

# 无铅 BGA 焊接工艺方法研究

杜爽 徐伟玲

(北京空间机电研究所,北京 100076)

**文 摘** 以焊接无铅 BGA 器件为目的,在三种主要焊接工艺方法中选择有铅焊料焊无铅 BGA 的工艺方法。通过调整回流焊炉各温区参数,得到适用于这种工艺方法的温度曲线,并通过外观、X 射线、染色与渗透、剪切力、金相剖切对焊接质量进行分析。分析结果表明:该工艺方法焊接的无铅 BGA 焊点外观符合目检要求;X 射线下没有发现焊点的明显缺陷;环境试验后,焊点的剪切力符合标准要求;染色试验未发现被染色的焊球;焊点的金相图显示结合处焊接良好,且满足合格焊点的金属间化合物厚度要求(0.5 ~ 50  $\mu\text{m}$ ),这种工艺方法能够较好的完成无铅 BGA 器件的焊接,有一定的应用价值。

**关键词** 无铅 BGA 器件,有铅焊无铅,温度曲线,焊点质量

## Research on Welding for Lead-Free BGA Process Method

Du Shuang Xu Weiling

(Beijing Institute of Space Mechanics & Electricity, Beijing 100076)

**Abstract** For the purpose of welding lead-free BGA devices, among three main welding processes, lead-free BGA reflow with Sn-Pb solder paste is chosen as process method. By adjusting the temperature zone reflow oven parameters in order to get the approach of the temperature curve, and by looking at the appearance, X-ray, dye penetrant, shear stress, metallographic, the conclusion can be made that lead-free BGA soldering technology with SnPb solder paste passes through test. The result shows that the process method of lead-free BGA reflow with SnPb solder paste can manage to weld lead-free BGA devices. The result shows that the method is reasonable an feasible.

**Key words** Lead-free BGA devices, Lead-free reflow with SnPb solder paste, Temperature curve, Quality of soldering point

### 0 引言

由于铅对环境和人类的危害,国内外对铅材料及其制品作了严格的限制。1992 年美国国会通过了“铅限制法案”;2004 年日本已基本实现无铅化;欧盟颁布了“WEEE”和“RoHS”指令;我国也制定了“电子信息产品污染控制管理办法”,从 2007 年 3 月 1 日起实施。虽然航空航天电子、医疗电子等高可靠性要求的产品可以不受 RoHS 和 WEEE 指令的控制,但由于市场上可供采购的有铅器件种类正逐渐减少,特别是 BGA(Ball Grid Array)类器件,部分 BGA 器件只能采购到商业级的无铅器件,只能用无铅 BGA 器件<sup>[1-2]</sup>。在上述背景条件下,电子产品的无铅化成为一种必然的发展趋势。

BGA 是一种球栅阵列封装器件,焊球阵列在器

件底面上可以呈现完全分布或部分分布<sup>[3-5]</sup>。无铅 BGA 器件在航天电子产品装联中面临的问题是:在同一块印制电路板上其他电子元器件的引脚和电路板焊盘的成分均是铅锡合金,只有无铅 BGA 封装器件的焊球为无铅材料,由于焊料成分不同,因此不能采用传统的有铅焊接工艺方法来装联。

美国国家电子制造项目(NEMI)中的无铅特别小组,对焊球合金为 SnAgCu 的 BGA 的向后兼容性(即用有铅焊料焊接)进行了评估。评估结果表明:SnAgCu BGA 焊球使用 SnPb 焊膏形成的焊点与典型的 SnPb 焊点在性能上是等效的<sup>[6-7]</sup>。为解决有铅、无铅器件混用的情况,本文以焊球成分为 SnAgCu 的无铅 BGA 器件为研究对象,探讨适用于这种情况的无铅 BGA 焊接工艺。

收稿日期:2012-03-29

作者简介:杜爽,1986 年出生,硕士,主要从事电子装联及工艺研究。E-mail:399475493@qq.com

## 1 工艺方法及焊接机理

### 1.1 工艺方法

焊接无铅 BGA 器件主要有三种工艺方法:

