

# 测试技术在电子组装行业上的应用 与发展

(烽火通信科技股份有限公司 430074) 鲜 飞

**摘 要** 高密度封装技术的飞速发展也给测试技术提出了新挑战。为了应对挑战,新的测试技术不断涌现,主要介绍了几种新型测试技术的特点,并对测试技术的发展趋势及方向进行了初步分析。

**关键词** 集成电路 封装 测试技术 自动光学检测技术 自动X-射线检测

## Application and Development of Testing Technology for Electronics Assembly Industry

Xian Fei

**Abstract** The rapid development of high density packaging technology has already bring up the new challenge to testing technology. For replying challenge, the new testing technology continuously appears. Characteristics of several advanced testing technology are introduced in the paper. The up-to-date trends are discussed and the future research directions are suggested.

**Key words** IC package testing technology AOI AXI

自20世纪90年代中后期开始,IC(集成电路)封装技术就不断向着高度集成化、高性能化、多引线和细间距化方向发展,并驱使着一些相关测试技术的淘汰和演变。在电子产品小型化的进化压力推动之下,测试技术也像物种一样,遵循着“适者生存”的简单法则。留心看看测试技术的发展之路,可以帮助我们预测未来。

目前测试技术种类繁多,常用的有手工视觉检查(manual visual inspection,简称MVI)、在线测试(in-circuit tester,简称ICT)、自动光学测试(automatic optical inspection,简称AOI)、自动X射线测试(automatic X-ray inspection,简称AXI)、功能测试(functional tester,简称FT)等。由于电子组装行业的复杂性,很难界定哪些手段是组装业所必需的而哪些是不需要的,每种测试技术的应用领域和测试手段

都不尽相同。本文将重点介绍AOI测试技术、ICT测试技术和AXI测试技术,以供广大企业选型时参考。

### 1 测试技术介绍

#### 1.1 AOI测试技术

随着路板上元器件组装密度提高,给电气接触测试增加了困难,将AOI技术引入到SMT生产线的测试领域也是大势所趋。AOI不但可对焊接质量进行检验,还可对裸板、焊膏印刷质量、贴片质量等进行检查。各工序AOI的出现几乎完全替代人工操作,对提高产品质量、生产效率都是大有作为的。当自动检测(AOI)时,AOI通过摄像头自动扫描PCB,采集图像,测试的焊点与数据库中的合格的参数进行比较,经过图像处理,检查出PCB上缺陷,并通过显示器或自动标志把缺陷显示/标示出来,供维修人员修整。

现在的 AOI 系统采用了高级的视觉系统、新型的给光方式、增加的放大倍数和复杂的算法,从而能够以高测试速度获得高缺陷捕捉率。AOI 系统能够检测下面错误: 元器件漏贴、钽电容的极性错误、焊脚定位错误或者偏斜、引脚弯曲或者折起、焊料过量或者不足、焊点桥接或者虚焊等。AOI 除了能检查出目检无法查出的缺陷外, AOI 还能把生产过程中各工序的工作质量以及出现缺陷的类型等情况收集、反馈回来, 供工艺控制人员分析和处理。但 AOI 系统也存在不足, 如不能检测电路错误, 同时对不可见焊点的检测也无能为力。

AOI 系统可用于 SMT 生产线上的多个位置(如图 1 所示), 但有三个检查位置是主要的:

(1) 锡膏印刷之后。如果锡膏印刷过程满足工艺控制要求, 那么 ICT 发现的缺陷数量可大幅度的减少。典型的印刷缺陷包括: 焊盘上焊锡不足、焊盘上焊锡过多、焊锡偏移、焊锡桥等等。这个阶段生成的定量过程控制数据包括印刷偏移和焊锡量信息, 而有关印刷焊锡的定性信息也会产生。

(2) 回流焊前。检查是在元件贴放在板上锡膏面之后和 PCB 送入回流炉之前完成的。这是一个典型的放置检查 AOI 的位置, 因为这里可发现来自锡膏印刷以及机器贴放的大多数缺陷。在这个位置产生的定量的过程控制信息, 提供高速贴片机和精细间距元件贴装设备校准的信息。这个信息可用来修改元件贴放或表明贴片机需要校准。

(3) 回流焊后。在 SMT 工艺过程的最后步骤进行检查, 这是目前 AOI 最流行的选择, 因为这个位置可发现全部的装配错误。回流焊后检查提供高度的安全性, 因为它识别由锡膏印刷、元件贴装和回流过程引起的错误。

