

与传统的CSP(芯片级封装)相比,晶圆级CSP产生较少的封装破裂(爆米花)、芯片衬底分层和其他的湿致缺陷。晶圆级CSP的机械和热性能均由硅片决定。这意味着与传统CSP相比,晶圆级CSP一般具有低得多的热膨胀系数(CTE)并且更硬,更能抵抗热和机械原因导致的压力。本文主要讨论在传统的PCB底垫和导通孔结构上分别装配具有46个I/O口,75mm线宽的晶圆级器件的方法。同时就不同组装形式的可靠性,从全热循环方面作评估和比较。

# 解读高可靠性及小型化晶圆级CSP

## 晶圆级CSP封装及测试简介

CSP(芯片级封装)技术推动着封装和印刷电路板向更小型化方向发展。晶圆级CSP是指将带有再分布薄膜层的硅片与标准表面贴装线相连。这种封装小而轻,适用于I/O脚数量在4到200之间的精细线条封装。

晶圆级CSP的精细线条特性常常要求将PCB的布线与连线技术结合,将器件功能开发到极致。虽然大家倾向于选择“狗骨”连线结构,布线密度还是要求导通孔技术能适应晶圆级的封装。

晶圆级器件的长期可靠性是必须考虑的一个因素。直接接触芯片或者倒装片组装是现在广泛使用着的一项改进技术。晶圆级器件多多少少也可以看作为大的倒装片。不过,倒装片要依赖填充胶来改进封装的机械和热疲劳阻抗。如果用晶圆级CSP替代传统的CSP作连线,就不能用填充胶材料了。

### 封装描述

用于组装和进行可靠性试验的器件不需要填充料。封装底垫用CSP尺寸的焊球连到0.75mm线宽的范围。此器件将用于制造诸如FLASH、DRAM、EEPROM和SRAM的存储器。

此器件是一个真正的晶圆级封装,它用标准的半导体工艺设备制造了再分布薄膜层,还运用了晶圆级焊点连接工艺。这个封装包含了一个双层电介质系统和苯并环丁烯聚合物(BCB)的聚合体以及一个Al/NiV/Cu的可软焊再分布薄膜层。

这个器件包含48个焊块,数量向中心慢慢减少地排列在6mm×8mm的面积内。封装呈矩形,物

理尺寸为0.317英寸×0.246英寸,厚度为0.438英寸(从芯片顶部到焊块尾部)。硅片的全部厚度是0.027英寸,上面的附属层厚约0.0003英寸。焊块组装前直径为0.0215英寸,高度为0.0165英寸。

封装的CTE约为4.5ppm/°C,质地坚硬,不因加热或冷却而弯曲。

### 测试版描述

在实验中用的测试版厚0.041英寸,采用四层(两个表面和两个内层)双侧FR4基板。板子刷上了有机可焊性保护层以保护铜底垫。

板子的玻璃态转化温度为175°C,CTE约为16ppm/°C。

实验中先后采用了六种测试图形。其中三种包含了标准的非阻焊层限定(NSMD)底垫,直径分别为0.011英寸、0.013英寸和0.015英寸,但是每个底垫另外包含了一个直径0.005英寸的连线,形成的导通孔用于连接表面信号层和内部信号层,未被填充。

### 测试计划

试验的主要目的是:研究晶圆级CSP封装中的各种问题;比较焊膏贴装法和熔接贴装法及其焊节的可靠性;

确定在各种导通孔图形上进行贴装的可行性,将其焊节分别与传统的NSMD底垫连接方式作比较;

对PCB底垫尺寸,分别就传统和导通孔结构焊接形式可靠性的影响作评估。

### 晶圆级CSP组装方案

晶圆级器件分别用两套方案进行贴装。方案1采用传统的CSP贴装工艺,而方案2采用标准倒装晶片流程。两种工艺中都强制对流烘箱对器件进行一次回流焊。

贴装之前,晶圆级器件以125°C的温度烘烤12小时,以去除封装上多余的水汽,防止前述封装破裂和分层现象出现。测试板被存储在密封的包装中,不进行烘烤。

方案1采用免清洗的含90%金属的IV Sn/37Pb焊膏进行贴装。首先,采用0.005英寸厚的不锈钢片做模板,用硬度95%的聚氨酯橡胶滚轮以与测试版成60°的角度把焊膏刷到PCB底垫上。15m/s的印刷速度和0.49公斤/英寸的压力可以得到完美的涂布结果。然后,晶圆级器件被粘贴在PCB上,最后送入强制对流烘箱进行回流焊。

