

[文章编号] 1004- 0609(2002) 03- 0471- 05

激光与红外重熔对 63Sn37Pb/ 焊盘界面微观组织的影响^①

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) 钎料球激光重熔以及红外二次重熔过程中 63Sn37Pb 共晶钎料与 Au/ Ni/ Cu 焊盘之间界面反应。结果表明: 钎料凸点/ 焊盘界面处金属间化合物的形貌和数量与激光输入能量密切相关。随着激光输入能量的增大, Au 完全溶解到钎料中, 界面处连续分布的 Au-Sn 化合物层全部转变为针状 AuSn₄ 相, 部分针状 AuSn₄ 从界面处折断并落入钎料中, 最后变为细小的颗粒状弥散分布在钎料内部。红外二次重熔后焊点界面处的针状 AuSn₄ 溶解到钎料中, 钎料组织由原来的粒状结晶结构变为层片状结晶结构, 焊点界面处出现了不同形态的粗大富 Pb 相。

[关键词] 钎料球; 激光重熔; 钎料凸点; 红外重熔; 焊点

[中图分类号] TG 111

[文献标识码] A

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, 2]。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, 与钎料球相连的焊盘具有 Au/ Ni/ Cu 三层结构。将共晶钎料球加热熔化并与焊盘连接起来形成钎料凸点(Solder Bump) 的过程称为重熔。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。由于激光具有能量密度高、加热速度快以及可进行局部加热的独特特性, 使得激光重熔方法在 PBGA 钎料凸点成形方面具有潜在的优势^[3, 4]。设计一种新的重熔方法的关键在于获得焊点的可靠性, 而焊点可靠性与钎料/ 焊盘界面处的微观组织密切相关^[5~ 10]。因此研究重熔过程中钎料/ 焊盘界面反应对于正确理解焊点的可靠性非常重要, 同时也有助于寻找和优化重熔工艺参数。

本文作者研究了 PBGA 钎料球激光重熔 63Sn37Pb 钎料与 Au/ Ni/ Cu 焊盘界面的反应, 探讨了激光输入能量对界面反应生成物形态及数量的影响。由于激光重熔后获得的钎料凸点需经历电子封装器件组装过程中的二次重熔, 因此本文对红外二次重熔后获得的焊点(Solder joint) 界面微观组织变化进行了研究。

1 实验

本研究采用的焊盘为 Au/ Ni/ Cu 三层结构, 钎

料球为共晶 63Sb37Pb, 直径为 0. 76mm。首先采用超声波清洗基板表面, 然后在焊盘上涂钎剂以固定钎料球。采用聚焦直径为 0. 6mm 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。激光重熔示意图如图 1 所示。采用红外炉对激光重熔后获得的钎料凸点进行二次重熔, 红外重熔工艺为加热温度 225 ℃, 超过钎料熔点(183 ℃) 加热时间 53 s。将激光重熔获得的钎料凸点和红外二次重熔后获得的焊点进行垂直切片, 用扫描电镜分析界面组织形貌, 用 EDX 确定生成相化学组成。

