

回流焊峰值温度对混装 BGA 焊点的影响研究

张艳鹏, 王威, 王玉龙, 张雪莉

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 针对当前大量使用有铅焊料焊接无铅 BGA 的实际现状, 通过调控有铅制程回流曲线的峰值温度, 研究其对混装 BGA 焊点坍塌高度、空洞率及微观组织的影响。结果表明, 峰值温度从 210 °C 提升至 225 °C, 无铅 BGA 焊球能够全部充分坍塌且高度保持一致; 峰值温度为 210 °C 时, 混合焊点内的空洞率最低, 随着峰值温度的升高, 空洞尺寸和空洞率均有所增加; 峰值温度为 215 °C 时的微观组织最细小且尺寸分布最均匀, 继续提升峰值温度, 微观组织尺寸会随之增大。因此使用有铅焊料焊接无铅 BGA 的最佳峰值温度为 215 °C, 与有铅制程保持一致。

关键词: 球栅阵列封装; 峰值温度; 混装焊点; 坍塌高度; 微观组织; 空洞

DOI: 10.14106/j.cnki.1001-2028.2020.05.013

中图分类号: TN605 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2028(2020)05-086-04

Effect of peak temperature on BGA mixed solder joint during reflow process

ZHANG Yanpeng, WANG Wei, WANG Yulong, ZHANG Xueli

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Given the present situation of lead-free BGA welding with SnPb solder in large quantities, the peak temperatures of the reflow curve in the traditional SnPb assembly process were adjusted to investigate their effect on the collapse height, void and microstructure of BGA mixed solder joint. The results show that the lead-free BGA solder balls can fully collapse and maintain the same heights when the peak temperature increases from 210 °C to 225 °C. When the peak temperature is 210 °C, the cavity rate in the mixed solder joint is the lowest. However, the cavity rates and size are both increased as the peak temperature increases. When the peak temperature is 215 °C, the microstructure is smallest, and the size distribution is the most uniform. If the peak temperature continues to rise, the microstructure will increase accordingly. Therefore, the optimal peak temperature for lead-free BGA welding with SnPb is 215 °C, which is consistent with that in the SnPb assembly process.

Key words: BGA (ball grid array package); peak temperature; mixed solder joint; collapse height; microstructure; void

传统的锡铅 (Sn63Pb37) 共晶合金由于其低熔点、低成本及良好的润湿性而广泛应用于电子装联。但金属铅是一种有毒物质, 污染环境的同时还会危及人身健康, 因此为确保环境及人身安全, 日本、欧盟等相继立法要求电子产品无铅化^[1]。我国自 2007 年 3 月 1 日起开始逐渐推进禁止或限制铅等六种有害物质的使用^[2], 但在彻底实现无铅化前, 有铅-无铅混装仍普遍存在, 特别是在禁限用指令中享有豁免权的军工、航天和医疗等高可靠性电子

领域^[3]。在众多已开发的无铅焊料中, SnAgCu 合金被认为是 SnPb 共晶合金的最佳替代者^[4], 并已广泛应用于电子产品上, 常见的就是以焊球的方式应用于球栅阵列封装 (BGA) 中。

使用有铅焊膏焊接无铅器件势必引入回流曲线峰值温度如何设置的问题, 研究表明, 为了实现焊料与焊盘间形成冶金结合, 回流焊的峰值温度一般需高于焊料熔点 30~40 °C^[5], 针对锡铅共晶合金的有铅回流曲线峰值温度一般为 215 °C 左右, 远低于

收稿日期: 2020-01-20

通信作者: 张艳鹏

作者简介: 张艳鹏(1987-), 男, 内蒙古赤峰人, 助理研究员, 硕士, 主要从事电子封装相关材料特性研究。

SnAgCu 合金焊接过程所需的最低峰值温度 230 °C, 由此可见, 为兼顾两种焊料的温度特性, 有铅-无铅混装的工艺窗口变小, 难度较大。因此本文采用有铅焊料焊接无铅 BGA 器件, 通过调控有铅制程回流曲线的峰值温度, 研究其对无铅 BGA 混装焊点的影响。

1 实验

1.1 回流曲线设置

为研究有铅制程回流曲线的峰值温度对混装 BGA 的影响, 设计如表 1 所示的对比试验, 4 条回流曲线在预热区和保温区具有一致的升温速率和温度分布, 通过调节峰值温度停留时间以使液相时间尽量接近, 实际测量的峰值温度分别为 211.0, 215.5, 221.0 和 226.0 °C, 相应的液相时间分别为 77, 81, 88 和 76 s, 均满足有铅制程对回流曲线参数的要求, 具体如图 1 所示。

