

用于航空产品的无铅 BGA 器件有铅化工艺

杨金龙 龚清萍 蔡慧娟 张晖

(中国航空无线电电子研究所, 上海 200241)

摘要 研究了焊膏法植球和助焊剂法植球两种焊接工艺方法对航空产品用无铅 BGA 器件有铅植球焊接质量的影响。X 射线检测结果表明, 通过焊膏法与助焊剂法两种植球工艺均可以获得外形规整、一致性高的焊球; 焊接界面显微组织分析结果表明, 助焊剂法植球的焊接界面金属间化合物层的平均厚度与焊膏法植球相比, 增加了约 49%, 达到 $1.81\ \mu\text{m}$; 焊膏法和助焊剂法两种植球工艺的焊球抗剪切力分别为 $11.89\ \text{N}$ 和 $11.40\ \text{N}$, 建议使用焊膏法进行植球。

关键词: 球栅阵列 植球 显微组织 力学性能

中图分类号: TG454

0 前言

球栅阵列 (Ball grid array, BGA) 封装通过基板表面呈矩阵状排列的焊球代替传统的封装引线, 实现与印制板的机械和电气连接。焊球与 BGA 器件基板之间的焊接工艺称为植球工艺, 其焊接的质量直接影响了 BGA 器件的性能和可靠性。随着欧盟、中国、日本等国家相继颁布电子行业的禁铅法令以后, 越来越多的无铅焊球 BGA 器件 (焊球主要成分为 Sn-Ag-Cu 合金) 进入电子产品的供应链^[1]。但是出于对电子组件可靠性的严苛要求, 在军事、航空航天、医疗等领域, 依然沿用有铅焊接工艺^[2]。当使用有铅焊料焊接无铅 BGA 器件时, 焊接峰值温度需要提高约 $20\ ^\circ\text{C}$, 导致此类混装组件面临长期可靠性无法确定的问题^[3]。因此, 将无铅 BGA 器件有铅转化是应对目前有铅/无铅混装工艺的解决方法之一^[4]。此外, 通过对返修 BGA 器件二次植球, 可以实现 BGA 器件的再次利用, 从而降低生产成本。因此, 开展航空产品用无铅 BGA 器件有铅化植球工艺的研究十分必要。

目前, 用于 BGA 器件植球工艺的方法主要有印刷焊膏法和印刷助焊剂法, 但关于这两种工艺植球后的焊点性能对比还未见报道。文中拟从两种不同植球工艺出发, 通过 X 射线检测、显微组织分析以及剪切力试验, 研究不同工艺对焊点质量、显微组织、界面化合物以及力学性能的影响, 从而为进一步提高航空电子产品的可靠性提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验选择的有铅焊球为 Sn-37Pb 共晶焊球, 焊球直径 $0.76\ \text{mm}$ 。膏状助焊剂型号: ALPHA OM-338, 焊膏型号: LOCTITE CR 32 SN63AGS89.5 AM。试验中选择焊球交错型排列的 BGA 器件, BGA 器件尺寸及焊球的排列形式如图 1 所示。

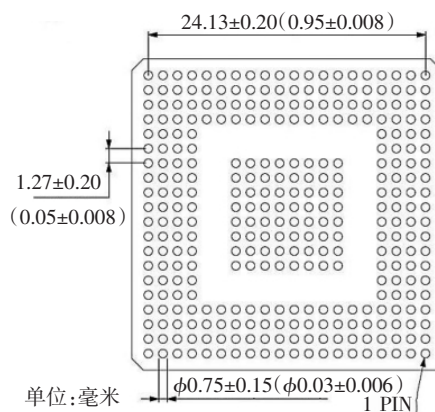


图 1 BGA 器件尺寸及焊球排列形式

1.2 试验方法

根据 IPC 7711B—7721B 标准《电子组件的返工, 修改和维修》, 使用扁平烙铁去除无铅 BGA 器件的焊球, 并使用吸锡带清除焊盘表面残留的焊锡, 然后用乙醇将 BGA 器件的焊盘清洗干净。使用印刷焊膏方法进行植球的工艺, 选择印刷钢片的厚度为 $0.15\ \text{mm}$, 在 BGA 器件焊盘表面手工印刷焊膏后, 将 BGA 器件放入特制的植球工装, 使得 Sn-37Pb 焊球通过工装上的

收稿日期: 2018-01-09

钢网填充到 BGA 基板的每一个焊盘上。使用印刷助焊剂方法进行植球的工艺,首先在 BGA 器件的焊盘表面均匀的涂刷一层助焊剂,然后将 BGA 器件放入植球工装,填充 Sn-37Pb 焊球。植球后的 BGA 器件通过回流炉进行焊接(回流炉型号: ERS A HOTFLOW 3/20),回流焊温度曲线如图 2 所示。印刷助焊剂方法进行植球的 BGA 器件在经过第一次回流焊后,需要再次在焊球表面均匀涂覆一层助焊剂,再进行第二次回流焊接。完成植球后,使用专用的清洁剂去除器件表面残留的助焊剂残渣。