方案2用薄膜涂料器将焊剂涂在晶圆级器件上。在贴装前,器件浸在0.0045英寸厚的免清洗粘质焊料中。器件一旦贴装后,马上被送入强制对流烘箱,这一过程不需要用填充料。

回流过程采用标准的“ram-p-soak-ram-p”法。首先将测试版和晶圆级器件以1.5°C/s的速率从室温开始加热到165°C。保持这一温度约140秒,使溶剂充分发挥。接着,以4.0°C/s的速率将板子和器件再加热到220°C的峰值。最后,以2.0°C/s的平均速率冷却到85°C,在这一过程中,先用47秒将温度降到焊料的液相线(183°C),再用6分钟54秒完成随后的冷却。在整个过程中,烘箱中通入微量氧气,同时通入氮气使氧气浓度低于50ppm。

## 可靠性及相关分析

### 可靠性分析

电子组件或独立器件的可靠性是指“在一个期望时间段内器件在可接受的失效概率下正常工作的能力”。空对空加速测试是检测电子器件可靠性的常用方法之一。它的目的是加速二级焊料的机械疲劳失效时间,其机能通常是场失效。

试验中采用的测试方法是20分钟的0/100空对空热循环法。每个循环中会分别在一个温度极限停留5分钟,然后以20%/分的转换速率变化到另一温度极限。

测试样品放置在原位,以一个256信道的探测系统(EDS)来监测。EDS可编程用来记录“事件”的发生,即循环地在最短间隔200ns的时间范围内检查电阻是否超过了300欧姆。在一个循环中,一个“事件”被探测到后,如用IPC-SM-785又验证到了9个相同“事件”,就可以确定器件失效。

为减少组件进一步损坏,我们在热循环过程中通常会去除这些失效点。用电子探针测试出现问题的板子,将可疑的失效点隔离起来,然后在失效点将组件从平衡面切开,用显微镜检测。

每个样品的可靠性都以完成热循环测试的情况来表征。封装可靠性(即寿命)通常以样品上63.2%的焊点发生失效时的数据来描述。这些数据包括2维参数的威布尔故障数据分析,它提供了寿命(N63.2)和其他信息,如适合度(fit)、斜率(slope)和失效初始态(N01)。适合度描述了数据对直线的偏离。单个机械疲劳失效的适合度通常为0.900或更大一点。斜率(即值)描述了样品的连续失效率。斜率越大,疲劳失效率越大,斜率小于1定义为非失效情况。初始态描述了在一个循环时间内1%的样品失效的情况。软件包用测量可靠性的传统“排序回归法”形成威布尔图。

通过以下几个方面进行可靠性分析:常规底垫和导通孔结构的比较;焊膏组装和焊剂组装的比较;PCB底垫的不同尺寸。

### 结果和失效分析

热循环试验中用了72个封装器件。第一次失效发生在第309个循环。晶圆级封装用焊膏装配在0.013英寸的普通底垫上,失效位置已用化学方法确定,但是截面分析却没能找出早期失效的原因。焊点的二级失效继续发生,但是没有发现焊点有疲劳迹象。第二次失效发生在第1756个循环,可确定由二级焊料疲劳造成(图2)。