表 1 混装 BGA 回流曲线参数表

Tab. 1 Reflow parameters for mixed BGA solder assembly

序号	峰值温度(°C)		设置峰值停留时间(s)	实测液相时间(s)
	设置值	实测值		
1	210	211.0	25	77
2	215	215.5	22	81
3	220	221.0	20	88
4	225	226.0	15	76

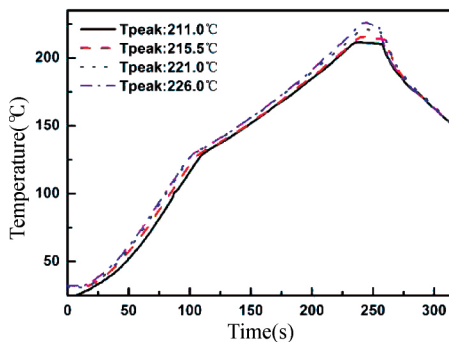


图 1 混装 BGA 回流焊焊接实测曲线

Fig. 1 The metrical profiles for mixed BGA solder assembly

1.2 实验样品

所用 PBGA 的焊球成分为 Sn96.5Ag3Cu0.5 (SAC305), 标称熔点为 217 °C, 焊球直径为 0.6 mm, 间距为 1.0 mm; 焊膏为钢泰公司的 SMQ92J 型 Sn63Pb37 共晶免清洗焊膏, 其中固体质量分数为 90%(体积分数为 50%); 实验用印制板焊盘直径

为 0.48 mm, 焊盘表面采用热风整平锡铅工艺; 印膏用钢网使用激光加工, 与印制板焊盘尺寸按 1:1 开孔, 钢网厚度为 0.12 mm。

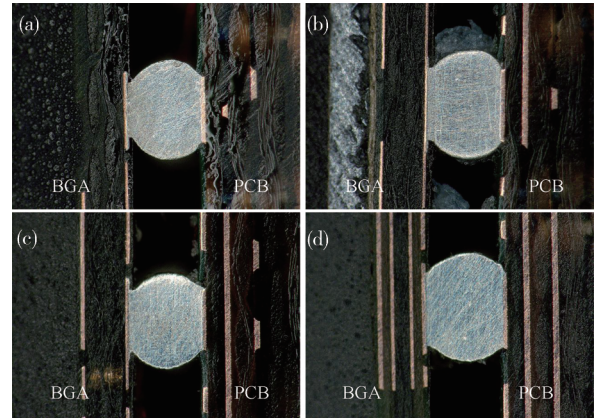
1.3 实验方法

回流设备为德国 ERSA IR650 型暗红外返修工作站; X 光检测设备为美国 GE 公司的 Phoenix micromelx 型 X 光机; 焊点形貌使用基恩士三维超景深观测系统进行拍摄; 焊点金相组织使用上海光学仪器一厂的 10XB-PC 型金相显微镜进行记录。

2 结果与分析

2.1 焊点剖面检测结果

图 2 所示为不同峰值温度下所得 BGA 焊点的剖面图片, 4 种峰值温度下的焊球坍塌高度一致, 回流焊后的焊点高度全部约为 0.44 mm; 焊点呈现典型的“腰鼓”状形貌, 焊点边界圆滑清晰; 焊点与 BGA 器件本体侧和印制板侧焊盘间的润湿结合良好, 即使峰值温度为 211 °C 时, 焊球与焊料间也未观察到分层现象, 说明熔点为 183 °C 的 SnPb 共晶焊料已经与熔点为 217 °C 的 SAC305 无铅焊球熔融为一体。



(a) 210 °C; (b) 215 °C; (c) 220 °C; (d) 225 °C

图 2 不同峰值温度下的 BGA 焊点剖面图片

Fig. 2 Sectional views of BGA solder joint prepared at different peak temperatures

2.2 焊点 X-ray 检测结果

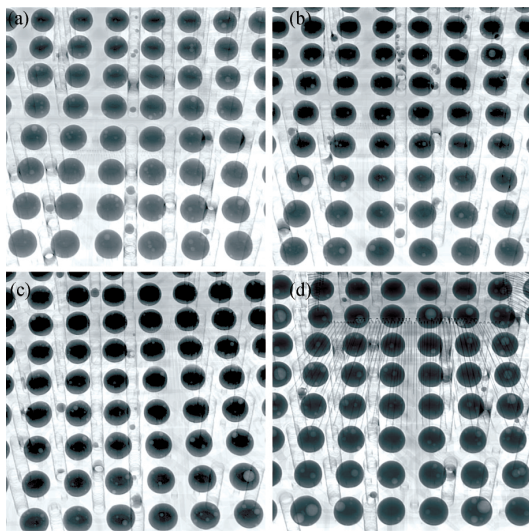
使用 X 光检测设备对回流焊后的 BGA 焊点进行检查, 结果如图 3 所示。4 种峰值温度下的 BGA 焊点大小均匀一致, 且可明显观察到焊点与 BGA 本体侧和印制板侧焊盘润湿结合而形成的双“鸭蛋圆”形貌, 焊点间零星的黑色阴影是由印制板生产过程中过孔内的杂质引入的。峰值温度为 210 °C 时