(1)用无铅焊接工艺进行焊接;

(2)重新植球有铅化后采用有铅焊接工艺进行焊接;

(3)直接采用有铅焊料进行焊接(以下简称有铅焊无铅工艺)。

方法(1)由于无铅焊接温度较高,整板焊接时还有其有铅器件,而无铅温度可能会高于有铅器件的极限温度,所以此方法不能兼顾部分有铅器件的焊接。

方法(2)无铅器件有铅化是解决此类器件焊接的常用方法,将无铅 BGA 的焊球去除,重新植入铅锡焊球,从而解决无铅器件与铅锡钎料结合造成的问题,在整板焊接的时候就可以统一采用有铅焊接工艺。但是更换 BGA 器件的焊球,将无铅锡球换成有铅锡球,此方法会对 BGA 增加器件去球、植球、焊接的工艺环节,比直接焊接到电路板上多了两次热冲击的过程。

方法(3)提出的有铅焊无铅工艺不是传统的有铅工艺,而是使用有铅焊料,通过控制焊接温度曲线,在传统有铅焊接工艺的基础上适当提高焊接峰值温度(低于无铅焊接温度)和延长焊料液相时间,实现对无铅器件可靠焊接的一种工艺方法。如果工艺方案可行,将实现绝大多数有铅、无铅元器件的一次焊接。

方法(1)不能兼顾有铅器件。方法(2)更换 BGA 器件的焊球,工艺过程繁琐,需要高水平的操作人员。本文采用第三种方法进行工艺试验。

研究有铅焊料焊接无铅 BGA 器件这种工艺方法的创新意义在于减少了焊接次数,从而避免了由于多次受热可能引发焊点可靠性下降问题;可以实现绝大多数有铅、无铅元器件的一次焊膏涂覆、贴片和焊接,其生产效率远远高于 BGA 器件重新植球和有铅/无铅器件分别焊接工艺,可以接近传统有铅工艺的生产效率。

### 1.2 有铅焊无铅工艺机理

在有铅焊无铅的过程中,焊接温度达到 183℃ 后,Sn63Pb37 焊膏熔化,成为液体焊料。无铅 BGA 引脚中的锡银铜金属浸在有铅液体焊料中,就会出现浸析现象,所谓浸析现象就是浸入液体焊料中的固体金属会产生溶解。随着焊接温度升高,焊料流动速率的增加会加速浸析现象的出现。锡在铅锡焊料中的溶解速率最高,在 200℃ 时,其溶解速率约为 50  $\mu\text{m}/\text{s}$ 。并且随着温度的上升,溶解度会进一步增高。因

此在焊接温度达到 200℃ 以上时,无铅镀层中的锡、银、铜都会溶进铅锡焊料中,机理与有铅焊接机理无异。

## 2 工艺试验

### 2.1 材料及设备

采用 CSP-BGA 封装的无铅器件,芯片封装尺寸为 13 mm×13 mm,焊球阵列为 12×12,焊球与器件本体是纯 Sn 焊料连接,焊球成分为 Sn3.0Ag0.5Cu,焊球直径为 0.60 mm,引脚中心间距 1.0 mm。印制电路板选用 FR-4 基材,层数为 6 层,焊盘镀层为铅锡合金。焊膏采用 ALPHA 公司的成分为 Pb63Sn37 的焊膏。采用 0.15 mm 厚的网板进行焊膏涂覆。试验共用 6 块电路板,编号为 A~F,每块电路板焊接 2 片无铅 BGA 器件编号分别为 U1-1 和 U1-2。回流焊炉采用 EASA 公司的 HOTFLOW3/14 热风回流焊。