虽然各个位置都可检测特殊缺陷, 但 AOI 检查设备应放到一个可以尽早识别和改正最多缺陷的位置。

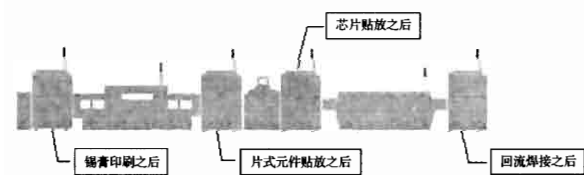


图1 AOI的放置策略

## 1.2 ICT 测试技术

电气测试使用的最基本仪器是在线测试仪 (ICT), 传统的在线测试仪测量时使用专门的针床与

已焊接好的线路板上的元器件接触, 并用数百毫伏电压和 10 毫安以内电流进行分立隔离测试, 从而精确地测出所装电阻、电感、电容、二极管、三极管、可控硅、场效应管、集成块等通用和特殊元器件的漏装、错装、参数值偏差、焊点连焊、印制线路板开短路等故障, 并将故障是哪个元件或开短路位于哪个点准确告诉用户。针床式在线测试仪优点是测试速度快, 适合于单一品种民用型家电印制线路板大规模生产的测试, 而且主机价格较便宜。但是随着印制线路板组装密度的提高, 特别是精细间距 SMT 组装以及新产品开发生产周期越来越短, 印制线路板品种越来越多, 针床式在线测试仪存在一些难以克服的问题: 测试用针床夹具的制作、调试周期长、价格贵; 对于一些高密度 SMT 线路板由于测试精度问题无法进行测试。

基本的 ICT 近年来随着克服先进技术局限的技术而改善。例如, 当集成电路变得太大以致于不可能为相当的电路覆盖率提供探测目标时, ASIC 工程师开发了边界扫描技术。边界扫描 (boundary scan) 提供一个工业标准方法来确认在不允许探针的地方的元件连接。额外的电路设计到 IC 内面, 允许元件以简单的方式与周围的元件通信, 以一个容易检查的格式显示测试结果。

另一个非矢量技术 (vectorless technique) 将交流 (AC) 信号通过针床施加到测试中的元件。一个传感器板靠于测试中的元件表面压住, 与元件引脚框形成一个电容, 将信号偶合到传感器板。没有偶合信号表示焊点开路。

用于大型复杂板的测试程序人工生成很费时费力, 但自动测试程序产生 (ATPG, automated test program generation) 软件的出现解决了这一问题, 该软件基于 PCB 的 CAD 数据和装配于板上的元件规格库, 自动地设计所要求的夹具和测试程序。虽然这些技术有助于缩短简单程序的生成时间, 但高节点数测试程序的论证还是费时并具有技术挑战性的。

## 1.3 AXI 测试技术

AXI 是近几年才兴起的一种新型测试技术。当组装好的印制电路板 (PCB) 沿导轨进入机器内部后, 位于 PCB 上方有一 X-Ray 发射管, 其发射的 X 射线穿过 PCB 后被置于下方的探测器 (一般为摄像机) 接受, 由于焊点中含有可以大量吸收 X 射线的铅, 因此与穿过玻璃纤维、铜、硅等其它材料的 X 射线相比, 照射

在焊点上的X射线被大量吸收，而呈黑点产生良好图像(如图2所示)，使得对焊点的分析变得相当直观，故简单的图像分析算法便可自动且可靠地检验焊点缺陷。AXI技术已从以往的2D检验法发展到目前的3D检验法。前者为透射X射线检验法，对于单面板上的元件焊点可产生清晰的视像，但对于目前广泛使用的双面贴装线路板，效果就会很差，会使两面焊点的视像重叠而极难分辨。而3D检验法采用分层技术，即将光束聚焦到任何一层并将相应图像投射到一高速旋转的接受面上，由于接受面高速旋转使位于焦点处的图像非常清晰，而其它层上的图像则被消除，故3D检验法可对线路板两面的焊点独立成像。

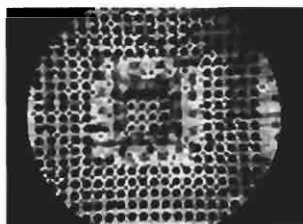


图2 清晰的BGA焊点

3D X-Ray技术除了可以检验双面贴装线路板外，还可对那些不可见焊点如BGA (Ball Grid Array, 球栅阵列)等进行多层图像“切片”检测，即对BGA焊接连接处的顶部、中部和底部进行彻底检验。同时利用此方法还可检测通孔(PTH)焊点，检查通孔中焊料是否充实，从而极大地提高焊点连接质量。