所得焊点内部分布有零散的小空洞, 经计算空洞率约为 8%, 满足 GJB 4907 中空洞应不大于焊点体积的 15%^[6] 和 IPC 7095B 内空洞面积需小于阴影面积的 35% 或空洞直径不能大于阴影直径 50%^[7] 的标准要求。

随着峰值温度的增加, BGA 焊球内的空洞面积和比例均有增加的趋势, 峰值温度为 215, 220 和 225 °C 时的空洞率分别为 14%, 19% 和 32%, 虽然空洞面积比合格, 但峰值温度为 225 °C 时的最大空洞直径已超出焊点阴影直径的 50%。这可能是由于随着峰值温度的升高, 回流曲线的预热区和保温区的温度都会随之增加, 导致达到焊膏熔点的时间减少, 进而使得气体的逸放时间缩短, 焊膏熔融后这些未及时逸散的气体即形成气泡和空洞。较高峰值温度下空洞尺寸增加的另外一个可能原因是温度对气体压力的影响, 根据克拉伯龙方程:

$$PV = nRT \quad (1)$$

式中: P 为气体压强; V 为气体体积; n 为物质的量; T 为热力学温度; R 为气体常数。即在相同体积条件下, 等量气体产生的压强与气体的温度成正比, 因此为维持气泡与焊料表面张力间的平衡, 较高峰值温度下气泡的体积会随之增大, 以保持气泡向焊料产生的压强不变。



(a) 210 °C; (b) 215 °C; (c) 220 °C; (d) 225 °C

图 3 不同峰值温度下 BGA 焊点 X 光图片

Fig. 3 X-ray views of BGA solder joints prepared at different peak temperatures

2.3 微观组织形貌检测结果

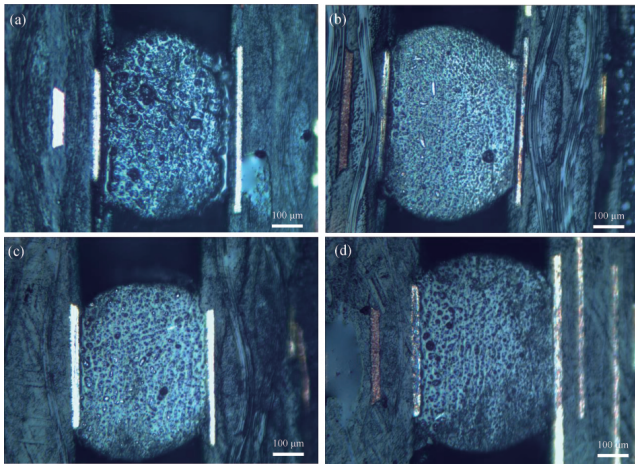
图 4 所示为 4 种峰值温度下所得 BGA 混合焊点在金相显微镜下的微观组织形貌。当峰值温度为 210 °C 时, 焊点微观组织较为粗大且尺寸分布较宽; 提升峰值温度至 215 °C, 焊点内的微观组织变得细小的同时, 微观组织尺寸分布也越均匀, 说明铅元素在回流过程中已经充分扩散进入 SAC 无铅焊球内部; 分别将峰值温度调整为 220 °C 和 225 °C, 微观组织尺寸分布虽然较为均匀, 但微观组织较 215 °C 所得焊点的尺寸偏大, 这可能是由于峰值温度升高导致微观组织持续长大的缘故。回流焊峰值温度低于 217 °C 时, SAC305 无铅焊球不会融化, 但随着熔融的共晶焊料与无铅焊球间的润湿结合, 两者之间互相会发生元素扩散, 特别是铅向 SnAgCu 焊球内的扩散会降低焊球的熔点^[8], 在 $W_{Ag} < 3.5\%$ 、 $W_{Cu} < 0.7\%$ 和 $W_{Pb} < 38\%$ 的条件下, 混合焊点的熔点可通过下述公式进行估算^[9]:

$$T = 232 - 3.1W_{Ag} - 7.9W_{Cu} - 1.3W_{Pb} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2)$$

式中: 232 为纯锡的熔点; W_{Ag} 、 W_{Cu} 和 W_{Pb} 为三种元素在焊点内的质量分数。

单个直径为 0.6 mm SnAgCu 焊球的质量约为 8.3353×10^{-4} g, 直径为 0.48 mm、厚度为 0.12 mm 饼状焊膏内的 SnPb 共晶焊料的质量约为 9.1202×10^{-5} g, 经过计算, 两者充分混合后的焊点熔点约为 215.3 °C, 这与峰值温度为 215 °C (实测 215.5 °C) 时所得的金相图片相吻合。且由印制板侧焊盘向器件本体侧焊盘方向, 铅元素充分扩散前的浓度会逐渐降低, 距离印制板焊盘越近, 混合焊点的熔点越低, 因此 210 °C 的峰值温度也可实现有铅焊料与 SAC305 无铅焊球的部分融合, 但不足以使得混合焊点充分熔融, 元素扩散不均匀导致微观组织尺寸偏大且粒径分布变宽。

