

• 综述 •

预成型焊片润湿性动态测试方法

刘嘉¹, 陈卫民², 周龙早¹, 安兵¹, 吴懿平¹

(1. 华中科技大学 武汉光电国家实验室(筹), 湖北 武汉 430074;

2. 广州先艺电子科技有限公司, 广东 广州 511400)

摘要: 预成型焊片的润湿性直接关系到光电子封装的可靠性。常用的焊料润湿性评价方法对于评价预成型焊片润湿性具有很大局限性。提出了一种动态测试焊料润湿性的方法, 并设计了一套测试系统。通过铺展面积与时间的关系曲线得出最大铺展面积、润湿时间、平均润湿速度和瞬时润湿速度等特征参数, 对预成型焊片的润湿性进行评价。实验表明, 该润湿性动态测试系统能够方便地获得铺展面积与时间的关系曲线, 从中可得出不同预成型焊片在特定环境下润湿性的变化规律, 也说明了该动态测试方法的可行性。

关键词: 预成型焊片; 润湿性; 动态测试

中图分类号: TN606 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3474(2011)05-0251-05

A Dynamic Test Method of Solder Preform Wettability

LIU Jia¹, CHEN Wei-ming², ZHOU Long-zao¹, AN Bing¹, WU Yi-ping¹

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Wuhan 430074, China;

2. Guangzhou Xianyi Electronics Technology Co. LTD, Guangzhou 511400, China)

Abstract: The wettability of solder preforms will have a direct relationship with the reliability of optoelectronic packages. The current evaluation of the solder wettability has significant limitation to apply in the solder preforms. Put forward an innovative dynamic wetting test method, and design a testing system. The spreading area-time curve can be obtained by the method. Some characteristic parameters such as maximum spreading area, wetting time, average spreading speed and instantaneous spreading speed can be reached to evaluate the wettability of solder preforms through the curve. Experiments show that the dynamic wetting testing system can easily get the spreading area with the time curve and the variation of wettability of different solder preforms in a particular environment can be known, and the feasibility of the dynamic test method has also been proved.

Key words: Solder preform; Wettability; Dynamic testing

Document Code: A **Article ID:** 1001-3474(2011)05-0251-05

润湿性是材料表面与界面的重要指标之一, 焊料合金的设计必须考虑合金与基体的润湿性、流动性和可焊性, 从而保证可靠的焊接性能和产品质量。目前对焊料润湿性常用的检测方法包括铺展面积法、展宽法、接触角法、滴球法、浸渍法和润湿平衡法^[1]。

预成型焊片是当前焊料的一种常见使用形式, 它具有精确定位定量使用焊料的特点, 通常用于对焊料的形状和质量有要求的场合。它一般尺寸小(mm级), 质量轻(mg级), 其润湿性测试是当前的一

难题。上述几种焊料润湿性测试方法对于预成型焊片具有很大的局限性。主要表现在操作不方便, 无法得到较有价值的评价参数, 也不能直观反映焊片熔化时可能具有的特征变化, 可重复性也比较差^[2]。

传统铺展面积法需要焊料的质量为 0.5 g~1.0 g, 而且焊料质量越大, 该方法得出的结论就越有参考价值^[3]。另外传统的铺展面积法获取的只是最后的铺展面积, 该参数是一个静态参数, 而预成型焊片从开始熔化到平衡过程中的细节, 包括其变化特征、

基金项目: 国家自然科学基金项目(项目编号:60876070和60876070)

作者简介: 刘嘉(1986-), 男, 硕士, 主要从事电子封装与预成型焊片的研究工作。

铺展速率和润湿时间等都无法得到。预成型焊片的厚度很小 ($10\ \mu\text{m} \sim 50\ \mu\text{m}$), 所以展宽法根本无法使用, 而且展宽法一般要求焊料的形状为球形。接触角法要求焊料的形状和试样都为线状^[4]。滴球法通常用来测试元件引脚的润湿性。浸渍法和润湿平衡法都需要一个专门的焊料熔池, 这样焊料的使用量就很大, 甚至达到1 kg左右^[5-8]。预成型焊片的质量特别小, 所以采用润湿平衡法测试润湿力的变化也是不可能的。迄今为止, 还没有一种针对预成型焊片润湿性评价的可靠仪器和方法。

