致液态钎料球的温度过高, 钎料球和焊盘镀层的反应加剧, 在界面形成更多的金属间化合物, 这都将降低凸点的剥离强度, 因此, 在激光脉冲时间一定的条件下, 在保证凸点外观质量的前提下, 应尽量采用小的激光电流。另外在小的氮气压力 (1500Pa) 时, 凸点剥离强度下降的幅度更大, 但在激光电流和激光脉冲时间一定的情况下, 小的氮气压力时凸点的剥离强度高于大的氮气压力时凸点的剥离强度。

2.2 激光脉冲时间对凸点剥离强度的影响

图 4 为在保证凸点外观质量的前提下, 设定激光

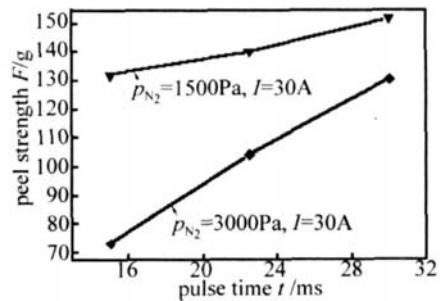


Fig 4 Effect of pulse time on peel strength

电流为 30A, 氮气压力分别为 3000Pa, 1500Pa 时激光脉冲时间对凸点剥离强度的影响图, 当氮气压力 (分别为 3000Pa, 1500Pa) 和激光电流 (30A) 一定时, 随激光脉冲时间的增加, 凸点的剥离强度增加, 这表明当激光电流一定时, 随激光脉冲时间的增加, 钎料球所吸收的热量增加, 钎料球中的温度梯度降低, 钎料球内部温度趋于均匀, 钎料球凝固时所产生的内应力低, 同时钎料球组织均匀, 导致凸点剥离强度提高, 因此, 在激光电流一定的条件下, 在保证凸点外观质量的前提下, 应尽量采用长的激光脉冲时间。钎料球热量的获取可通过延长脉冲作用时间来达到。从图 3 和图 4 中也可看出, 在激光功率一定的情况下, 高的氮气压力将降低凸点的剥离强度, 因为大的氮气压力将引起钎料的飞溅, 造成钎料的流失, 降低凸点剥离强度, 但氮气压力过小, 液态的钎料球容易氧化, 钎料球成形不好, 因此, 氮气压力要适中。

2.3 凸点/焊盘界面显微组织分析

图 5 为凸点全貌 SEM 图, 在凸点/焊盘界面处, 可以看到, 焊盘镀层有溶解, 界面变得不平整, 在凸点内

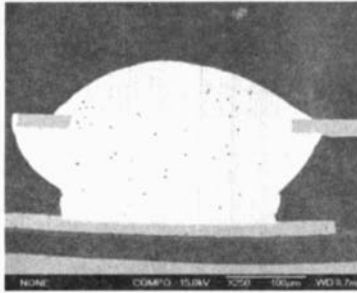


Fig 5 SEM image cross section of solder bump ($I = 32.5\text{A}$, $p_{N_2} = 2000\text{Pa}$, $t_p = 27\text{ms}$)

部有微小的气孔出现。图 6 为界面高倍 SEM 图, 在界

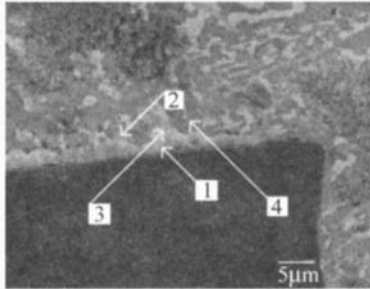


Fig 6 SEM image of the bump/pad interfaces ($I = 32.5\text{A}$, $p_{N_2} = 2000\text{Pa}$, $t_p = 27\text{ms}$)

面处出现了连续的金属间化合物, 根据 EDS 分析 (见表 1) 可知为 AuSn_4 金属间化合物, 有趣的是, 在离开界面的位置 2 处检测到了 AuSn_4 相的存在 (见表 1),

Table 1 EDS element analysis at solder bump/pad interface

element	atom number fraction of position 1	atom number fraction of position 2
Sn	0.7975	0.7194
Au	0.2025	0.1684
Pb	0	0.1122