早期失效对于晶圆级封装的可靠性分析有显著影响。在威布尔故障数据分析中,组件的N01预期值为1098(第1098个

热循环)。而实际上N01通常为1500。不过,早期失效对于N63.2的值没有多少影响。

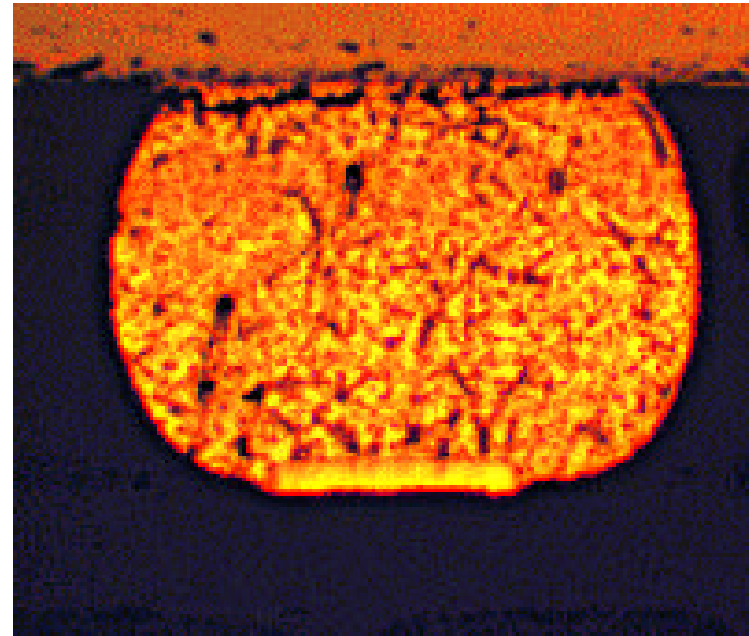


图2 典型的疲劳失效

通过数据分析可以看到以下三个趋势:以导通孔结构组装器件,其N63.2比在一般底垫上装配高16%,假设分析发现两者间差别显著;减小底垫的尺寸可以增加焊节的可靠性,实验发现底垫尺寸从0.015减小到0.011英寸可使N63.2平均增加35%。假设分析发现这种差别非常显著;用焊膏法或熔接法贴装器件对可靠性影响不大(对于同一种底垫),熔接法组装的N63.2的值稍大一点。

横截面分析显示封装失效模型主要由焊料疲劳引起。疲劳失效发生在器件接触脚附近的焊料块中,与板子底垫的尺寸和类型无关。疲劳裂纹非常细小,从焊点外圈拐角处开始,向中心延伸。

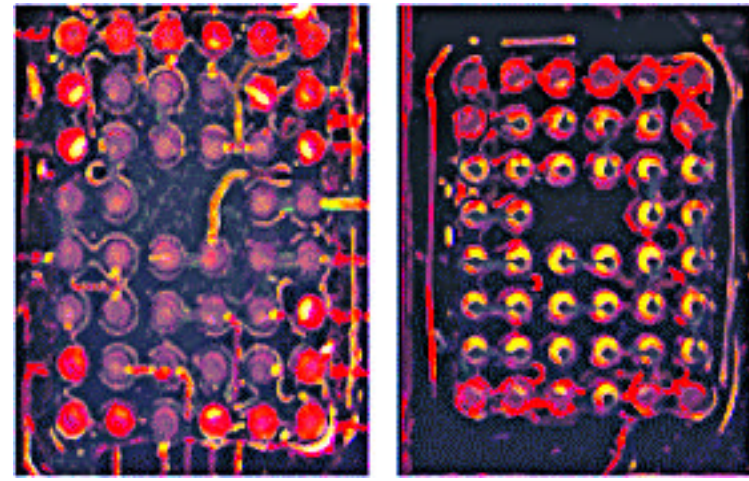


图3 染色渗透试验结果

失效样本的电学测试显示焊点在封装外圈拐角上发生严重疲劳,此处离中性点距离最长。我们又对样品进行染色渗透试验(图3),证实了横截面分析和电学分析的观察结果。

综上,可以得出结论:晶圆级器件可以用标准表面贴装技术进行大批量组装;导通孔结构上焊点的可靠性与普通底垫上的焊点可靠性相同;将底垫尺寸从0.015英寸减小到0.011英寸比将焊膏工艺换为熔接工艺对可靠性的改进更大;导通孔结构中因有空气滞留在孔中而在焊点内形成气泡,但对焊点的可靠性没有影响。

## 晶圆级CSP组装的观测

运用电子、肉眼和X射线等观测技术来评定晶圆级贴装工艺。

万用表探针测试显示所有的组件的电学性能都很好。分析还显示不同的参数组合(PCB底垫的不同尺寸,采用焊膏法或熔接法)对菊花链式组件的平均阻抗会有微小影响。

组件的X射线图片显示板上没有出现焊点桥接、焊节起球或其他缺陷。但是,无论是焊膏组装还是熔接组装方式,导通孔结构PCB上的焊点内均有气泡出现。这些气泡的尺寸(约为焊节横截面积的5%)和出现频率(每个焊节一个)基本一致。因此,这样的气泡可以为球栅阵列的IPC-7095标准所接受。一般PCB底垫上的焊节气泡都小到可以忽略不计。

通过观测典型组件的横截面可以研究焊节质量、高度,用X射线可以观测气泡情况。横截面显示焊料隆起对传统PCB底垫的分布大小正好,可形成崩溃和冶金结合性能都很棒的焊点。形成导通孔结构的焊节,其横截面显示X射线所观察到