### 2.2 回流焊接试验

根据有铅焊无铅工艺的理论依据,无铅镀层中的金属溶入液态有铅焊料是需要一定时间的,因此有铅焊无铅工艺的技术难点在于回流焊温度参数的设置。设置有铅焊无铅温度参数前需要考虑几个数据,有铅焊膏(Sn63Pb37)熔点 183℃;无铅焊球(Sn3.0Ag0.5Cu)的熔点 217℃;最低峰值温度,即钎料合金完全液化后发生回流、润湿的最低温度,一般选择比合金熔点高约 15℃。如果采用有铅温度曲线时,当温度上升到 220℃ 时,按照有铅工艺就要开始降温,导致 SnAgCu 焊球不能完全熔化。如果采用无铅温度曲线时,有铅焊膏在 183℃ 以上的时间会大大提高,会使焊膏中的助焊剂提前结束反应,而且会使焊点氧化现象严重,所以有铅焊无铅温度曲线不能单纯的采用有铅温度曲线或无铅温度曲线。

有铅焊无铅峰值温度,液化线以上时间如何,都没有标准可以参考,但是文献[6-9]中有关于铅焊无铅工艺的研究,其中有几种设置可供参考:

(1)回流焊接峰值温度 228~232℃,液相线 217℃ 以上时间 50~60 s;

(2)最高温度不低于 215℃,200℃ 以上时间高于 70 s;

(3)回流峰值温度 210℃ 下保持 15~25 s,SnPb 焊膏与 SnAgCu 焊球也可以达到完全混合。

(4)标准 IPC-7095B 中关于无铅和有铅装联的回流参数见表 1。参考以上几种设置和标准中推荐的有铅、无铅工艺参数,设置方案如下:(1)保证 SnAgCu 焊球熔化,峰值温度要满足无铅焊接的最低温度;(2)兼顾有铅焊接工艺参数,适当降低无铅焊

接回流区时间,缩短助焊剂在 183℃ 以上的时间。

235℃,液相线 217℃ 以上时间为 50 s,具体温度参数

经过多次测温调试,最后设置温度为峰值温度

设置见表 2,温度曲线见图 1。

表 1 有铅和无铅回流参数

Tab.1 Reflow profiles for lead and lead-free assemblies

工艺方法	预热区		浸润区		回流区		峰值温度/℃
	温度/℃	时间/s	温度/℃	时间/s	温度/℃	时间/s	
有铅焊接	30 ~ 100	60 ~ 90	100 ~ 183	90 ~ 120	183 ~ 183	60 ~ 90	210 ~ 220
无铅焊接	30 ~ 140	60 ~ 90	140 ~ 217	90 ~ 120	217 ~ 217	60 ~ 90	235 ~ 245

表 2 有铅焊无铅温度参数设置

Tab.2 Temperature parameter settings of lead-free reflow with Sn-Pb solder paste

区域	ZONE1	ZONE2	ZONE3	ZONE4	ZONE5	ZONE6	ZONE7	冷却 1	冷却 2	冷却 3
上温区	130	140	160	155	185	280	260	80	50	30
下温区	130	140	160	155	185	280	260			

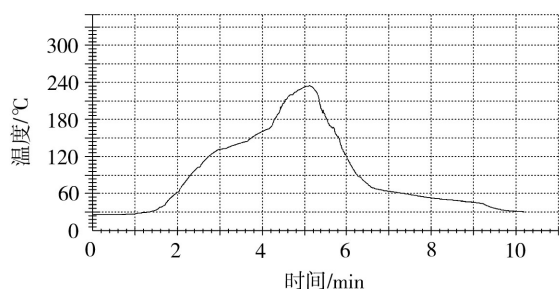


图 1 有铅焊无铅温度曲线

Fig. 1 Temperature curve of lead-free reflow with Sn-Pb solder paste

### 2.3 焊点验证试验

验证试验是参考 ECSS-70-38C 可靠性试验流程制定的<sup>[10]</sup>,验证试验主要包括:电性能测试、视觉检查、温度循环、振动试验、染色试验和显微剖切,具体试验安排见表 3。