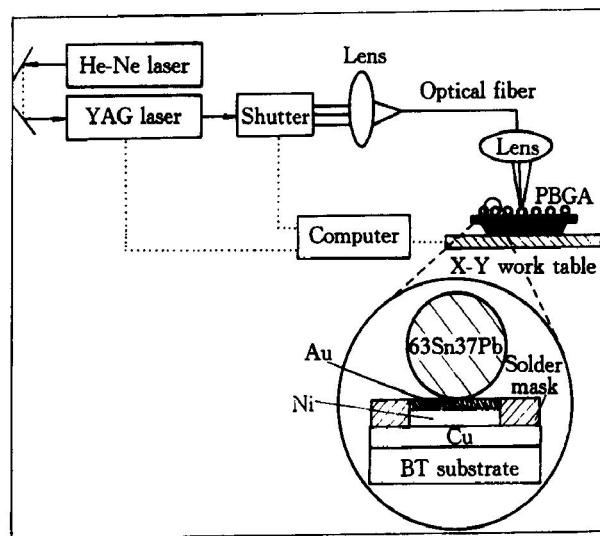


图 1 PBGA 钎料球激光重熔示意图

Fig. 1 Scheme of laser reflow soldering of PBGA solder ball

① [收稿日期] 2001- 06- 13; [修订日期] 2001- 09- 04

[作者简介] 田艳红(1975-), 女, 助教, 博士研究生。

2 结果与讨论

2.1 激光重熔钎料凸点界面微观组织

图 2 所示为激光功率 20 W, 激光加热时间 100 ms 时的钎料凸点/焊盘界面扫描电镜照片。可见界面处存在着连续金属间化合物层、未溶解的残余 Au 元素, 一些针状组织从连续金属间化合物层中生长出来, 并垂直或倾斜于界面向钎料内部扩展。 AuSn_4 相垂直于界面分布表明钎料球内存在着较大的温度梯度, 而温度梯度是由激光快速加热造成的。对图 2 中金属间化合物层进行 EDX 分析发现不同部位的金属间化合物中 Au 含量有所不同。靠近 Ni 层的 A 点处的金属间化合物 Au 含量较高, 这是由于焊盘中 Au 镀层提供的 Au 元素要高于熔

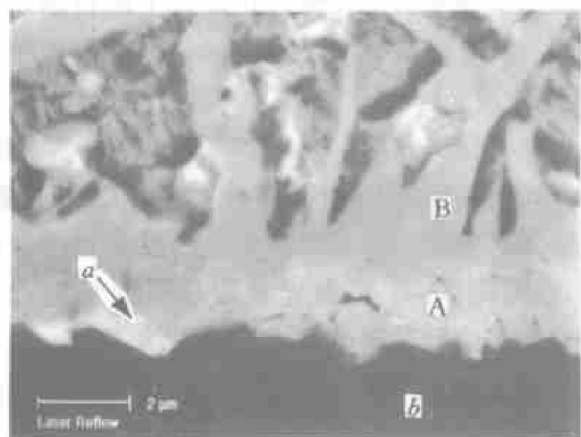


图 2 钎料凸点界面扫描电镜照片

Fig. 2 SEM image of solder bump/pad interface reflowed by laser for 100 ms under 20 W

a—Au; b—Ni

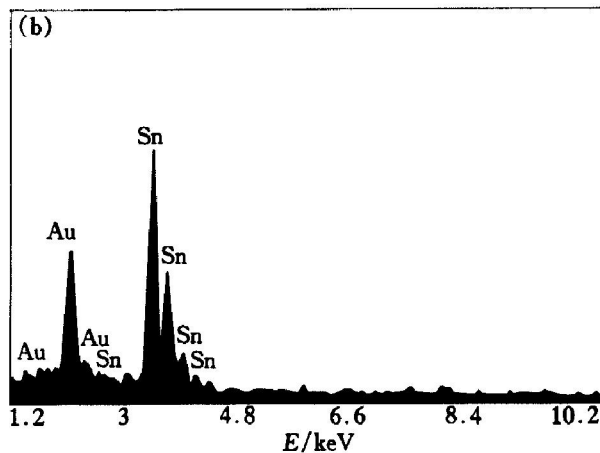
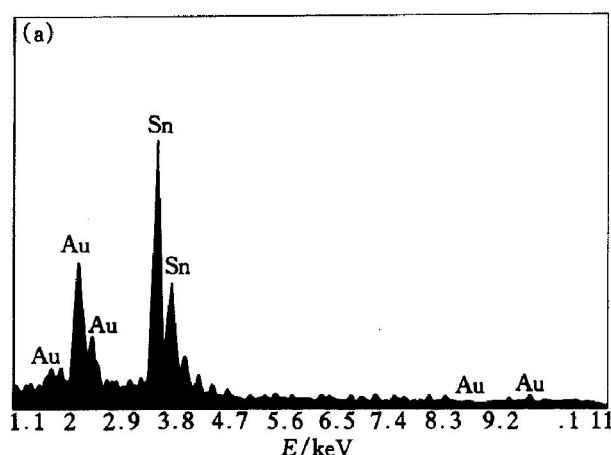