鉴于预成型焊片的广泛应用, 本文提出一种专门针对预成型焊片润湿性的检测方法, 该方法利用摄像技术, 具有动态性和直观性, 可以实时观察预成型焊片熔化时的轮廓变化, 记录熔化过程的细节, 比较润湿的快慢, 发现焊片表面及其与基板接触面的缺陷, 动态采集铺展过程, 经过后续数据图像处理, 获得最大铺展面积、润湿时间、平均润湿速度和瞬时润湿速度等参数, 然后通过这些参数的具体数值或者符号得出预成型焊片的润湿性能, 为预成型焊片的产品质量检测提供一套方法和评价参考。而且预成型焊片本身具有一定的形状, 熔化时能否最大限度地保持原始形状也是其重要指标, 该方法就是在保留预成型焊片原始形状的前提下测试其润湿性的。该方法已经申请了中国发明专利。

1 润湿性动态测试方法

本文采用图像采集和视频摄制的方法动态记录预成型焊片从开始熔化到达到平衡的整个过程, 通过数据处理获得整个过程中预成型焊片的铺展面积随着时间的连续变化曲线, 最后根据曲线和录像以及从中得到的特征参数来分析预成型焊片的润湿性。

1.1 铺展面积 S 与时间 t 曲线

图1是铺展面积 S 与时间 t 的关系曲线, 假设采集的时间间隔 $\Delta t \rightarrow 0$, 则可以把该曲线看成一个连续的曲线, 则铺展面积 S 可以表示为: $S=S(t)$ 。只要知道 $S(t)$ 的数学表达式, 那么任何时刻的铺展面积都可通过计算得出。

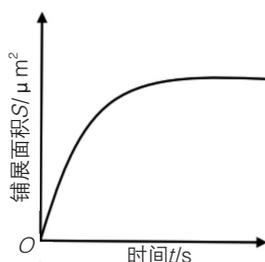


图1 铺展面积 S 与时间 t 的关系

从图中可以看出, 铺展面积一般随时间增大而

增加, 但是到了一定的时间后保持不变, 这是由于预成型焊片熔化后达到三相平衡。图1的结果非常直观, 只要根据数据采集结果绘制出该函数关系即可。该曲线不仅可以读出预成型焊片从熔化到平衡的润湿时间, 而且在不同时刻的瞬时速度也可以通过微分求得。因此, 获得回流热过程下的预成型焊片的铺展面积随时间的变化关系, 是本动态测试方法的研究基础。

1.2 特征参数

根据 $S-t$ 曲线可得图2所示几个特征参数, 包括最大铺展面积、润湿时间、平均润湿速度和瞬时润湿速度。

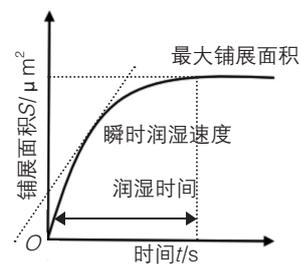


图2 润湿性动态测试方法评价参数

1.2.1 最大铺展面积

最大铺展面积是一个静态润湿性评价参数, 也是传统铺展面积法的常用参数, 其定义为预成型焊片熔化达到平衡时的铺展面积。预成型焊片在加热熔化后会在基板上铺展, 其物理本质是三个表面张力的平衡。与传统的铺展面积法一致, 本方法中相同条件下预成型焊片的最大铺展面积越大, 可以说明其润湿性越好。最大铺展面积可以直接从 $S-t$ 曲线上读取。

1.2.2 润湿时间

润湿时间定义为预成型焊片从熔化到平衡所需的时间。该参数类似于润湿平衡法定义的润湿时间。对于相同的焊料, 润湿时间越短, 则可以说明平均铺展速度越快, 润湿性越好。润湿时间参数的获取很简单, 读取录像过程, 记下开始熔化的时间点和熔化达到平衡的初始时间点, 两者之差即为润湿时间。

