

塑封半导体器件特殊封装缺陷的声学扫描检测

李 智 闫玉波 钟 炜 王志林

(中国航天科工集团第三研究院第三〇三研究所 北京 100074)

摘 要:随着塑封器件质量与可靠性的提升,塑封器件在航空、航天、军用领域的应用越来越广泛。但是封装缺陷是塑封半导体器件常见的可靠性问题。声学扫描检测技术是一种基于超声波反射成像的无损检测技术,可以有效的检测塑封器件各类封装缺陷。简要介绍了塑封半导体器件内部材料、界面分层缺陷及相关失效机理,并基于裸露散热基板的塑封器件、无键合引线的塑封器件和 BGA 封装塑封器件的声学扫描检测实例,对声学扫描检测技术在塑封器件内部缺陷检测方面的应用进行了深入分析探讨,通过对比国军标和美军标的相关判据,对部分特殊的封装缺陷提出了合适的参考判据和检测依据。

关键词:塑封; 半导体器件; 声学扫描检测; 封装缺陷

中图分类号: TN606 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 43025

Scanning acoustic inspection of unique plastic encapsulated semiconductor device package defects

Li Zhi Yan Yubo Zhong Wei Wang Zhilin

(The 303 Research Institute of China Aerospace Science & Industry Corp, Beijing 100074, China)

Abstract: With quality and reliability improvements, plastic devices are widely used in aviation, aerospace, and military industries fields. Package defects are common reliability issues of plastic encapsulated semiconductor devices. Scanning acoustic inspection is an effective non-destructive testing method for plastic device package defects, which is based on ultrasonic reflection imaging technology. The material reliability, interface delamination, and corresponding failure mechanisms are introduced in this paper. The scanning acoustic inspections of exposed-thermal-pad construction, non-wire-bonding construction, and BGA package are discussed in the paper. The author presents the application precautions of scanning acoustic inspection technology for plastic package defects detection. The differences between GJB standards and MIL standards are also discussed. The author makes proper suggestion for package defect criteria.

Keywords: plastic encapsulated; semiconductor devices; scanning acoustic inspection; package defect

0 引 言

近年来,由于塑封半导体器件(简称塑封器件)可靠性的不断提高,同时具备在尺寸、重量、成本和可获得性等方面的优点,其在高可靠性领域的应用越来越广。但是由于其模塑化合物封装工艺的固有特点,塑封器件的应用不可避免潮气入侵、腐蚀、分层、开裂等可靠性风险,直接影响其长期可靠性。声学扫描显微镜(scanning acoustic microscope)技术可以有效的检测出由于塑封器件的固有材料和结构特点引起的分层、空洞、裂纹等缺陷,同时具有无损的特点^[1-2],已经逐渐成为一种对塑封器件在高可靠性领域应用至关重要的检测手段。

1 塑封器件内部材料、界面分层缺陷及相关失效机理介绍

和传统的密封器件相比,塑封器件是一种对潮气敏感的非气密性(nonhermetic)器件。根据美国航空航天局(NASA)的调查报告,塑封器件在暴露到空气中大概 24 h 之内就会达到潮气入侵的“饱和”。空气中存在着超过 130 种可以影响模塑材料的大气污染物,这些污染物和水分子会穿过模塑化合物到达器件内部。如果水汽入侵,在回流焊工艺的高温下器件内部的水将会转化为水蒸气,其产生的压力可以导致塑封材料不同界面间产生分层,空洞或者裂纹,甚至器件开裂的“爆米花”效应^[3-5],如图 1 所示。空气中污染物的入侵将会加快金属表面的离子电迁移,导致金属腐蚀,或者催化引发柯肯德尔(Kirkendall)效

