

激光重熔 PBGA 钎料球与 Au/Ni/Cu 焊盘的界面反应*

田艳红 王春青

(哈尔滨工业大学现代焊接生产技术国家重点实验室, 哈尔滨 150001)

摘要 研究了塑料球栅阵列 (PBGA) 钎料球激光重熔过程中钎料与 Au/Ni/Cu 焊盘之间的界面反应。结果表明, 界面处金属间化合物的生成与激光输入能量密切相关。当激光输入能量较小时, 焊盘上的 Au 没有完全溶解到钎料中, 界面处存在一层连续的 AuSn₂ 和一些垂直或斜向生长到钎料中的针状 AuSn₄ 化合物。增大激光输入能量, Au 完全溶解到钎料中, 界面处连续的 AuSn₂ 化合物层全部转化为针状 AuSn₄ 相, 有部分 AuSn₄ 针从界面处折断并落入钎料中。当激光功率为 18 W、激光加热时间为 400 ms 时, AuSn₄ 相在界面处消失, 以细小颗粒弥散分布在钎料内部。

关键词 塑料球栅阵列, 钎料球, 激光重熔, 界面反应

中图分类号 TG425

文献标识码 A

文章编号 0412-1961(2002)01-0095-04

INTERFACIAL REACTION BETWEEN PBGA SOLDER BALL AND Au/Ni/Cu PAD DURING LASER REFLOW

TIAN Yunhong, WANG Chunqing

National Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001

Correspondent: TIAN Yunhong, assistant professor, Tel: (0451)6413951, Fax: (0451)6416186,

E-mail: tianyh@inhuanet.com

Manuscript received 2001-06-11, in revised form 2001-09-03

ABSTRACT Interfacial reaction between plastic ball grid array (PBGA) solder ball and Au/Ni/Cu pad during laser reflow soldering was studied. Results show that the morphology of intermetallic compounds at interface is strongly influenced by laser input energy. When laser input energy was small, a continuous AuSn₂ layer and needle-like AuSn₄ are found at the interface. With the increase of laser input energy, all the continuous AuSn₂ layer converts into needle-like AuSn₄, and some needle-like AuSn₄ phases break off at the interface and fall into the solder. With the increase of laser input further, all the AuSn₄ phases disappear at the interface, distributing evenly inside the solder as small particles.

KEY WORDS plastic ball grid array (PBGA), solder ball, laser reflow, interfacial reaction

球栅阵列 (ball grid array — BGA) 封装由于具有高密度、高可靠性以及优良的电性能等诸多优点而在大规模集成电路中得到了应用^[1-7]。塑料球栅阵列 (PBGA — plastic ball grid array) 封装是 BGA 的形式之一, 其钎料球 (solder ball) 组成通常为共晶钎料 63Sn/37Pb, 通过重熔方法将共晶钎料球与基板焊盘连接起来形成钎料凸点 (solder bump)。工业上常用的重熔方法有红外辐射重熔法、热风对流重熔法等。热风和红外等重熔方法的工艺较为成熟, 但却存在着加热时间长、钎料球易偏离焊盘以及表面易氧化等缺点。由于激光具有能量密度高、加热速度快以及可以进行局部加热的特点, 使得激光重熔

方法在 PBGA 钎料触点成形方面具有着潜在的优势^[8,9]。

本文研究了 PBGA 激光重熔过程中 63Sn/37Pb 共晶钎料球与 Au/Ni/Cu 焊盘的界面反应, 探讨了激光重熔参数包括激光功率与激光加热时间对界面反应生成物形态及数量的影响。

1 实验方法

钎料球为共晶 63Sn/37Pb, 其直径为 0.76 mm。焊盘为 Au/Ni/Cu 三层结构, 首先采用超声波清洗基板表面, 然后在基板焊盘上涂钎剂以固定钎料球。采用聚焦直径为 0.6 mm 的聚焦连续 Nd : YAG 激光进行重熔。激光功率和加热时间通过计算机控制。激光重熔后对样品进行垂直切片, 使用扫描电镜分析界面微观组织形貌, 以 EDX 确定生成相组成。

* 收到初稿日期: 2001-06-11, 收到修改稿日期: 2001-09-03

作者简介: 田艳红, 女, 1975 年生, 助教, 博士生。

2 实验结果与讨论

图 1 为 PBGA 钎料球激光重熔示意图 激光重熔前钎料球内部微观组织见图 2.