1.2.3 平均润湿速度

平均润湿速度定义为预成型焊片熔化前后面积的变化与润湿时间的比值。该参数的定义主要是针对有些预成型焊片在熔化前后面积会发生极大的变化 (比如Sn63Pb37焊料在铜基板上, 添加松香助焊剂, 其面积增加了10倍以上), 而一些流动性不是很好的焊料其面积只不过增加了10%左右。平均润湿速度与润湿时间其实是相关联的, 润湿时间长, 平均润湿速度就小。

1.2.4 瞬时润湿速度

瞬时润湿速度 v 是 $S(t)$ 曲线的斜率。瞬时速度 v 可以表示为:

$$v(t) = \frac{dS(t)}{dt} \quad (1)$$

式中: v 为瞬时润湿速度; S 为铺展面积; t 为时间。

v 的符号可以判断预成型焊片的润湿性, 而 v 的大小则表示铺展面积随时间变化的快慢。 $v > 0$, 表明预成型焊片正常铺展, 面积变大, 通常情况下 $S(t)$ 曲线的导数都是大于零的; 而当 $v < 0$ 时, 则说明预成型焊片在收缩, 发生不润湿行为。

1.3 预成型焊片的评价标准

研究表明, 可以采用铺展率指标来评价预成型焊片的润湿性。即以焊片熔化后面积的变化量与原始面积的比值, 来对预成型焊片的润湿性进行评价。可分为如下几个等级: 铺展率小于10% (包括收缩) 的为差, 在10%~30%之间的为一般, 30%~50%之间为较好, 50%~100%之间为良好, 大于100%的为极好。而上述其他特征参数起辅助作用, 可在焊片润湿性处于同一等级时用以从速度方面加以比较。

2 应用

2.1 装置

为验证该动态检测方法的可行性, 本文开发了一套预成型焊片润湿性测试仪。该装置整体结构示意图如图3所示, 实物图如图4所示, 将装置与外部计算机和温控装置连接, 即可配合相应软件动态观测并记录预成型焊片熔化的轮廓变化并进行即时精确测量, 实现润湿性的动态测试。

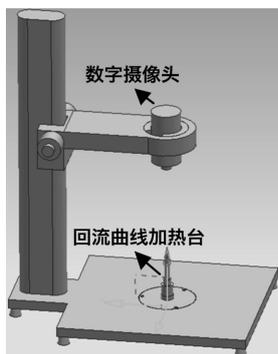


图3 装置整体结构示意图

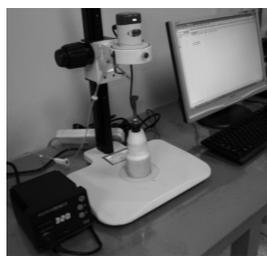
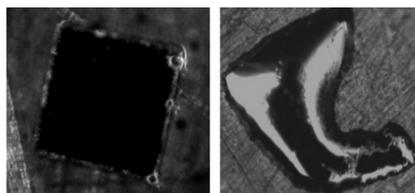


图4 装置实物图

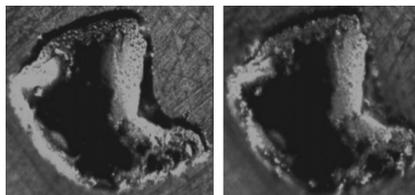
2.2 实验

2.2.1 观察轮廓变化特征

所用实验材料为Au80Sn20预成型焊片, 方形, 尺寸为0.8 mm × 0.8 mm × 0.3 mm, 基板为普通Cu基板镀镍金, 实验环境为320 °C, 氮气, 加松香助焊剂。轮廓变化如图5所示。



(a) $t_1=0$ (180X) (b) $t_2 > t_1$ (180X)



(c) $t_3 > t_2$ (180X) (d) 平衡时刻(180X)

图5 Au80Sn20不同时刻的轮廓变化

从图中可以看出, Au80Sn20预成型焊片的铺展行为有其特殊之处, 当达到熔点后, 它不是沿着四个边长方向铺展, 而是迅速地收缩, 然后再慢慢铺展开来。该现象也只能利用本动态测试方法才能观察到。