表 3 焊点验证试验

Tab.3 Experiment of solder joint verification

电路板编号	环境试验	器件编号	
		U1-1	U1-2
A	振动+100 个循环	剪切力	染色
B		显微剖切	显微剖切
C	振动+200 个循环	剪切力	染色
D		显微剖切	显微剖切
E	对照组(不做试验)	剪切力	染色
F		显微剖切	显微剖切

## 3 结果分析

### 3.1 外观检验

图 2 是显微镜下有铅焊膏焊接无铅 BGA 器件的

焊点外观图。根据标准 IPC-A-610D 对焊点外观进行检验<sup>[11]</sup>,焊点表面清洁、无裂缝,焊点无虚焊、裂纹、空洞、脱焊、不润湿等缺陷,虽然焊球有较粗糙的表面,这是由 SAC 无铅合金这种成分造成的,所以焊点外观检验良好。

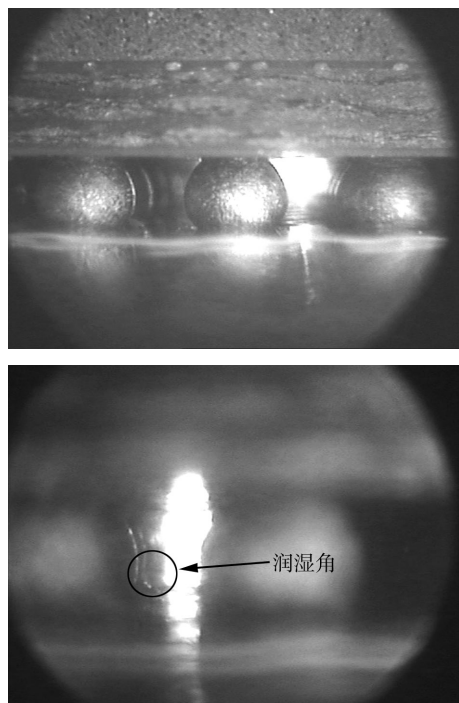


图 2 焊点外观图

Fig. 2 Appearance of solder joint

### 3.2 X 射线检测

通过 X 射线检测见图 3,可以看出 BGA 焊球与电路板焊盘一一对准,所有焊点的图像均匀一致,边界清晰,而且没有桥连、短路、缺球等明显的缺陷。个别焊球中存在空洞,但空洞都在可接受范围内,且空

洞不超焊球直径的 25%。说明回流焊没有缺陷,温

度曲线设置合理。

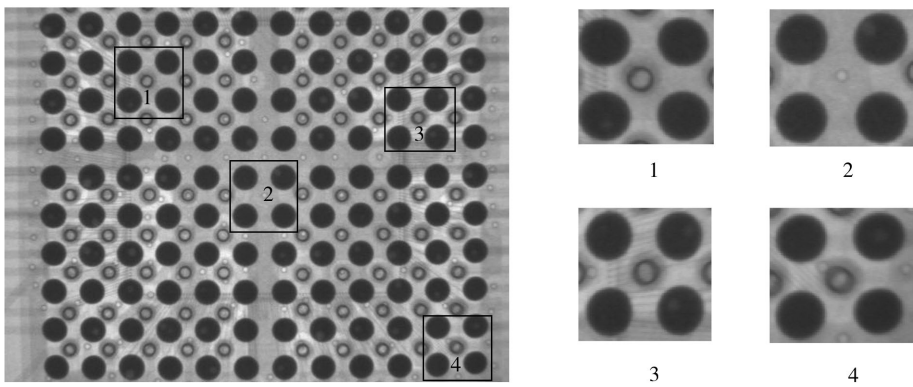


图3 X射线及局部放大图

Fig. 3 X-ray and internal details of solder joints

### 3.3 环境试验

A、B、C、D 四块电路板上的 BGA 先做振动试验再做温度循环试验,具体试验条件如下。

#### (1) 振动试验

正弦振动:频率范围,10 ~ 2000 Hz, 15 g; 振动幅值(峰—峰值), 10 ~ 70 Hz, 1.5 mm; 扫描速率, 1 倍频/min; 试验持续时间, 一次循环, 10-2 000 -10 Hz。