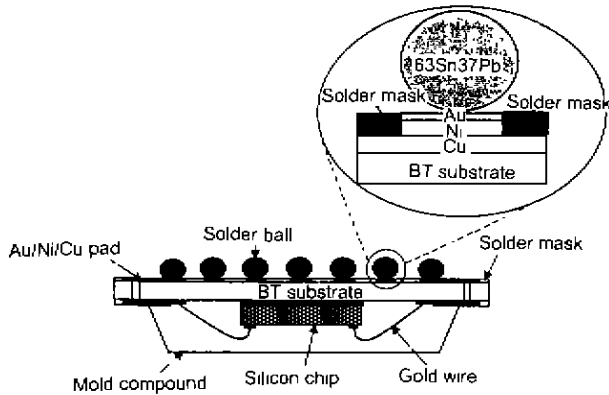


图 1 激光重熔 PBGA 钎料球示意图
Fig.1 Scheme of laser reflowing PBGA solder ball

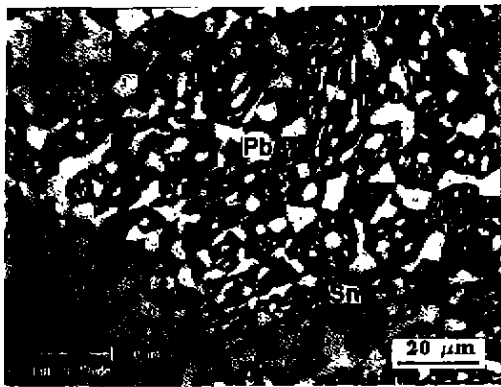


图 2 激光重熔前钎料球内部微观组织
Fig.2 Microstructure of solder ball before laser reflow

2.1 不同激光输出功率对界面反应的影响

图 3 是激光加热时间为 100 ms, 激光功率分别为 20 和 25 W 时界面处微观组织扫描电镜照片

由图 3a 可见, 当激光功率为 20 W 时, 界面处存在着连续的金属间化合物层、未溶解到钎料中的残余 Au 元素, 而且观察到一些针状组织从连续的金属间化合物层中生长出来, 垂直或倾斜于界面向钎料内部延伸. 对图 3a 中金属间化合物进行的 EDX 分析表明, 不同位置的金属间化合物中 Au 含量有所不同. 靠近镍层的金属间化合物中 Au 含量较高, 成分接近 AuSn₂, 靠近钎料的金属间化合物中 Au 含量较少, 成分接近 AuSn₃. Au-Sn 化合物组成不同表明, 因激光加热时间较短, 钎料球表面首先被加热, 故钎料球内部温度梯度较大, 导致界面处 Au 存在着不同的浓度梯度. 由于焊盘中 Au/Ni 镀层中 Au 的含量要高于熔融钎料中 Sn 的含量, 因而在靠近 Au/Ni 镀