2.2.2 发现焊片表面氧化和基板表面缺陷

图6和7为233 °C下在空气中加热镀金Cu基板和Sn63Pb37预成型焊片所得图片, 图6不加助焊剂, 焊片熔化后色暗无光, 还有收缩现象, 可知焊片被氧化, 润湿性不良。图7为加入松香助焊剂后效果, 焊片铺满整个基板, 润湿性好。

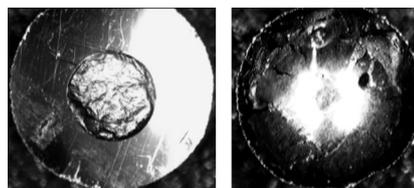


图6 无助焊剂 图7 有助焊剂

图8为空气中测试233 °C下Sn63Pb37预成型焊片 (1.00 mm × 1.00 mm × 0.03 mm) 与镀银Cu基板的润湿性, 使用松香助焊剂。可看出焊片左上角并不像其他部分沿边长方向铺展, 可能是该位置基板表面粗糙或有污染所致。

图9将基板处理干净后可见焊片沿原始形状向外铺展, 润湿性良好。



图8 基板有缺陷 图9 基板良好

2.2.3 获得曲线和参数

下面利用该装置获得SAC305预成型焊片的润湿参数和曲线。焊片直径为2.5 mm，基板为镀金普通Cu基板，实验环境为267℃、氮气、加松香助焊剂。在焊片受热熔化铺展过程中，通过控制计算机相应软件对整个过程的拍照和录制，图10~图12是不同时刻的铺展图片，可以看出，SAC305预成型焊片在加热熔化后，其原始形状保持的比较好，沿直径方向均匀铺展，在助焊剂的作用下润湿良好。若不加助焊剂，焊片将会收缩成球，如图13所示。

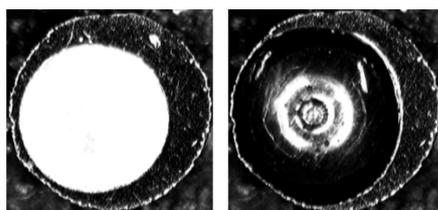


图10 $t_1=0$ (60X) 图11 $t_2>t_1$ (60X)

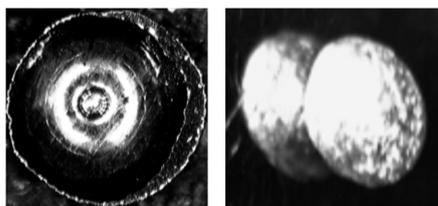


图12 平衡时刻 (60X) 图13 焊片收缩

熔化结束后测量焊片熔化后的面积，从而得出其铺展率。通过所录制的视频可得到焊片从开始熔化到熔化结束这段过程的时间，即为其润湿时间。对图像和视频进行提取，可得到267℃下该SAC305预成型焊片在镀金Cu基板上的铺展面积与时间的对应数据，如表1所示。利用该表获得其铺展面积S随时间t的变化曲线如图14所示，从该曲线可得出其润湿性的变化规律以及相应的评价参数。

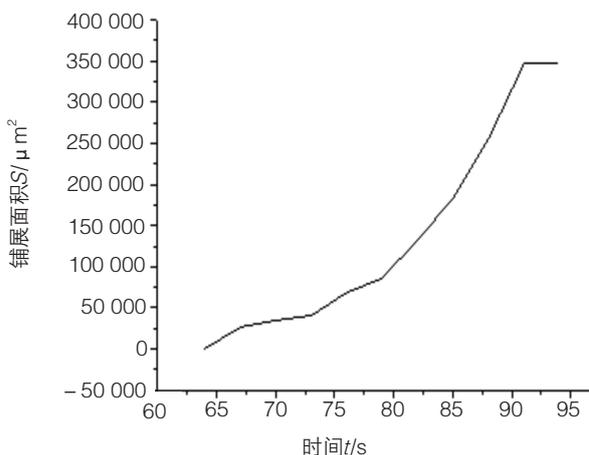


图14 铺展面积S与时间t关系曲线

进一步地，利用该装置分别对Sn63Pb37、SAC305和Au80Sn20三种预成型焊片在不同温度下的润湿性进行研究，所得S-t曲线如图15~图17所示。

表1 铺展面积与时间的对应数据

时间t/s	67	70	73	76	79	82	85	88	91
面积S/($\times 100 \mu m^2$)	261.1	339.0	414.3	698.5	857.3	1 316.0	1 829.0	2 550.0	3 476.0