随机振动:频率范围, 20 ~ 2 000 Hz, 15 g; 功率频谱密度, 0.1 g<sup>2</sup>/Hz; 试验持续时间, 10 min, 每一轴向; 温度范围, -55 ~ 100℃;

(2) 温度循环试验: 温度变化率不超过 10℃/

min; 极限温度保持时间 15 min; 试验次数为 200 个循环。

对做完振动试验, 温度循环试验的电路板分别进行功能测试, 结果表明所有样品全部通过测试。

### 3.4 剪切力测试

通过测量对芯片所加力的大小和该力作用下产生的失效类型来判断是否合格。根据 GJB 548B—2005 方法 2019.2 对 A、C、E 电路板上的器件做剪切力试验(表 4)<sup>[12]</sup>, 根据标准若芯片焊接面积大于 4.13 mm<sup>2</sup>, 应最小承受 25 N 的力或其倍数, 试验结论符合标准要求。

表 4 剪切力结果

Tab. 4 Conclusion of shear stress

板号	环境试验	焊接面积/mm <sup>2</sup>	剪切力/N	失效模式
A	振动+100 个循环	19.58	740.31	PCB 板焊盘脱落, 焊球脱离, PCB 板焊球裂开
C	振动+200 个循环	19.58	703.93	PCB 板焊盘脱落, 焊球脱离, PCB 板焊球裂开
E	对照组	19.58	749.13	PCB 板焊盘脱落, 焊球脱离, PCB 板焊球裂开

### 3.5 染色

通过染色试验焊点缺陷定位技术, 得到 BGA 焊点裂纹分布及裂开界面的重要信息。如果工艺方法存在问题, 通常会出现多处焊点失效, 并且裂纹会在环境试验后扩大, 继而被染色。对印制板面和芯片面进行观察, 染色试验结果见表 5。

表 5 染色试验结果

Tab. 5 Conclusion of dye penetrant

电路板编号	工艺方法	环境试验	染色情况 (U1-2)	结论
A		振动+100 个循环		
C	有铅焊无铅	振动+200 个循环	均未发现染色焊球	合格
E		对照组		