应,造成键合失效。

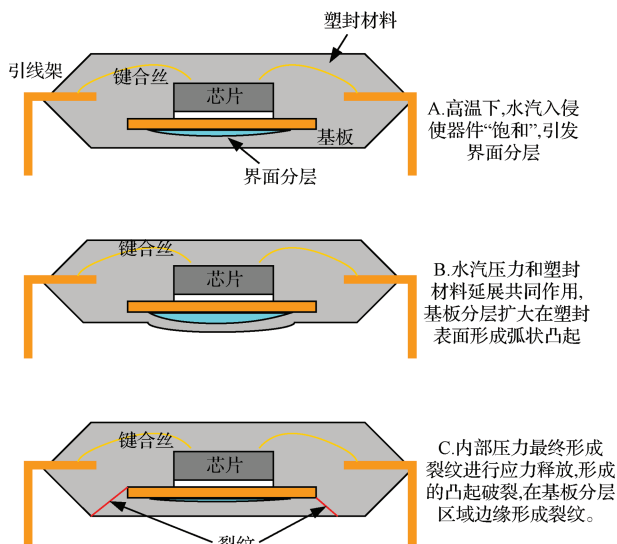


图1 塑封器件内部缺陷失效机理

声学扫描显微镜利用超声波在不同界面中传播时反射相位不同的原理,可以有效的检测不同封装结构的塑封器件内部的分层、空洞、裂纹等缺陷^[6]。本文采用探头频率 30 MHz 和 50 MHz 的超声波扫描显微镜对不同封装结构的塑封器件进行检查,以对其内部缺陷进行有效的判定和分析。

2 不同结构塑封器件的声学扫描检测

2.1 裸露散热基板的表面安装塑封器件

2.1.1 封装结构特点

随着表面贴装技术(surface-mount technology)和大封装尺寸的应用,由水汽入侵引起的塑封器件内部分层缺陷逐渐引起大家的重视。表面贴装器件的小尺寸趋势使得芯片到基板和塑封外表面的距离越来越小,而这一厚度又恰是决定塑封器件潮气敏感性的重要因素之一。越小的厚度带来更高的可靠性风险。为此,半导体工业不断尝试新的技术和方法来改善表面贴装的塑封器件的可靠性。美国德州仪器公司(TI)采用了具有 PowerPad 专利的 PWP 封装。以该公司生产的 TPS767D301PWP 型电压调整器为例,该器件基于传统的 TTSOP 封装,在器件背面裸露了一部分基板从而起到加强散热作用(exposed thermal pad),其外观和内部 X 射线结构如图 2、图 3 所示。

2.1.2 声学扫描显微镜检查出现的问题

尽管这种封装结构在散热方面存在优势,但在声学扫描显微镜检查时出现了新问题:

1)由于裸露基板的原因,不存在背面塑封材料与基板界面(后视图),根据 GJB4027A-2006 工作项目 1103 的规定,只对其内部的 5 个界面进行有效声学扫描显微镜检

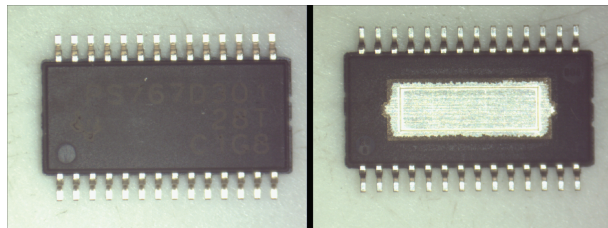


图2 PWP 封装的 TPS767D301 器件外部形貌

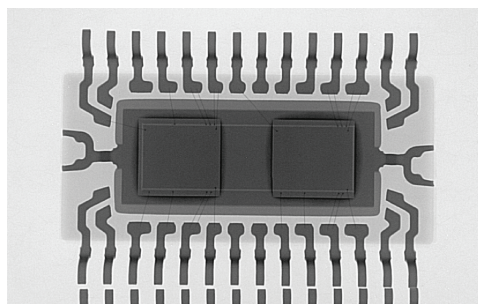


图3 PWP 封装的 TPS767D301 器件 X 射线照片

查,在后视图时只需要对塑封材料与引线架界面,芯片与基板粘接界面进行检查。

2)在对器件后视图进行声学扫描检查时,由塑封材料与引线架界面分层,引脚从塑封完全剥离造成的不合格比例很高。经过对某航天研究院该型号器件近一年的破坏性物理分析(DPA)和筛选数据统计,发现在 16 个不同批次的 DPA 试验中出现了 13 个批次的声学扫描显微镜检查不合格,且缺陷均为“塑封与引线架界面分层(后视图)”,典型照片如图 4 所示。对部分不合格批次器件进行了全部声学扫描显微镜检查,结果每一批次的不合格率均超过了 QJB103 中对塑封表贴封装要求的 20%,而且不合格缺陷中“塑封与引线架界面分层(后视图)”的比率超过 98%。