## 2 几种测试技术之间的比较

ICT测试是目前生产过程中最常用的测试方法，其具有较强的故障能力和较快的测试速度等优点。该技术对于批量大，产品定型的厂家而言，是非常方便、快捷的。但是，对于批量不大，产品多种多样的用户而言，需要经常更换针床，因此不太适合。同时由于目前线路板越来越复杂，传统的电路接触式测试受到了极大限制，通过ICT测试和功能测试很难诊断出缺陷。随着大多数复杂线路板的密度不断增大，传统的测试手段只能不断增加在线测试仪的测试接点数。然而随着接点数的增多，测试编程和针床夹具的成本也呈指数倍上升。开发测试程序和夹具通常需要几个星期的时间，更复杂的线路板可能还要一个多月。另外，增加ICT接点数量会导致ICT测试出错和重测次数的增多。

AOI技术则不存在上述问题，它不需要针床，在计算机程序驱动下，摄像头分区域自动扫描PCB，采

集图像，测试的焊点与数据库中的合格的参数进行比较，经过图像处理，检查出PCB上缺陷。极短的测试程序开发时间和灵活性是AOI最大的优点。AOI除了能检查出目检无法查出的缺陷外，AOI还能把生产过程中各工序的工作质量以及出现缺陷的类型等情况收集，反馈回来，供工艺控制人员分析和管理。表1是两者之间的比较。

但AOI系统也存在不足，如不能检测电路错误，同时对不可见焊点的检测也无能为力。经过我们的调研，我们发现AOI测试技术在实际应用过程中会存在一些问题：(1)AOI对测试条件要求较高，例如当PCB有翘曲，可能会由于聚焦发生变化导致测试故障，而如果将测试条件放宽，又达不到测试目的。(2)AOI靠识别元件外形或文字等来判断元件是否贴错等，若某种元件外形经常发生变化(如由不同公司提供的元件)，这样需要经常更改元件库参数，否则将会导致误判。参见表1。

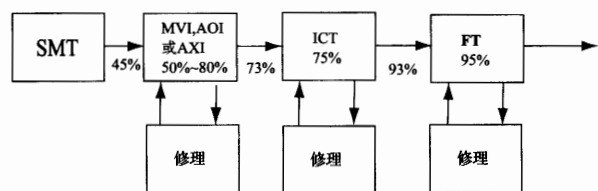
表1 AOI与ICT的比较

内容	AOI	ICT (针床式)
最小测试间隙	无限制	1.27 mm
测试速度	稍慢	快
线路板更改	可以(多品种)	不可
测试精度	高	稍低
编程费用	低	昂贵
设备费用(参考)	10万~20万美金	2万~5万美金

AXI技术是目前一种相对比较成熟的测试技术，其对工艺缺陷的覆盖率很高，通常达97%以上。而工艺缺陷一般要占总缺陷的80%~90%，并可对不可见焊点进行检查，但AXI技术不能测试电路电气性能方面的缺陷和故障。尽管如此，AXI技术在电子通讯行业中的应用前景令人看好，例如上海贝尔、青岛郎讯等都已采用了这一新技术。

## 3 测试技术的应用前景展望

从目前应用情况来看，采用两种或以上技术相结合的测试策略正成为发展趋势(如图3所示)。



注：百分数为所能发现的缺陷比

图3 组合测试技术

因为每一种技术都补偿另一技术的缺点：从将 AXI 技术和 ICT 技术结合起来测试的情况来看，一方面，X 射线主要集中在焊点的质量。它可确认元件是否存在，但不能确认元件是否正确，方向和数值是否正确。另一方面，ICT 可决定元件的方向和数值但不能决定焊接点是否可接受，特别是焊点在封装体底部的元件，如 BGA、CSP（chip size package，芯片尺寸封装）等。图 4 为 AXI 和 ICT 测试方法检查范围互补图。

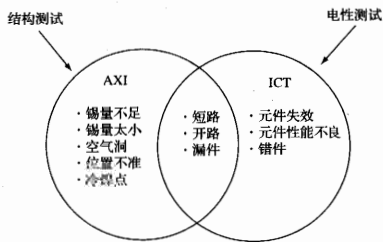


图 4 AXI 和 ICT 测试方法检查范围互补图

需要特别指出的是随着 AXI 技术的发展，目前 AXI 系统和 ICT 系统可以“互相对话”，这种被称为“AwareTest”的技术能消除两者之间的重复测试部分。通过减小 ICT/AXI 多余的测试覆盖面可大大减小 ICT 的接点数量。这种简化的 ICT 测试只需原来测试接点数的 30% 就可以保持目前的高测试覆盖范围，而减少 ICT 测试接点数可缩短 ICT 测试时间、加快 ICT 编程并降低 ICT 治具和编程费用。

在过去的两三年里，采用组合测试技术，特别是 AXI/ICT 组合测试复杂线路板的情况出现了惊人的增长，而且增长速度还在加快，因为有更多的行业领先生产厂家意识到了这项技术的优点并将其投入使用。



#### 作者简介

鲜飞 (1975- )，男，本科，工程师，从事电子组装工艺技术工作，有 50 多篇专业论文发表。