图 3 钎料凸点/焊盘界面金属间化合物 EDX 分析图谱

Fig. 3 EDX spectrum of intermetallic compounds at solder bump/pad interface

(a)—EDX spectrum of point A; (b)—EDX spectrum of point B

融钎料中提供的 Sn 元素, 因而在靠近 Au 的部位生成的 Au-Sn 化合物中含 Au 量高一些。靠近钎料的 B 点处的金属间化合物中 Au 含量较少, 成分接近 AuSn_4 , EDX 分析图谱见图 3。

2.2 红外二次重熔焊点界面微观组织

图 4 所示为激光输入能量相对较小时激光重熔以及红外二次重熔后钎料与焊盘界面微观组织扫描电镜照片。

图 4(a) 与图 2 所示是激光重熔工艺相同的钎料凸点界面在放大倍数不同时的照片。图 4(b) 所示为经过红外二次重熔获得的焊点界面微观组织。由图 4(b) 可以看出, 经过红外重熔后界面处的所有 Au-Sn 化合物全部转化为 AuSn_4 , 且在界面处呈断续分布。针状 AuSn_4 脱离界面溶入钎料中, 其形态由针状变为棒状。图 4(c) 所示为激光功率为 25 W、而加热时间为 100 ms 时的钎料凸点界面扫描电镜照片。从图 4(c) 可见, 仍旧有少量 Au 没有完全溶解到钎料中去, 针状 AuSn_4 沿着界面向横斜方向生长, 并向整个界面区域扩展, 由于熔融金属的流动以及 AuSn_4 本身的脆性, 有些 AuSn_4 从界面处折断落入钎料中。图 4(d) 所示为经过红外二次重熔后的焊点界面微观组织。由图 4(d) 可见, 界面处仍旧存在少量的 AuSn_4 , 针状 AuSn_4 全部落入钎料中, 与图 4(c) 相比, AuSn_4 的数量有所减少, 而且钎料结晶结构也发生了变化, 由原来的粒状结晶变为层片状结晶结构。