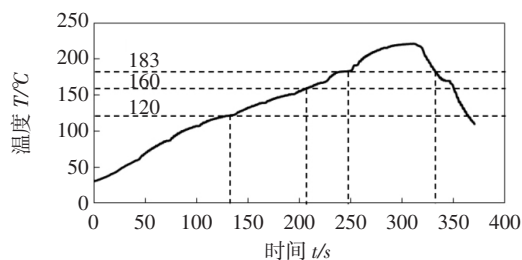
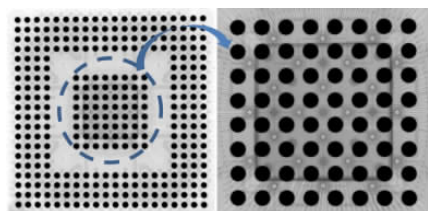


图 2 回流焊温度曲线

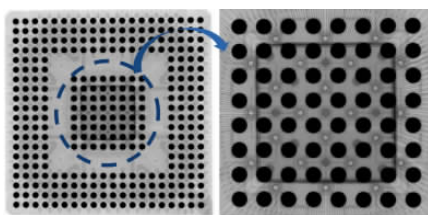
2 试验结果与分析

2.1 X 射线检测结果

BGA 器件有铅植球后,X 射线检测照片如图 3 所示,焊球重熔后外形规整,边界清晰,位置准确,无焊锡珠,无明显的不规则缺陷。通过对相同灰度、对比度等设备试验参数下每个 BGA 器件上 320 个焊球的面积进行统计分析,得到焊膏植球和助焊剂植球两种植球工艺下焊球的面积分布如图 4 所示。焊膏植球工艺得到的焊球平均面积为 0.531 mm^2 ,焊球尺寸主要集中在



(a) 焊膏植球 X 射线检测图



(b) 助焊剂植球 X 射线检测图

图 3 BGA 器件 X 射线检测图

$0.52 \sim 0.54 \text{ mm}^2$,焊球面积标准差 0.025;助焊剂植球工艺得到的焊球平均面积为 0.499 mm^2 ,焊球尺寸主要集中在 $0.48 \sim 0.51 \text{ mm}^2$,焊球面积标准差 0.022。焊膏植球工艺回流焊过程中,基板焊盘表面印刷的焊膏中金属成分(Sn-37Pb)将会均匀扩散到焊球中,使得焊球的体积增加,与助焊剂植球工艺相比,焊膏植球工艺焊球的面积增加了约 6%。

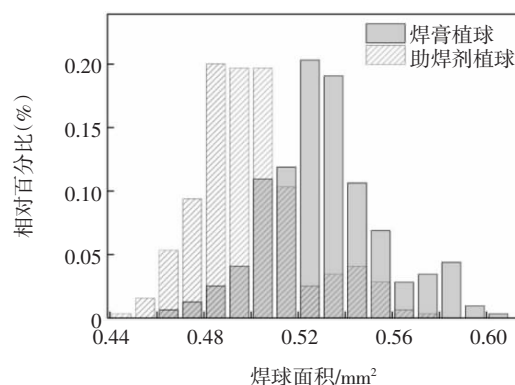
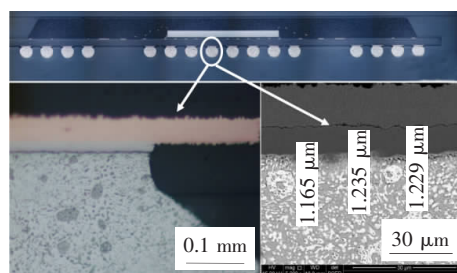


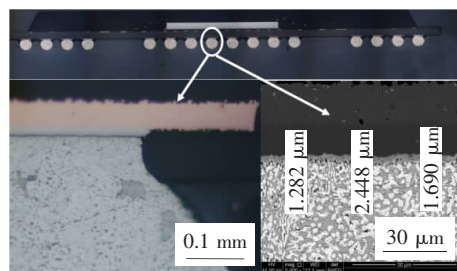
图 4 BGA 器件焊球面积分布

2.2 界面显微组织分析

对 BGA 植球器件制作金相试样并进行扫描电镜分析,焊膏植球和助焊剂植球的焊球与器件基板界面显微组织分别如图 5a 和图 5b 所示。两种植球工艺的焊接界面均润湿良好,结合紧密,焊接界面和焊球均未出现空洞、冷焊、裂纹等焊接缺陷。两种植球工艺的金相照片没有出现明显的差异。