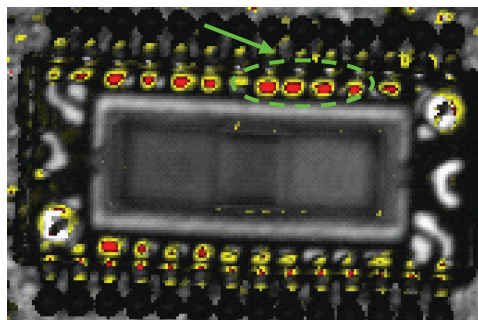


图4 PWP 封装 TPS767D301PWP 典型声扫后视图

对该公司采用裸露散热基板的 PWP 封装结构的其它型号塑封器件进行的 DPA 实验都有着类似的结果。可见采用裸露散热基板的 TSSOP 封装结构有很高的概率在引线架和塑封材料界面(后视图)出现引脚完全剥离的分层。

2.1.3 引脚后侧分层缺陷分析

目前国内对于塑封器件的声学扫描显微镜检查仅在 GJB4027A-2006 工作项目 1103 第 2.4 条规定了适用于 DPA 的判定标准,其他如航天科工标准 QJB103 等均引用该条进行检查。美国 NASA 发布的 PEM-INST-001 对塑封微电路的选择、筛选和鉴定均提出了具体的要求,其中筛选(screening)项目对于声学扫描检查(C-SAM)只要求进行正面(top side)的检查,只有对功率器件要求从背面进行芯片粘接的检查(有热沉或基片结构)。其缺陷判据也由其中用于 DPA 的 6 个界面 8 个缺陷缩减为 3 个。对于塑封器件,可能引入污染和腐蚀的键合丝区域的引脚分层和芯片表面的分层是最值得关注的部分,位于器件正面的这两个界面都由键合丝和引脚提供了从外部连接芯片金属化的通道。在 PEM-INST-001 中规定进行筛选的声学扫描显微镜检查的器件,应该在结束后进行 1 h 125℃ 的烘烤,以除去在进行超声波检查时浸入用作耦合的去离子水中带来的潮气影响。而国内对于声学扫描显微镜检查本身引入的潮气入侵危害并没有相应的预防规定。因此,如果按照美国 NASA 的标准对塑封器件进行筛选和鉴定,那么这种 PWP 结构的器件即使在 DPA 中出现引脚后侧分层缺陷导致的不合格,其筛选也可以通过声学扫描显微镜检测,满足 NASA 对塑封器件空间使用的要求。

另一方面,美国的联合工业标准 IPC/JEDEC J-STD-020 规定了非气密表面安装器件的潮气/回流敏感等级划分试验,该标准规定了在声学扫描显微镜检查之前进行的一系列烘烤、潮气入侵和回流模拟等试验,充分考虑了实际应用中的各项应力影响。在其 6.2 条“需要后续分析的判据”中说明对通过了电性能测试的表面安装器件,如果发现后侧分层出现在基板,散热片,或者芯片背面(对于引线架在芯片上的器件),但是没有证据出现裂纹或者其他分层的话,器件同样视同通过了该等级的潮气敏感度试验^[7-9]。可见该标准并未将器件背面的分层作为一项关键判据。

2.2 无键合引线的塑封半导体分立器件

随着对器件小型化、轻量化的要求,塑封分立器件也逐渐进入航空航天等高可靠性领域。利用 DPA 分析可以对其批质量进行评价^[10-13]。塑封分立器件的 DPA 参考 GJB 4027A-2006 工作项目 1103 塑封半导体集成电路和 GJB 128A-1997 半导体分立器件实验方法,其声学扫描显微镜检查参考 GJB4027A-2006 工作项目 1103 第 2.4 条^[14-15]。但是由于该类器件在封装结构上和塑封微电路多有不同,因此在声学扫描显微镜检查中需要观察点和缺陷判据都有待分析和讨论。

以 PANJET 公司生产的 3.0SMCJ90A 为例,该器件是一种塑封表面安装的瞬态电压抑制(TVS)管。其外观形貌如图 4 所示。对该器件进行 X 射线检查,可见其内部结构是由上下两层基板粘接中间的芯片形成电连接,两基