说明在激光加热钎料球的情况下, 虽然时间极为短暂, 但镀层 Au 还是非常快的溶解到了液态钎料中, 因此在界面形成连续的 AuSn_4 相, 而且在焊点中靠近

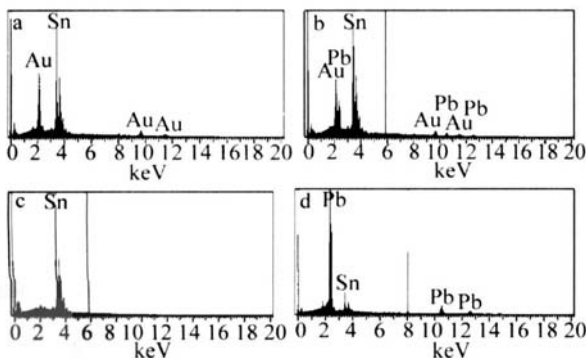


Fig 7 EDS spectrum of solder bump/pad interface

a— position 1 EDS spectrum b— position 2 EDS spectrum c— position 3 EDS spectrum d— position 4 EDS spectrum

界面处也形成了 AuSn_4 相, 位置 3 灰白相为纯 Sn 相, 位置 4 灰黑相为纯 Pb 相, 图 7 为图 6 中各点 EDS 分析图谱。通过以上分析可知, 在氮气保护条件下, Sn63Pb37 共晶钎料可不使用钎剂就能润湿 Au/Ni/Cu 焊盘, 并在界面形成 AuSn_4 金属间化合物, 同时由于 Au 的快速溶解进入钎料, 在靠近界面处形成 AuSn_4 相。

3 结论

(1) 由于氮气的保护作用, 用激光作为热源, 在不加钎剂的条件下, 可直接在 Au/Ni/Cu 焊盘上制作 Sn63Pb37 钎料球凸点, 并且钎料/焊盘界面润湿良好。

(2) 在保证凸点外观质量的前提下, 小的激光电流、长的激光脉冲时间的参数可提高凸点/焊盘剥离强度, 大激光电流、短激光脉冲时间将降低凸点/焊盘剥离强度。

(3) 在激光加热的极短时间内, 凸点/焊盘界面就能形成 AuSn_4 金属间化合物层, 同时在界面附近也检测到 AuSn_4 相的存在。

参考文献

[1] KASULKE P, SCHMIDT W, HIFERLE L *et al*. Solder ball bumper SB²— A flexible manufacturing tool for 3-dimensional sensor and microsystem packages [A]. Twenty-Third IEEE/CPMT Electronics Manufacturing Technology Symposium [C]. Piscataway, NJ: IEEE, 1980: 70~75.

[2] LEE JH, PARK D, KIM Y S. Characteristics of the Pb-Sn eutectic solder bump formed via fluxless laser reflow soldering [J]. Journal of electronic materials 2000, 29(10): 1153~1159.

[3] LEE JH, LEE YH, KIM Y S. Fluxless laser reflow bumping of Sn-Pb eutectic solder [J]. Scripta Materialia 2000, 42(8): 789~793.

[4] LIM Y, WANG Ch Q, BANG H S *et al*. Development of a fluxless soldering method by ultrasonic modulated laser [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 168(2): 303~307.

[5] ANTAL F, BAGGERMAN J, SCHWARZBACH D. Solder-jetted eutectic PbSn bumps for flip chip [J]. IEEE Transactions on Components and Packaging manufacturing Technologies 1998, 21(4): 371~381.

[6] YANG Y S, KIM H Y, CHUN JH. Spreading and solidification of a molten microdrop in the solder jet bumping process [J]. IEEE Transactions on Advanced Packaging 2003, 26(1): 215~221.

[7] HONG SM, KANG Ch S, JUNG J P. Plasma reflow bumping of Sn-3.5Ag solder for flux-free flip chip package application [J]. IEEE Transactions on Advanced Packaging 2004, 27(1): 90~96.

[8] HONG SM, KANG Ch S. Fluxless solder bumping in flip chip package by plasma reflow [A]. IEEE/EMAP Symposium on Electronics Materials and Packaging [C]. Piscataway, NJ: IEEE, 2001: 139~145.

[9] TIAN Y H, WANG Ch Q, GE X Sh *et al*. Intermetallic compounds formation at interface between PBGA, solder ball and Au/Ni/Cu/BT PCB substrate after laser reflow processes [J]. Materials Science and Engineering 2002, B95(3): 254~262.

[10] LIX Y, QIX J, ZENG X Y. Establishment and application of temperature field model in laser microcladding [J]. Laser Technology 2005, 29(6): 561~564 (in Chinese).