图 5 所示为激光输入能量相对较大时激光重熔以及激光/红外二次重熔后钎料与焊盘界面微观组织扫描电镜照片。

图 5(a) 和 (c) 所示为激光功率 18 W 而激光加热时间分别为 300 ms 和 400 ms 时的扫描电镜照

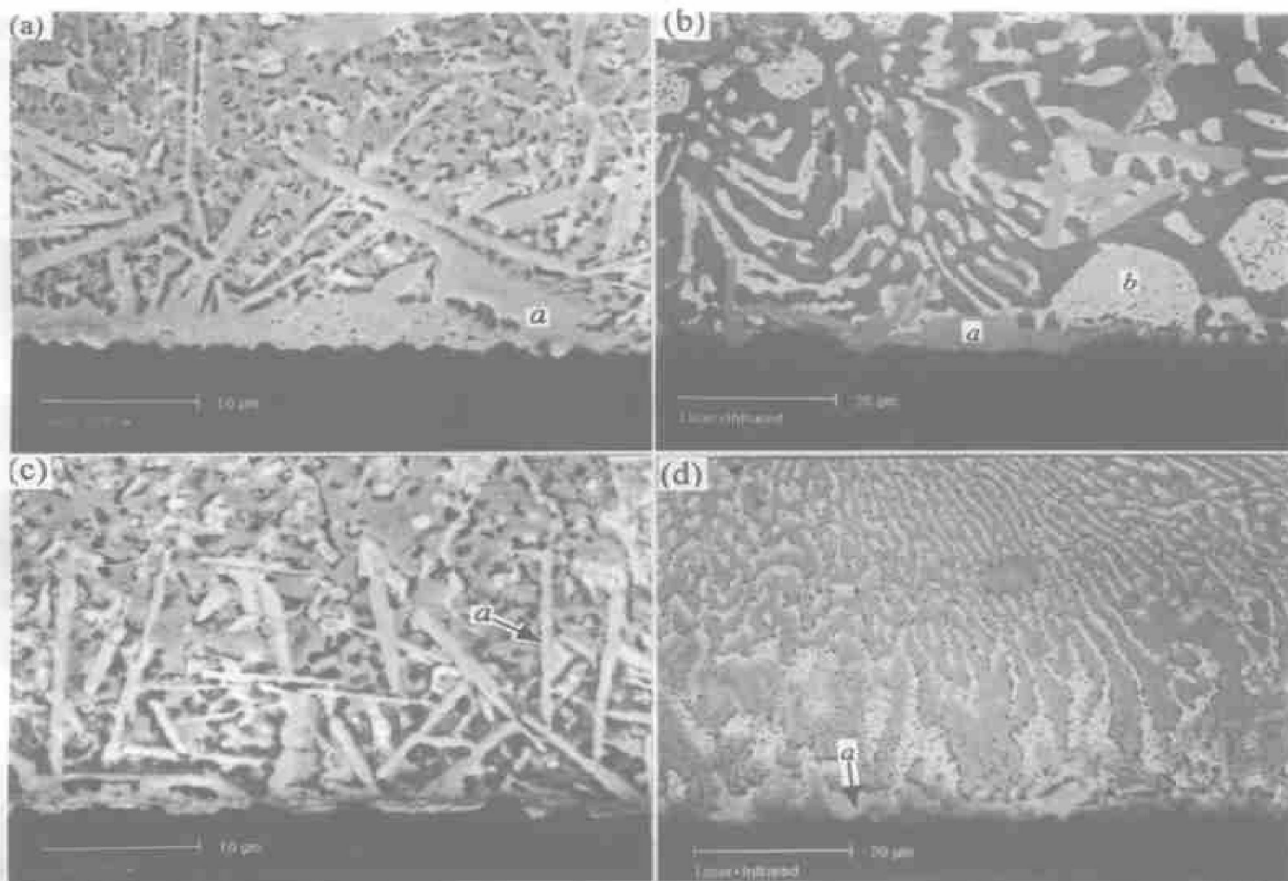


图 4 激光及红外二次重熔界面微观组织扫描电镜照片

Fig. 4 SEM images of solder/pad interface achieved by laser and infrared secondary reflow soldering

(a) —Laser reflow (100 ms, 20 W); (b) —Laser reflow (100 ms, 20 W) and infrared reflow (225 °C);

(c) —Laser reflow (100 ms, 25 W); (d) —Laser reflow (100 ms, 25 W) and infrared reflow (225 °C)

a —AuSn₄; b —Pb rich

片。由图 5(a) 可见随着激光加热时间的增加, 界面处 AuSn₄ 化合物的数量减少, 尺寸变小, 而且 AuSn₄ 化合物逐渐与界面分离。由图 5(c) 可见当激光功率为 18 W 而激光加热时间为 400 ms 时, 界面处已经没有 AuSn₄ 存在, 而且钎料组织细致均匀, 钎料内没有发现 Au-Sn 化合物的存在。这种现象的发生可能是由于 AuSn₄ 在熔融金属流动的作用下完全破碎而变成细小的 AuSn₄ 颗粒, 并均匀分布在钎料内部, 在小放大倍数下难以发现其存在。经过红外二次重熔后的焊点界面微观组织照片如图 5(b) 和(d) 所示。当激光功率为 18 W 而激光加热时间为 300 ms 时, 所获得的钎料凸点经过红外二次重熔后焊点界面微观组织表明, 钎料内部 AuSn₄ 数量变少, 钎料组织由原来的粒状结晶结构变为层片状结晶结构, 而且在界面附近出现了大量的富 Pb 相。当激光功率为 18 W 而激光加热时间为 400 ms 时, 所获得的钎料凸点经过红外重熔后的焊点界面微观组织表明界面区域存在花状富 Pb 相组织, 而在此放大倍数下的钎料内部仍旧没有发现 AuSn₄

相的存在。

由此可见, 激光重熔过程中钎料与焊盘界面发生了两种反应: 一个是 Au 向钎料中的溶解; 另一个是 Au-Sn 化合物的生成。由于 Au 在熔融钎料中的溶解速率非常快, 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, 界面处的 Au 元素达到了溶解极限后生成了 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, 所以全部的 Au 溶解到了钎料球中与 Sn 反应生成 Au-Sn 化合物。由于熔融钎料金属的流动和 AuSn₄ 本身的脆性, 生成的针状的 AuSn₄ 化合物从界面折断落入钎料中。