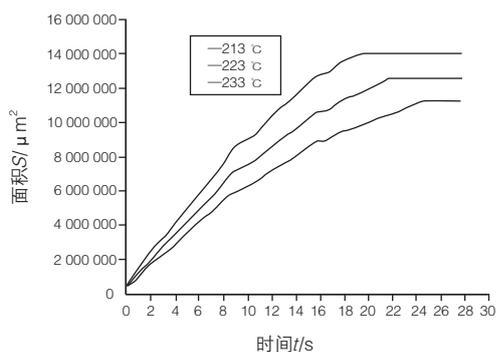


图15 不同温度下Sn63Pb37预成型焊片熔化面积与时间的关系曲线

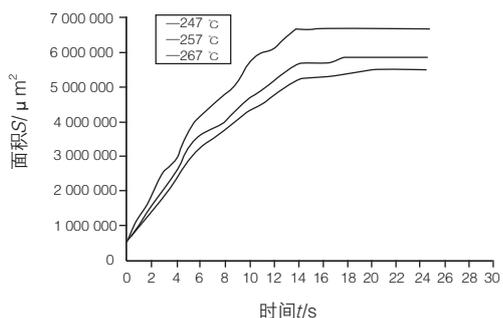


图16 不同温度下SAC305预成型焊片铺展面积与时间的关系曲线

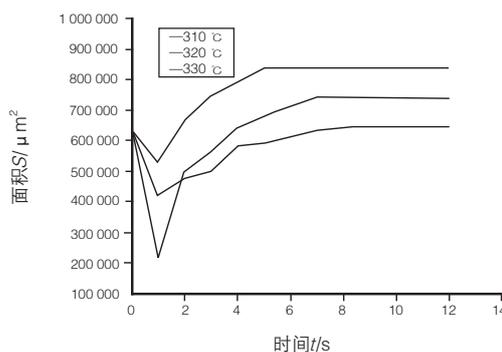


图17 不同温度下Au80Sn20预成型焊片铺展面积与时间的关系曲线

结果表明，Sn63Pb37和SAC305预成型焊片的铺展面积最终较大，为初始面积的10倍~20倍，润湿性能好。而Au80Sn20预成型焊片的最大铺展面积只比初始面积增加了10%左右。温度对铺展面积的影响是明显的，温度越高，铺展面积越大。Sn63Pb37和SAC305预成型焊片铺展面积的变化趋势是随着时间逐渐变大，润湿时间也比较长；而Au80Sn20预成型焊片在熔化初期出现短暂收缩现象，然后再慢慢铺展开来，该细节也体现出本动态测试方法的优势。

(下转第261页)

构的复杂化,CA将成为供应商和用户重要的评估手段,也必将在工程实际中发挥重大的作用,把结构性问题消灭在萌芽之中,提高生产质量和效率。

参考文献:

- [1] 龚欣. 航天用DC/DC电源模块结构分析研究[J]. 电子元器件与可靠性, 2010, 28(5): 23-28.
 - [2] 张延伟, 江理东, 陈志强. 一种新的元器件可靠性评估方法—结构分析(CA)[J]. 可靠性物理与失效分析技术, 2003, (5): 1-3.
 - [3] Sue Brown, Jeff Campbell, Sherri Griffin, et al. Failure Mechanisms Detected in Memory Chips during Routine Construction Analysis[C]. Memory Technology, Design and Testing. Records of the 1999 IEEE International Workshop on, San Jose, CA, USA, 1999: 34-39.
 - [4] 刘平, 刘建勇, 姚菲. SEM/EDX和FTIR在手机电触点失效分析方面的应用[J]. 失效分析与预防, 2010, 5(2): 114-118.
 - [5] 林金堵, 吴梅珠. PCB镀通孔发生“空洞”的根本原因和对策[J]. 印制电路信息, 2010, (4): 31-34.
 - [6] 宋长发. 电子组装钎焊缺陷研究[J]. 电子工艺技术, 2010, 31(5): 278-280.
 - [7] 张玲芸. 手工焊接的质量控制[J]. 电子工艺技术, 2010, 31(4): 219-222.
 - [8] 陈增生. SMC/SMD的手工焊接工艺技术[J]. 电子工艺技术, 2009, 30(5): 279-281.
- 收稿日期: 2011-08-25