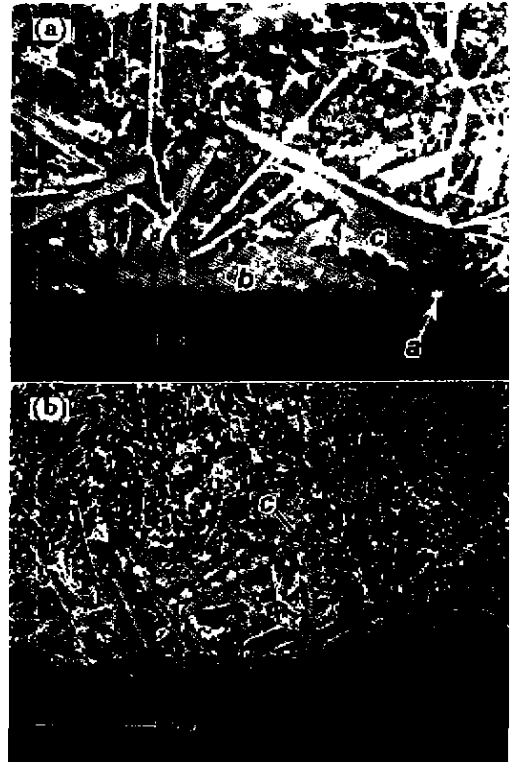


图 3 不同激光功率下钎料凸点 / 焊盘界面扫描电镜照片
Fig.3 SEM images of the solder bump/ pad interface after laser reflowing showing change of the intermetallics with laser power increase (a — Au, b — AuSn₂, c — AuSn₄)
(a) 100 ms, 20 W (b) 100 ms, 25 W

层的部位生成的 Au-Sn 化合物中 Au 含量高一些. AuSn₄ 相垂直于界面分布则表明, 钎料球内存在着较大的温度梯度. 界面处存在的残留 Au 表明, Au 不能在激光加热 100 ms 内完全溶解到钎料中. 图 3b 为激光输出功率为 25 W, 加热时间仍为 100 ms 时的扫描电镜照片. 从图可见, 焊盘上仍有少量残余的 Au, 但界面处已经不存在连续的金属间化合物层, 针状 AuSn₄ 沿着界面向横斜方向生长, 并向整个界面区域扩展, 有些 AuSn₄ 已经折断落入钎料中. 针状 AuSn₄ 在界面处折断可能是由于以下原因造成的: 钎料球在激光加热作用下熔化形成钎料凸点的过程中, 由于 Marangoni 效应的驱动而形成了强大的熔融金属流, 而 Au-Sn 化合物较脆, 因此在金属流动的作用下导致折断. 图 3b 还表明, 在远离界面的钎料内部没有 AuSn₄, 这是由于 Au 在熔融钎料中心的浓度并不足以形成 AuSn₄. 另外, 与图 2 相比, 激光重熔后钎料内部组织得到了细化.

2.2 不同激光加热时间对界面反应的影响

图 4 是激光功率为 18 W, 激光加热时间分别为 200, 300 和 400 ms 时钎料 / 焊盘界面扫描电镜照片

从图可见,随着激光加热时间的增加,界面处 $AuSn_4$ 化合物的数量减少、尺寸变小,而且 $AuSn_4$ 化合物逐渐与界面分离(图 4b)。当激光功率为 18 W,而激光加热时间为 400 ms 时,界面处已经没有 $AuSn_4$ 存在,而且钎料组织细小均匀,钎料内未观察到 $Au-Sn$ 化合物的存在(图 4c)。这可能是由于 $AuSn_4$ 在熔融金属流动的作用下完全破碎而变成细小的 $AuSn_4$ 颗粒,并均匀分布在钎料内部,难以发现其存在。