红外二次重熔后焊点界面微观组织发生了明显的变化, 而且二次重熔后的界面组织受激光重熔的工艺参数影响。对激光输入能量较小时获得的钎料凸点进行二次重熔后, 在界面连续分布的 Au-Sn 化合物转化为断续分布的 AuSn₄, 针状 AuSn₄ 脱离界面落入钎料中, 形态由针状变为棒状。AuSn₄ 的数量由于溶解到钎料中而有所减少, 钎料组织由原来

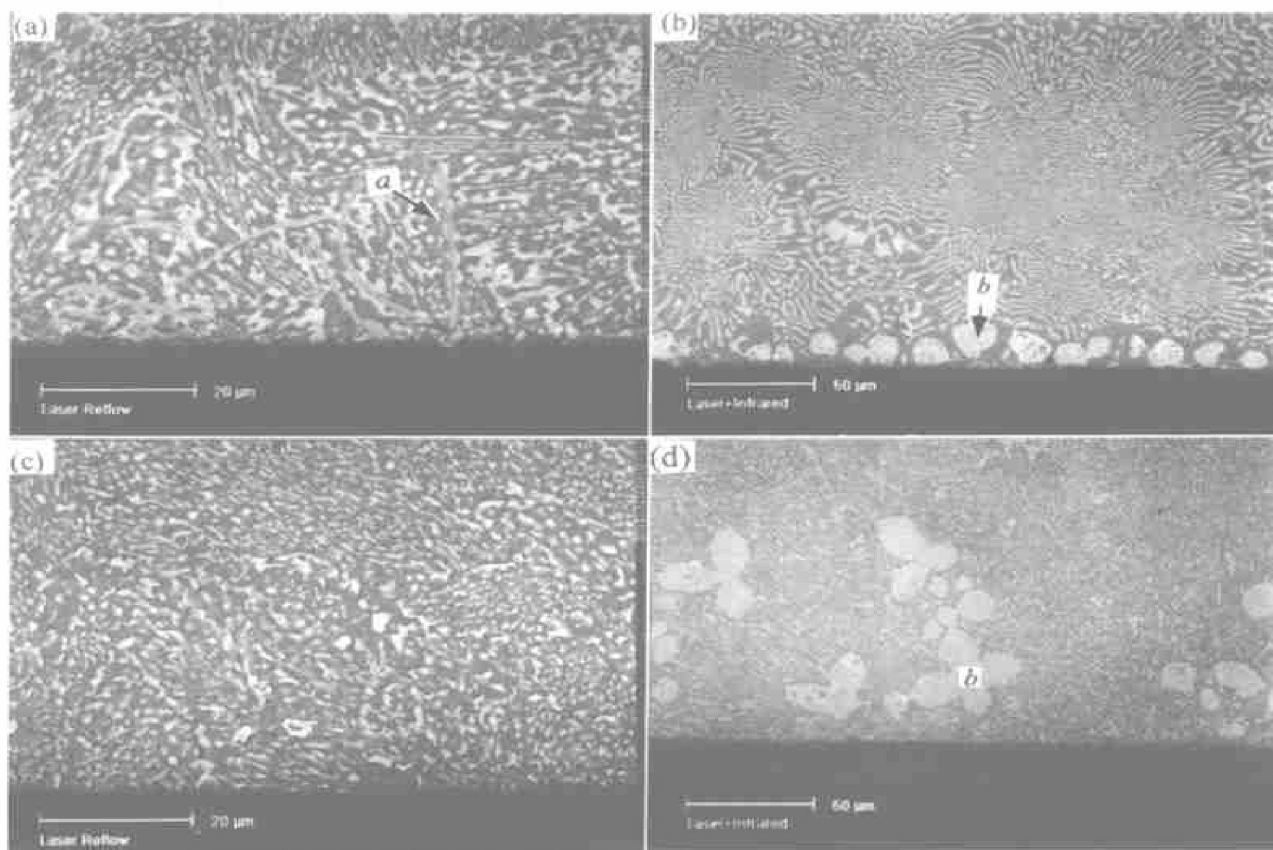


图 5 激光及红外二次重熔界面微观组织扫描电镜照片

Fig. 5 SEM images of solder/pad interface achieved by laser and infrared secondary reflow soldering