板向器件两侧引出形成外引脚用于表面安装,所以其基板本身也代替了引线架的作用,内部也不存在键合丝互连,如图 5、图 6 所示。



图 5 塑封 3.0SMCJ90A 器件外部形貌

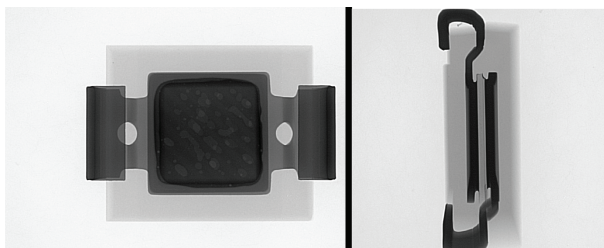


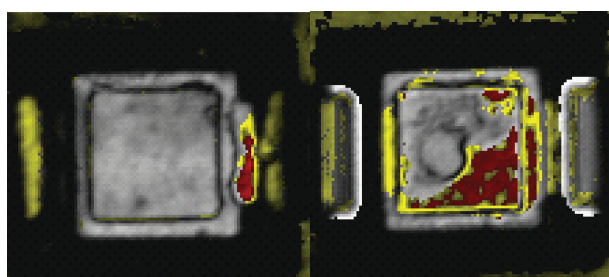
图 6 塑封 3.0SMCJ90A 器件 X 射线照片

在对该型号器件进行声学扫描显微镜检查时,发现器件的塑封材料与引线架界面和塑封材料与基板界面均存在分层,如图 7 所示。按 GJB4027A-2006 工作项目 1103 第 2.4 条中的规定,器件的塑封材料与引线架界面存在包括键合丝区域的引脚分层,或者塑封材料与基板界面分层超过其后侧面积的 1/2 都属于标准判据。但是通过对该器件的内部结构进行观察,发现虽然其外管脚都向一侧弯曲用于表面安装,但是其内部结构是正反两面对称的,所以对基板的分层应该在正面和后面都进行缺陷的判定。同时,该 TVS 管采用基板直接作为外部电连接,对基板边缘的检查应采用塑封材料和引线架界面的相关判据,而这种结构在芯片和引线架上均不存在键合区域,所以不存在包括键合丝区域的引脚分层这一缺陷。对该批器件进行筛选,表现出良好的电性能合格率。参考相关标准,对该器件的声学扫描显微镜检查结果应该是在塑封材料与引线架界面、塑封材料与基板界面存在分层未超标,给出合格的结论。

2.3 BGA 封装塑封半导体集成电路

随着电子产品向高密度和高集成方向的发展,BGA(球栅阵列)封装因为具有更小的引线间距、更高的焊点密度、更短的引线长度、更平整的焊接平面等优点,在高可靠性领域的应用比例逐渐增大。

对于 BGA 封装集成电路的 DPA 实验,可以参考 GJB 4027A-2006 工作项目 1103 塑封半导体集成电路和 GJB 548B-2005 微电子器件试验方法和程序进行。但是由于该类器件在封装结构上的特殊性,背面覆盖了大量的球栅阵列,所以在声学扫描显微镜检查中只对器件的塑封材料



(a) 塑封材料与引线架界面分层 (b) 塑封材料与基板界面分层

图7 无键合引线的 3.0SMCJ90A 声扫图像

与芯片界面、塑封材料与 PCB 界面进行有效的声学扫描显微镜检查。

以 TI 公司生产的 TMS320C6713BGDPA200 为例,该器件为 BGA 封装的 DSP 处理器,其外观和内部 X 射线照片如图 8 所示。在对其进行声学扫描显微镜检查中,发现在塑封材料内部存在空洞。根据 GJB4027A-2007 工作项目 1103 第 2.4.4.d 条,“跨越键合丝的模塑化合物的任何空洞”的缺陷应拒收,否则缺陷判定为空洞未超标。如图 9 所示。



图8 BGA 封装 TMS320C6713BGDPA200
外部形貌和 X 射线照片

由 ALTERA 公司生产的 EP2C5F256I8N 器件同样采用塑封 BGA 封装的现场可编程门阵列(FPGA)。其外观和 X 射线照片如图 10 所示。对某批次该器件进行声学扫描显微镜检查时,发现其在 PCB 内部存在裂纹,对其采用 Q-BAM 虚拟切面扫描,可以清晰的看出裂纹几乎贯穿 PCB 基板,如图 11 所示。但是此裂纹仅存在于 PCB 内部,没有延伸到塑封材料内的其他部件,而且在国军标中并没有对应的缺陷判据,只能作为非标准规定的缺陷提出,不能判定为不合格结论。

3 结 论

本文基于几种封装结构塑封半导体器件的声学扫描检测实例,对声学扫描检测技术在塑封器件内部缺陷检测方面的应用进行了分析探讨。对部分特殊的封装缺陷提出了合适的参考判据和检测结论。为保证塑封半导体器