综上所述,激光重熔条件下钎料 / 焊盘界面处发生

了两种反应:一是 Au 向钎料中的溶解;二是 $Au-Sn$ 化合物的生成。Au 在熔融钎料中的溶解速率非常快,随着温度的升高而增大,并且遵循 Arrhenius 方程^[10](图 5)。由此计算出 209 °C 时 Au 在熔融钎料中的溶解速率约为 1.3 $\mu m/s$ 。因此,Au 在激光加热初期就已经开始向钎料中溶解,随着溶解的继续进行,界面处的 Au 达到溶解极限后就形成了 $Au-Sn$ 化合物相。增大激光输入能量,钎料球内部温度增加,Au 在熔融钎料中的溶解速率增大,所以全部 Au 溶解到钎料球中,与 Sn 反应生成 $Au-Sn$ 化合物。由于熔融钎料金属的流动和 $Au-Sn$ 化合物本身的脆性,生成针状 $AuSn_4$ 化合物从界面折断落入钎料中。由 Pb-Sn-Au 三元合金相图(图 6)^[11]可知,Au 在 209 °C 的熔融钎料中溶解极限约为 4%(原子分数)。在熔融共晶钎料凝固过程中首先析出 $AuSn_2$,随着合金成分沿液相线的改变,熔融钎料的冷却将遵循下述

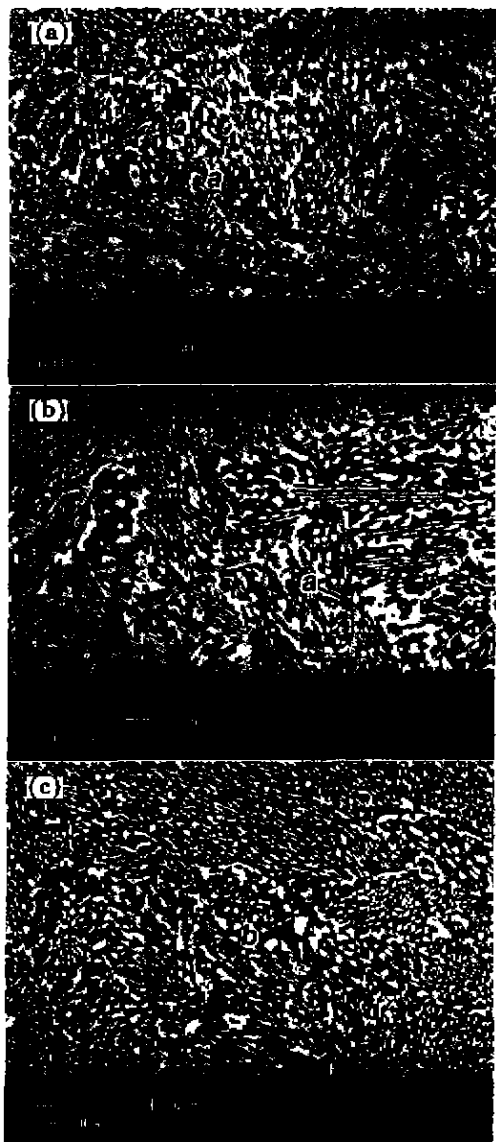


图 4 不同激光加热时间时钎料凸点 / 焊盘界面扫描电镜照片
 Fig.4 SEM images of the solder bump/ pad interface reflowed by laser for different laser heating times (a — $AuSn_4$, b — Sn-Pb solder) showing the change of $AuSn_4$ phase
 (a) 200 ms, 18 W (b) 300 ms, 18 W
 (c) 400 ms, 18 W

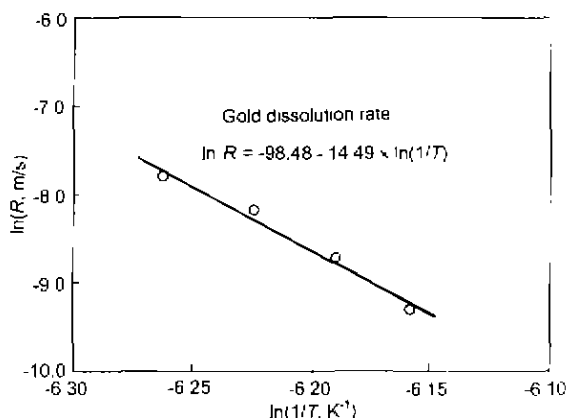


图 5 Au 在钎料中的溶解速率曲线^[10]
 Fig.5 Dissolution rate of Au in eutectic solder vs temperature^[10]