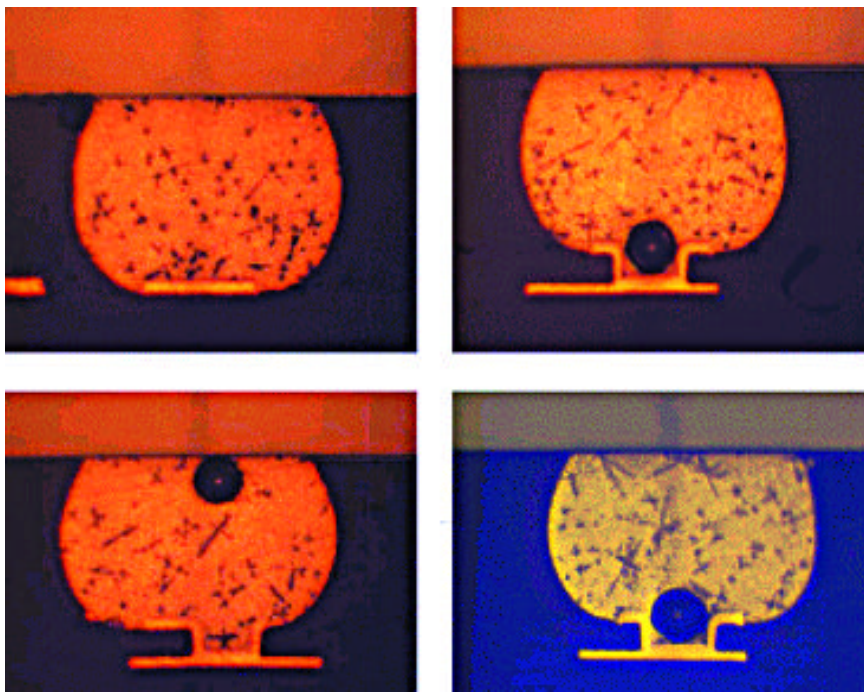


图1 普通底垫和导通孔结构上焊点的横截面图

的无数气泡是回流过程中被截留在导通孔中的气体形成的,因为在多数情况下,虽然焊料被涂布在导通孔的底部和边墙上,还是有一些气泡会留在孔

中。在器件直接置于通孔之上的接触垫周围,气泡出现的概率较小,这样通孔就可以完全被焊料填满。通常,气泡的尺寸与通孔的尺寸大小相当。图1显示了焊点的横截面图。

焊节高度用激光轮廓测定仪结合横截面分析来测量。高度对于封装重量、I/O管脚数、焊球大小、PCB底垫尺寸、焊膏量以及其他参数都有影响。测量结果显示出熔接法贴装器件的焊节高度与PCB底垫的尺寸成反比。当底垫尺寸减小的时候,可用于焊接的实际底垫面积也会减小。为了减小焊球在板上铺开而使焊料污染PCB底垫的情况,焊节高度就要增加。而焊膏法贴装没有这种情况出现。事实上,在底垫尺寸分别为0.011英寸、0.013英寸和0.015英寸的PCB上用焊膏法贴装器件,并没有观察到焊点高度有什么显著不同。这是因为试验中所用的模板在PCB上引入了大缝隙从而增大了底垫面积,于是需要运用更多的焊膏来填补增加的可焊面积。不过总的来说,焊膏法比相应的熔接法产生的焊球更高。

# AOI技术在SMT生产上的实施技巧与策略

烽火通信科技股份有限公司 鲜飞

经过近10年的努力,自动光学检测系统(AOI)最终被成功地运用在印刷电路板(PCB)的贴装生产线上。在这段时间内,AOI供应商的数量急剧增加,各种AOI技术也得到了长足发展。目前,从简单的摄像系统到复杂的3-D X光检测系统,众多供应商们已经几乎能够提供可以适用于所有自动生产线的AOI设备。

### 应用策略与技巧

在电子组装业中,元件的微型化和密集化是一直以来的发展趋势。这促使制造商为其生产线安装AOI设备。因为依靠人工已经不可能对分布细密的元件进行可靠而一致的检测,并且保存精确的检测记录。而AOI则可以进行反复而精确的检测,检测结果的存贮和发布还可以实现电子化。

AOI已成为有效的过程控制工具,它可以帮助制造商提高在线测试(ICT)或功能测试的通过率、降低目检和ICT的人工成本、避免ICT成为产能瓶颈、缩短新产品产能提升周期以及通过统计过程控制(SPC)改善成品率。

检测设备所放置的位置可以实现或阻碍检查目

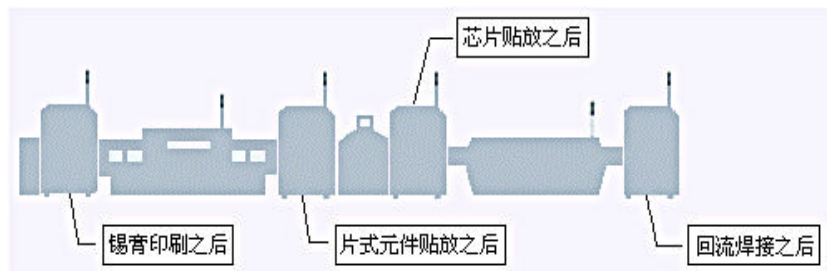


图1 AOI的放置策略

一般说来,如图1所示,可以在一条生产线中四个生产步骤的任意一步之后有效地运用AOI。以下将分别介绍AOI在SMT PCB生产线上的四个不同生产步骤后的应用。可以粗略地将AOI分为预防问题与发现问题两类。在接下来的描述中,锡膏印刷之后、(片式)器件贴装之后和元件贴装之后的检测可以归为预防问题一类,而最后一个步骤(回流焊之后的检测)则可以归为发现问题一类,因为在这个步骤检测并不能阻止缺陷的产生。