(a) 焊膏植球界面显微组织



(b) 助焊剂植球界面显微组织

图 5 焊球/基板界面显微组织

焊接界面连续金属间化合物的形成是获得高质量冶金结合的前提,但由于界面金属间化合物与基板热膨胀系数、力学性能等匹配性较差,长期服役中容易成为裂纹源,从而影响产品的全生命周期可靠性。图5焊接界面扫描电镜分析结果显示,焊膏法植球界面金属间化合物层的平均厚度为 $1.21\ \mu\text{m}$,而助焊剂法植球的界面金属间化合物层的平均厚度为 $1.81\ \mu\text{m}$ 。为了纠正助焊剂法植球后锡球与焊盘之间的偏移,助焊剂法植球经过第一次回流焊后需要进行二次回流。经过两次回流焊的界面金属间化合物层厚度与焊膏植球法一次回流相比,金属间化合物层的形态未发生明显变化,但厚度层增加了49%。

2.3 力学性能分析

BGA 器件焊球剪切力强度测试根据 GJB 7677—2012《球栅阵列(BGA) 试验方法》的规定进行试验。根据焊球直径选择适当宽度的剪切工具,沿基板的水平方向对焊球进行剪切,焊球抗剪强度试验的示意图如图6所示。

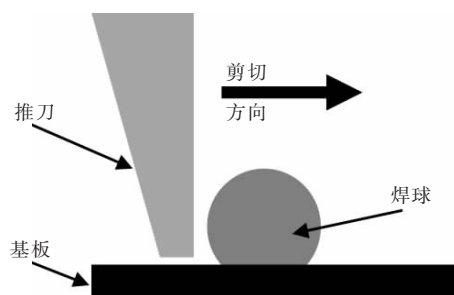


图6 BGA 器件焊球抗剪强度试验示意图

通过 STR-1 000 微焊点强度测试仪对两种植球工艺的 BGA 器件表面四分之一区域的焊球抗剪强度进行试验,焊球抗剪强度分布如图7所示。印刷助焊剂法植球工艺所得到的焊球抗剪切力平均值为11.400 N,标准差 0.989;印刷焊膏法所得焊球抗剪切力平均值为11.885 N,标准差 0.629,其抗剪强度值均高于 GJB 7677—2012《球栅阵列(BGA) 试验方法》中焊球剪切强度推荐值(0.76 mm 焊球直径最小剪切力值 7.0 N)。与助焊剂法植球相比,焊膏法植球的锡球抗剪切力提高了约4%。

焊膏法植球除了能够更好的保证植球过程中锡球的定位,更能补偿回流焊过程中由于锡球与器件基板之间热膨胀系数不匹配产生的应力,从而改善焊接质量。从工艺复杂度角度,焊膏法植球需要在器件焊盘表面手工印刷焊膏,工艺要求较高;而对于助焊剂植球法,助焊剂在回流过程中达到活化温度

后会变成液态,难以对锡球进行定位,造成虚焊、焊接强度不够等缺陷。因此,需要进行两次回流焊,增加 BGA 器件的回流焊次数。因此,针对高可靠性要求的航空电子产品,建议采用焊膏法进行 BGA 器件的植球。

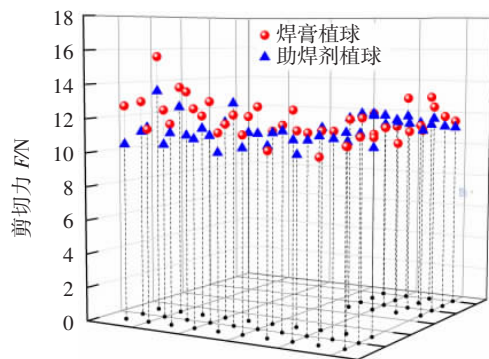


图7 1/4 器件区域焊球抗剪强度分布

3 结论

(1) 通过焊膏法与助焊剂法两种植球工艺均可以获得外形规整、一致的有铅焊球 BGA 器件,焊膏法植球工艺焊球的面积与助焊剂法相比增加了约6%。

(2) 助焊剂法植球后界面金属间化合物层与焊膏法植球相比,形态未发生明显变化,但厚度增加了49%,平均厚度为 $1.81\ \mu\text{m}$ 。

(3) 焊膏法与助焊剂法两种植球工艺的锡球抗剪强度均达到了剪切强度要求,焊膏法植球的锡球抗剪切力与助焊剂植球相比提高了约4%,建议使用印刷焊膏法进行航空产品 BGA 器件的有铅植球。

参考文献

- [1] Pecht M, Shibutani T, Wu L F. A reliability assessment guide for the transition planning to lead-free electronics for companies whose products are RoHS exempted or excluded [J]. *Microelectronics Reliability*, 2016, 62: 113-123.
- [2] 王文波, 刘鹏程, 陈凯. 军用无铅 BGA 器件焊接工艺选择与实现 [J]. *电子工艺技术*, 2014, 35(3): 144-147.
- [3] 盛重, 薛松柏, 张亮, 等. 微电子组装焊点可靠性的研究现状 [J]. *焊接*, 2010(2): 7-13.
- [4] 张玮, 蒋庆磊, 严伟, 等. 有铅无铅高密度混装工艺技术研究 [J]. *电子工艺技术*, 2013, 34(6): 328-332.

作者简介: 杨金龙,1988 年出生,博士。主要从事电子装联技术研究,已发表论文 10 篇。