(a) —Laser reflow (300 ms, 18 W); (b) —Laser reflow (300 ms, 18 W) and infrared reflow (225 °C);

(c) —Laser reflow (400 ms, 18 W); (d) —Laser reflow (400 ms, 18 W) and infrared reflow (225 °C)

a —AuSn₄; *b* —Pb rich

的粒状结晶结构变为层片状结晶结构。激光输入能量较大时获得的钎料凸点进行红外二次重熔后,焊点界面附近出现了大量不同形态的富 Pb 相。

3 结论

1) 激光重熔后钎料凸点界面金属间化合物形态和数量与激光输入能量密切相关。随着激光输入能量的增大, AuSn₄ 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。

2) 红外二次重熔后焊点界面微观组织发生了明显的改变,焊点界面处针状 AuSn₄ 溶解到钎料中,并且出现了不同形态的粗大富 Pb 相。钎料组织由原来的粒状结晶结构变为层片状结晶结构。

[REFERENCES]

- [1] Lau J H, Erasmus S. Review of packaging methods to complement IC performance [J]. *Electronic Packaging & Production*, 1993, 6: 51– 56.
- [2] Lau H L. *Ball Grid Array Technology* [M]. New York: McGraw Hill, 1995. 1: 23– 60.
- [3] Lee J H, 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.
- [4] Lee J H, Lee Y H, Kim Y S. Fluxless laser reflow bumping of Sn–Pb eutectic solder [J]. *Scripta Materialia*, 2000, 42 (8): 789– 793.
- [5] Erich R, Coyle R J, Wenger G M, et al. Shear testing and failure mode analysis for evaluation of BGA ball attachment [A]. *Proc of Int Electron Manufact Technol Symp* [C]. 1999. 16– 22.
- [6] Bradley E, Banerji K. Effect of PCB finish on the reliability and wettability of ball grid array package [A]. *Proc 45th Electron Comp Technol Conf* [C]. 1995. 1028– 1038.
- [7] Mei Z, Kaufman M, Eslambolchi A, et al. Brittle interfacial fracture of PBGA packages soldered on electroless Ni/immersion Au [A]. *Electron Comp Technol Conf* [C]. 1998. 952– 956.
- [8] Ferguson M E, Fieselman C D, Elkins M A. Manufacturing concerns when soldering with Au plated component

- leads or circuit board pads [J]. IEEE Trans Comp Manufact Technol C, 1997, 20(7): 188– 193.
- [9] Zeng K, Kivilahti J K. Use of Multicomponent phase diagrams for predicting phase evolution in solder/ conductor systems [J]. Journal of Electronic Materials, 2001, 30 (1): 117– 122.
- [10] Zribi A, Chromik R R, Persthus R, et al. Solder metallization interdiffusion in microelectronic interconnects [J]. IEEE Trans Comp Manufact Technol 2000, 23 (6): 383– 387.

Effects of laser and infrared secondary reflow on microstructure of 63Sn37Pb/ pad interface

TIAN Yan-hong, WANG Chun-qing

(State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology,
Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

[Abstract] Laser and infrared secondary reflow have obvious effects on the interfacial microstructure of 63Sn37Pb eutectic solder and Au/ Ni/ Cu pad. The results show that the morphology of intermetallic compounds at interface is strongly influenced by laser input energy. With increase of laser input energy, Au dissolves into the molten solder completely, and continuous Au-Sn intermetallics changes into needle-like AuSn₄ phase. The needle-like AuSn₄ is broken off from the interface and falls into the solder, and disappears from the interface finally. After secondary infrared reflow, needle-like AuSn₄ dissolves into the solder as rod-shape. Microstructure of solder bulk changes from grain shape into lamella shape, and different shapes of Pb-rich islands appear at the interface.

[Key words] solder ball; laser reflow; solder bump; infrared reflow; solder joint

(编辑 何学锋)