从表 5 中未发现染色的点, 说明 BGA 焊球与器件焊盘、电路板焊盘结合处没有裂纹。图 4、图 5 为做完振动和 200 个温循循环的器件染色情况。

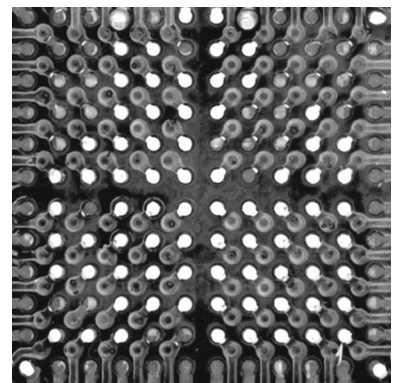


图 4 印制板面

Fig. 4 Surface of printed circuit board

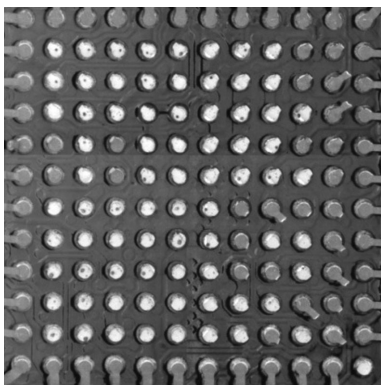


图5 芯片面  
Fig.5 Surface of chip

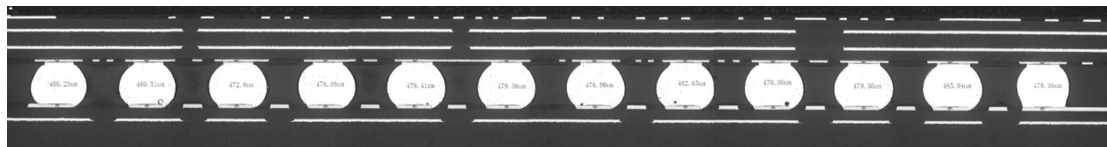


图6 焊点切片全貌  
Fig.6 Cross section of solder joint

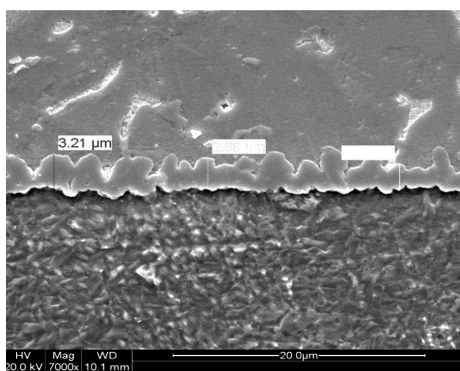


图7 合金层  
Fig.7 Alloy layer

#### 4 结论

主要研究了有铅焊料焊接无铅 BGA 器件的工艺方法,通过对回流焊接温度曲线的多次调试,得到适用于这种焊接的温度曲线,使其介于有铅焊接与无铅焊接温度之间。通过外观、X 射线、染色与渗透、剪切力、金相对焊接质量进行检测分析,结果表明,该工艺方法焊接的无铅 BGA 焊点外观符合目检要求;X 射线下没有发现焊点的明显缺陷;环境试验后,焊点的剪切力符合标准要求;染色试验未发现被染色的焊球;焊点的金相图显示结合处焊接良好,且满足合格焊点的金属间化合物厚度要求(0.5 ~ 50 μm),有铅焊料焊接无铅 BGA 器件这种工艺方法能够较好的完

#### 3.6 金相分析

图6、图7为做完振动后经过200个温度循环的BGA焊点切片图和合金层厚度图。按照可靠性试验安排对其余器件做显微剖切,所有焊点切片图显示结合处焊接良好,焊点形态一致。虽然个别焊点有微小空洞,但空洞不在焊接面处,且空洞大小符合标准规定,所有空洞的直径之和不超过焊球直径的25%。对BGA焊点与印制板面结合处进行合金层厚度测量,均满足合格焊点的金属间化合物厚度要求0.5 ~ 5.0 μm,且温度循环试验后合金层厚度无明显增长,所以焊点强度可以保证。

成无铅 BGA 器件的焊接,有一定的应用价值。

#### 参考文献

- [1] 樊融融. 现代电子装联无铅焊接技术[M]. 北京:电子工业出版社,2008
- [2] 顾霭云,罗道军,王瑞庭. 表面组装技术(SMT)通用工艺与无铅工艺实施[M]. 北京:电子工业出版社,2008
- [3] 顾永莲. 球栅阵列封装焊点的失效分析及热应力模拟[D]. 电子科技大学,2005
- [4] 章英琴. BGA 器件及其焊接技术[J]. 电子工艺技术,2010,31(1):24-27
- [5] 任柏宇. 采用 SnPb 共晶焊膏焊接 SAC-BGA 可行性探讨[A]. 2010 中国高端 SMT 学术会议论文集[C]. 四川省电子学会,2010
- [6] 徐驰. 有铅焊料焊接无铅 BGA 回流参数探索[J]. 电子工艺技术,2011,32(6):342-345
- [7] 张永忠. 无铅 PBGA 用含铅焊膏焊接的工艺研究[J]. 航天制造技术,2008,2(1):25-28
- [8] 宁叶香,潘开林,李逆,等. 无铅过渡时期混合焊点可靠性研究进展[J]. 电子元件与材料,2008,27(10):5-8
- [9] IPC-7095B BGA 的设计及组装工艺的实施
- [10] ECSS-Q-ST-70-38C 表面装配高可靠性焊接
- [11] IPC-A-610D 电子组件的验收条件
- [12] GJB 548B—2005 微电子器件试验方法和程序

(编辑 李洪泉)