(上接第254页)

列各种常用类型和尺寸的预成型焊片的润湿性评价标准,实际生产中只要对比抽样的实验数据和标准,按照前述评价方法,就能在短时间内确定该批次预成型焊片是否符合要求。比如1.00 mm × 1.00 mm × 0.03 mm的Sn63Pb37预成型焊片,在空气中与表面镀镍金的Cu基板加热到233 ℃,在助焊剂作用下,焊片几乎铺满整个基板,铺展率大大超过100%,如图18所示,则Sn63Pb37焊片在表面镀镍金的Cu基板上的润湿性级别可定义为极好。若某批次产品抽检结果出现了异常情况,则说明该批次产品存在问题。

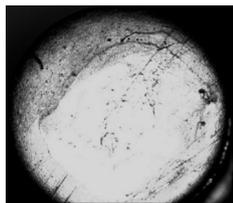


图18 Sn63Pb37焊片铺展现象

3 结论

本文根据预成型焊片的特点和其他润湿性测试

方法的局限性,创新性地提出了一种润湿性动态测试方法。进一步,为了验证该方法的可行性,本文自行设计了一套简单的动态测试系统,并对Sn63Pb37、SAC305和Au80Sn20三种预成型焊片的润湿性能进行测试,得出结论如下:(1)该润湿性动态测试方法切实可行,能对焊料润湿性进行分级评判;(2)该润湿性动态测试方法直观性好,可得到焊料熔化过程的细节;(3)该润湿性动态测试方法简单方便,其动态参数可以为研究某一个时刻的预成型焊片的润湿性能作参考;(4)该润湿性动态测试方法的适用对象并不局限与预成型焊片,对其他形状的焊料也可以使用,特别是针对厚度小和尺寸小的焊料。

参考文献:

- [1] 吴懿平, 鲜飞. 电子组装技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2007.
 - [2] Reed J. NCMS PWB Surface Finishes Team Project Summary [C]. IPC Fall Meeting, San Diego, 1990: 139-152.
 - [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局/中国国家标准化管理委员会. GB/T11364—2008 钎料润湿性试验方法[S].
 - [4] 金德宣. 微电子焊接技术[M]. 北京: 电子工业出版社; 1990.
 - [5] USA Department of Defense. MIL-STD-883—2003 Test Method Standard Microcircuit[S].
 - [6] 国家科学技术工业委员会. GJB360A—1996电子与电气元件试验方法[S].
 - [7] USA Department of Defense. MIL-STD-202—2002 Test Method Standard Electronic and Electrical Component Parts[S].
 - [8] 史建卫, 许愿, 柴勇. 电子组装材料润湿性评价方法—润湿平衡测试法[J]. 技术交流, 2009, (1): 1-7.
- 收稿日期: 2011-07-25

IPC计划2012年3月举办学术 论文竞赛

IPC诚邀业内所有专注于中国电子行业发展的各位中国工程师和中国各大专院校师生为首届IPC学术论文竞赛积极投稿。由全球著名的业界专家评审团,将根据作者提交的论文摘要对投稿进行初选。初选范围包括IPC在中国举办的历次研讨会演讲内容以及从2010年第4期开始刊登在《电子工艺技术》杂志上的文章。评比将从以下几个方面进行:内容的原创性和先进性,文字流畅性和结构严谨性。初选入围的作者将于2011年11月初收到评审团的初评意见,之后进入论文准备阶段。论文全文提交截止日期为2011年12月31日。