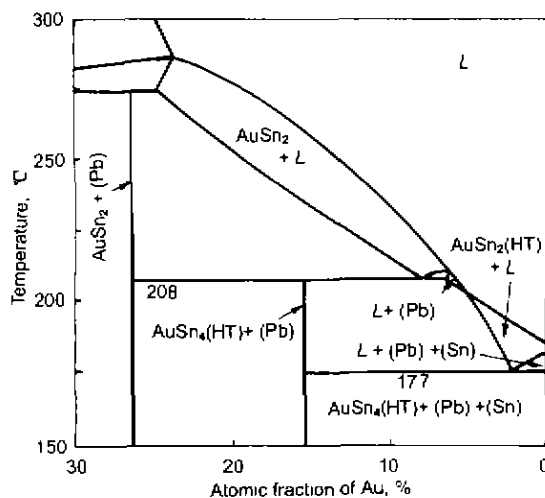


图 6 Au-Sn-Pb 三元合金相图^[11]
 Fig.6 Ternary phase diagram of Au-Sn-Pb^[11]

凝固程序: 首先, 已经形成的 AuSn_2 继续生长; 然后, 在 $208\text{ }^\circ\text{C}$ 将发生准包晶反应: $L + \text{AuSn}_2 \rightarrow \text{AuSn}_4 + (\text{Pb})$, 故 AuSn_2 / 钎料界面处的 AuSn_2 转化为 AuSn_4 ; 随后发生共晶反应 $L \rightarrow (\text{Pb}) + \text{AuSn}_4$. 针状共晶结构的 AuSn_4 和 Pb 将在新形成的 AuSn_4 层上生成. 剩余液相在 $177\text{ }^\circ\text{C}$ 时在共晶反应中凝固: $L \rightarrow (\text{Sn}) + (\text{Pb}) + \text{AuSn}_4$.

3 结论

(1) 钎料球在激光重熔的瞬间与焊盘发生了反应. 在界面处形成了较厚的 Au-Sn 化合物层. 同时钎料内部组织得到了细化.

(2) 界面处金属间化合物的形貌、数量及尺寸与激光输入能量密切相关. 随着激光输入能量的增大, AuSn_4 的形态由连续层状变为针状, 最后变为细小的颗粒弥散分布在钎料内部.

参考文献

- [1] Lan H L. *Ball Grid Array Technology*. New York: McGraw Hill, 1995: 23
- [2] Mei Z, Kaufman M, Eslambolchi A, Johnson P. *Proc 45th IEEE/EIA Electronic Components and Technology Conf.* Washington D C, 1998: 952
- [3] Ferguson M E, Fieselman C D, Elkins M A. *IEEE Trans Compon Manuf Technol*, 1997; 20C(7): 188
- [4] Erich R, Coyle R J, Wenger G M, Primavera A. *Proc Int Electronic Manufacturing Technology Symp.* Texas 1999: 216
- [5] Bradley E, Banerji K. *Proc 45th IEEE/EIA Electronic Components and Technology Conf.* Hawaii 1995: 1028
- [6] Ho C E, Chen Y M, Kao C R. *J Electron Mater* 1999: 28: 1231
- [7] Ho C E, Zheng R, Luo G L, Lin A H, Kao C R. *J Electron Mater*, 2000; 29: 1175
- [8] Lee Jong-Hyun, Park Daejin, Kim Yong-Seog. *J Electron Mater*, 2000; 29: 1153
- [9] Lee Jong-Hyun, Lee Yong-Ho, Kim Yong-Seog. *Scr Mater*, 2000: 42: 789
- [10] Kim P G, Tu K N. *J Appl Phys*. 1996, 80: 3822
- [11] Zribi A, Chronik R R, Persthus R, Teed K, Zavalij L. *IEEE Trans Compon Manuf Technol*, 2000, 23(6): 383