保持回流曲线峰值温度为 215 °C 不变, 缩短液相时间至 50 s 所得 BGA 混合焊点的金相及 X 光检测结果如图 5 所示。由 X 光图可知, 混合焊点内的空洞率符合标准要求, 且无虚焊、冷焊等焊接缺陷。混合焊点的微观组织尺寸分布均匀, 但尺寸较液相时间为 81 s 所得的焊点偏大, 这是由于液相时间缩短后, 元素在焊点内的扩散不充分所致。



(a) 210 °C; (b) 215 °C; (c) 220 °C; (d) 225 °C

图 4 不同峰值温度下的 BGA 焊点的金相图片

Fig. 4 Metallographic of solder joints prepared at different peak temperatures

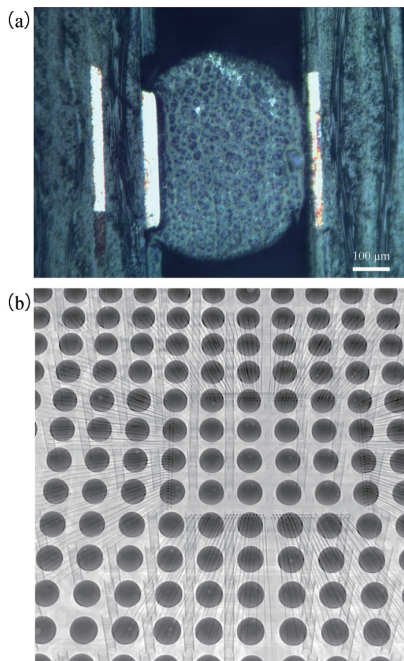


图 5 峰值温度 215 °C, 液相时间 50 s 的 (a) 焊点金相及 (b) X 光图片

Fig. 5 (a) Metallographic and (b) X-ray views of BGA joints prepared at 215 °C and 50 s above liquidus

3 结论

有铅制程回流曲线峰值温度对混装 BGA 焊点

的坍塌高度无影响,但对空洞率和微观组织形貌存在显著影响。虽然在四种峰值温度下,无铅 BGA 焊球能够充分坍塌且高度保持一致;但在实验条件下,峰值温度越低,混合焊点内的空洞率越低且空洞面积越小;峰值温度为 215 °C 时的混合焊点的微观组织最细小且尺寸分布均匀,在此基础上降低和升高峰值温度,微观组织尺寸均会增大。因此,使用有铅制程回流曲线焊接无铅 BGA 是可行的,只需在有铅回流曲线峰值温度的前提下,适当控制液相停留时间,即可保证有铅-无铅混装 BGA 焊点的可靠性。

参考文献:

- [1] Li Y, Moon K S, Wong C P. Electronics without lead [J]. Science, 2005, 308(5727): 1419-1420.
- [2] 蒋廷彪,徐龙会,韦荔蒲. BGA 混合焊点热循环负载下的可靠性研究 [J]. 电子元件与材料, 2007, 26(6): 24-27.
- [3] 蒋庆磊,张玮,刘刚,等. 有铅焊料与无铅 BGA 混合焊点显微组织性能研究 [J]. 电子工艺技术, 2013, 34(2): 79-85.
- [4] Pan J B, Toleno B J, Chou T C, et al. The effect of reflow profile on SnPb and SnAgCu solder joint shear strength [J]. Soldering & Surface Mount Technology, 2006, 18(4): 48-56.
- [5] Zarrow P. Lead free: do not fight a fact, deal with it! [J]. Circuits Assembly, 1999, 10: 18-20.
- [6] 中国人民解放军总装备部. GJB 4907-2003 球栅阵列封装器件组装通用要求 [S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2003.
- [7] Association Connecting Electronics Industries. IPC 7095B design and assembly process implementation for BGAs [S]. USA: IPC, 2008.
- [8] Nandagopal B, Mei Z, Teng S. Microstructure and thermal fatigue life of BGAs with eutectic Sn-Ag-Cu balls assembled at 210 °C with entectic Sn-Pb solder paste [C] //Proceeding of the 56th Electronic Components and Technology Conference. NY, USA: IEEE, 2006: 875-883.
- [9] Pan J B. Estimation of liquidus temperature when SnAgCu BGA/CSP components are soldered with SnPb paste [C] //IEEE 7th International Conference on Electronics Packaging Technology. NY, USA: IEEE, 2006: 1-6.