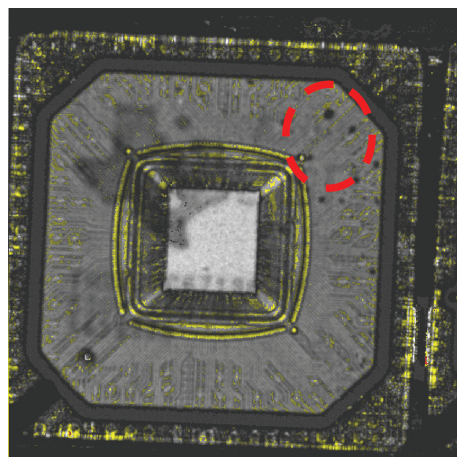


图9 BGA 封装 TMS320C6713BGDPA200 声扫典型照片



图10 BGA 封装 EP2C5F256I8N 外部形貌和 X 射线照片

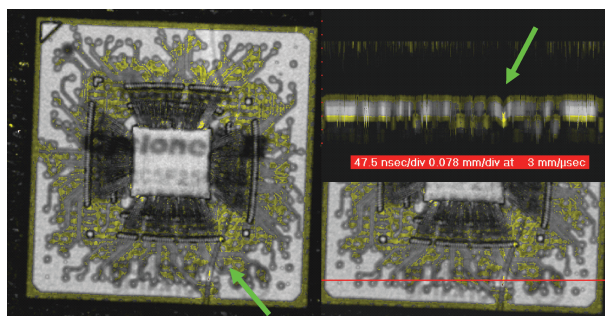


图11 BGA 封装 EP2C5F256I8N 声扫典型照片
(左:声扫顶视图 右:Q-BAM 虚拟切面扫描)

件的推广应用,未来有必要针对高可靠产品的质量保证需求提出合适的检测标准或规范,以指导各类塑封器件在筛选、DPA 过程中声学扫描显微镜检查项目的开展。

参 考 文 献

- [1] 何存富,郑明方,吕炎,等. 超声导波检测技术的发展、应用与挑战[J]. 仪器仪表学报,2016,37(8):1713-1735.
- [2] 敬人可,李建增,周海林. 超声无损检测技术的研究进展[J]. 国外电子测量技术,2012,31(7):28-30,34.
- [3] 吴晓亮,周雪薇,方圆. 塑封器件分层失效实例分

- 析[J]. 电子与封装, 2015, 15(10): 4-7, 19.
- [4] 盛念. 军用塑封器件失效机理研究和试验流程[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2012, 30(2): 6-10.
- [5] 陈章涛, 潘凌宇. 声学扫描显微镜检查在塑封器件检测中的应用[J]. 电子与封装, 2013, 13(3): 9-12.
- [6] 李小娟, 王黎, 高晓蓉, 等. 超声无损检测成像技术[J]. 现代电子技术, 2010, 33(21): 120-122.
- [7] TEVEROVSKY A, SAHU K. PEM-INST-001: Instructions for plastic encapsulated microcircuit (PEM) selection, screening, and qualification [EB/OL]. NASA, 2003 [2017-05-20]. <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20040082092.pdf>
- [8] IPC/JEDEC J-STD-020D. 1: Moisture/Reflow sensitivity classification for nonhermetic solid state surface mount devices [EB/OL]. 2008 [2017-05-20]. http://www.modcoinc.com/Files/technical/AN_7_J-STD-020C.pdf
- [9] Analysis of Plastic Parts Package Delamination. Jet Propulsion Laboratory. JPL D-31227.
- [10] 李鹏程, 杨晓东. 电子元器件二次筛选及质量控制探讨[J]. 中国高新技术企业, 2010(33): 37-38.
- [11] 史玉琴, 徐居明. 军用元器件使用可靠性保证发展趋势探讨[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2013, 31(3): 53-56.
- [12] 李永正, 党伟, 吕德胜, 等. 空间科学用 COTS 元器件的质量与可靠性保证研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2014, 32(5): 37-42.
- [13] 吴建忠, 陆志芳. 塑封集成电路分层研究[J]. 电子与封装, 2009, 9(3): 36-40, 48.
- [14] Identification of Package Defects in Plastic-Packaged Surface-Mount ICS by Scanning Acoustic Microscope. Moore T. ISTFA, 1989.
- [15] 张延赤. 水汽或结构对塑封电子器件可靠性的影响研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2010, 28(1): 1-5.

作者简介

李智, 1987年生, 硕士研究生。主要研究方向为元器件可靠性、DPA、失效分析等。
E-mail: 527283821@qq.com