锡膏印刷之后,在很大程度上有缺陷的焊接均来源于有缺陷的锡膏印刷。在这个阶段,可以很容易、很经济地清除掉PCB上的焊接缺陷。大多数2-D检测系统都能监控锡膏的偏移和歪斜,不足的锡膏区域以及溅锡和短路。3-D系统还可以测量焊锡的量。

片式元件贴装之后,这个阶段的检测可以检查出(片式)器件缺件、移位、歪斜和(片式)器件的方向故障。这个检测系统同时还可以检查用于连接间距和球栅阵列(BGA)元件的焊盘上的锡膏。

元件贴装之后,在设备向PCB上贴装元件之后,检测系统能够检查PCB上缺失、偏移以及歪斜的元件,还能查出元件极性的错误。

回流焊之后,在生产线的末端,检测系统可以检查元件的缺失、偏移和歪斜的情况,以及所有极性方面的缺陷。该系统还一定要对焊点的正确性以及锡膏不足、焊接短路和翘脚等缺陷进行检测。如果需要,还可以在第二、三和四步骤加入光学字符识别(OCR)和光学字符校验(OCV)这两种方法进行检测。

工程师和厂商对不同检测方法利弊的讨论总是无休止,其实选择的主要标准应该着眼于元件和工艺的类型、故障谱和对产品可靠性的要求。如果使用许多BGA、芯片级封装(CSP)或者倒装

芯片元件,就需要将检测系统应用到第一和第二步骤,以发挥其最大的功效。另外,在第四阶段后进行检测可以有效地发现低档消费品的缺陷。而对运用在航空航天、医学及安全产品(汽车气囊)领域的PCB来说,由于对质量要求十分严格,则可能会要求在生产线上的许多地方都进行检测,尤其是在第二和第四步骤后。对这一类PCB,则可以选择用X射线来进行检测。

### 避免AOI测试的局限性

引进AOI设备的意义首先在于克服人工目检的局限性。目前在产品生产过程检测上主要依靠人工目检,由于人工检验的主观性,其检验结果并不十分令人信服,而且对于高密度复杂的表面贴装电路板,人工目检既不可靠也不经济,而对微小的组件,如0603、0402等,人工目检实际上已失去了意义。

由于AOI技术是一项新技术,还有一些不完善的地方,因此在引进上不能盲目。对于正在考虑引进这一新技术的企业,建议在对各种型号AOI设备进行仔细调研的基础上,先引进一台适合的AOI设备离线使用,主要用于工厂所有SMT生产线产品的抽检工作。另外若生产线出现特别的问题,也可根据情况对某条线特别的位置(如回流

焊后等)进行全检,这样既兼顾了设备的利用率,同时又考虑了对工厂所有SMT生产线进行监控的要求,并节约了生产投资。若使用情况良好,可考虑再引进几台AOI设备在线使用,以改变目前主要依靠人工目测的现状,提高工厂的自动化生产水平。

任何事物都不可能十全十美,AOI技术也存在其不足之处,例如AOI系统不能检测电路错误,对不可见焊点(如BGA)的检测也无法为力;AOI检测设备的可靠性、准确性不能令人完全信任;SPC应用不够成熟等。需要指出的是,由于上述局限性的存在,AOI还不能完全取代ICT、X射线测试等其它技术,应通过与其它技术一起使用来达到最佳的测试效果。

### 相关链接

#### AOI技术的优点

作为对传统测试方法经济、可靠的补充,AOI被用做测量印刷机或组件贴装机械性能的过程监测工具,其优点包括:

- 1)检查和纠正PCB缺陷,在过程监测期间进行的成本远远低于在最终测试和检查之后进行的成本。
- 2)能尽早发现重复性错误,如贴装位移或不正确的料盘安装等。
- 3)为工艺技术人员提供SPC资料。
- 4)能适应PCB组装密度进一步提高的要求。
- 5)测试程序的生成十分迅速。
- 6)能跟上SMT生产线的生产节拍。
- 7)检测的可靠性较高。