

文章编号: 2095-4980(2016)01-0155-04

电子元器件破坏性物理分析中几个问题的探讨

周庆波, 王晓敏

(中国工程物理研究院 计量测试中心, 四川 绵阳 621999)

摘要: 通过对电子元器件破坏性物理分析(DPA)试验中发现的混合电路中塑封器件检查、X射线检查密封宽度判据、剪切强度判据和半导体二极管芯片目检等问题进行分析、探讨, 加强对DPA试验评价电子元器件固有可靠性机理的认识, 以实现恰当、灵活运用标准开展DPA工作。

关键词: 破坏性物理分析; 塑封器件; 密封宽度; 剪切强度; 半导体二极管

中图分类号: TN98

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201601.0155

Analysis of several problems in DPA of electronic components

ZHOU Qingbo, WANG Xiaomin

(Metrology and Testing Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: The problems of the test of the plastic encapsulated device in hybrid circuit, the criteria of the sealing width in X-ray inspection, the criteria of shear strength and visual inspection of semiconductor diode in Destructive Physical Analysis(DPA) of electronic components are discussed and analyzed. The understanding on the DPA evaluating principles for the natural quality of electronic components is improved, which will help the flexible use of standards in DPA.

Key words: Destructive Physical Analysis; plastic encapsulated device; sealing width; shear strength; semiconductor diode

电子元器件破坏性物理分析(DPA)是指为验证电子元器件的设计、结构、材料、制造的质量和工艺情况是否满足预定用途或有关规范的要求, 以及是否满足元器件规定的可靠性和保障性, 对元器件样品进行解剖, 以及在解剖前后进行一系列检验和分析的全过程。DPA 是顺应电子系统对元器件可靠性要求越来越高的趋势而发展起来的一种以提高元器件质量, 保障整个电子系统可靠性为目的的重要技术手段。

在依照国军标中相应的规范进行电子元器件 DPA 试验过程中, 发现标准有不完善的地方, 在查看美军标中相应规范时, 发现有些要求与国军标不一致。基于此, 本文从可靠性的角度出发, 对日常工作中发现的混合电路中塑封器件检查、X 射线检查密封宽度判据、剪切强度判据和半导体二极管芯片目检等问题进行分析, 加强对DPA试验评价电子元器件固有可靠性机理的认识, 以达到恰当、灵活运用标准开展DPA工作的目的。

1 几个问题的探讨

1.1 混合电路中塑封器件检查

1.1.1 存在的问题

混合集成电路一般采用金属或陶瓷外壳封装, 其内部为空腔结构, 粘贴有裸芯片、各种表面安装元件等, 按照 GJB4027A-2006^[1]项目 1102 的规定进行 9 项 DPA 试验。但有些混合集成电路中存在表面安装式塑封器件, 针对此情况, GJB4027A-2006 项目 1102 规定的试验方案中未提及, 其 DPA 试验方案中是否需要考虑表面安装式塑封器件的检查是值得探讨的问题。

1.1.2 分析问题

塑封器件通过表面安装的方式与混合集成电路的陶瓷基板进行电连接, 表面安装时, 塑封器件引脚与陶瓷基板通过再流焊的方式进行焊接。由于塑封器件内部不同材料的热膨胀系数不同, 且器件装配前的贮存过程容易吸潮, 故该过程极易在塑封器件内部各界面处产生分层并扩大内部已有分层缺陷, 使器件可靠性减低。因此, 判断

混合集成电路中塑封器件是否需要 DPA，应首先了解塑封器件安装之前该批次塑封器件是否进行过 DPA，如果没有，则应该进行。

GJB4027A-2006 项目 1103 规定了塑封器件的 DPA 检测项目与判据，但是此处塑封器件安装在密封的混合集成电路内部，其可靠性影响因素已不同。因此，参考此方法来开展 DPA 检测是否合适值得研究。经试验验证，重点关注的检测项目是声学扫描显微镜检查与玻璃钝化层完整性检查。

声学扫描显微镜检查：由于塑封器件安装在混合集成电路的陶瓷基板上，且处在一个腔内气氛一定的密封腔体内，塑封料吸潮影响会得到抑制，且没有再流焊的工艺环节。因此是否要开展声学扫描显微镜检查或者说其检测内容和判据是否合适还需进一步研究探讨。

玻璃钝化层完整性检查：其目的也是考虑塑封料吸潮，加上腐蚀离子的作用破坏玻璃钝化层，造成器件可靠性降低。而处于密封腔体内的塑封器件类似于密封器件，吸潮得到抑制。因此，在保证密封性能良好的前提下，建议参考密封器件不进行玻璃钝化层完整性检查。

1.2 X 射线检查密封宽度判据

GJB548B-2005^[2]方法 2012.1 的 3.10.2.2 中 e) 条和 GJB128A-1997^[3]方法 2076 的 3.9.2.2 条规定：有缺陷的密封指密封宽度不连续或密封宽度不到设计密封宽度的 75%。

1.2.1 存在的问题

在对密封器件进行 X 射线检查时发现，一些密封器件的密封盖板处密封宽度达不到国军标规定的 75% 的最小可接收密封宽度要求；同时，在客户要求按照美军标规定检查时还发现，MIL-STD-883^[4]规定的最小可接收密封宽度为 25%，而且在 2014 年 3 月 14 日发布的 MIL-STD-883 J 版(CHANG2)中给出了有缺陷的密封宽度示意图，见图 1。而 GJB548B-2005 和 GJB128A-1997 规定的是 75%。

1.2.2 分析问题

该条款是通过 X 射线的方式来判断密封器件的密封性良好程度。如果密封器件密封不良，容易造成内部键合线、芯片表面金属化层腐蚀等问题。因此，从某种程度上讲，目前执行的国军标对有缺陷的密封宽度判据严于美军标，从密封可靠性的角度考虑，这是值得肯定的，有利于保障其密封可靠性。

但是，过严的判据会将很多器件拒之门外，提高器件的成本，造成浪费。因此，在保证器件可靠性的前提下，研究国军标规定的密封宽度判据是否可以放宽、放宽到多少是一件有意义的事。可以参考美军标规定的“密封宽度不到设计宽度的 25%”的条款，结合国内金属盖板的密封封装工艺现状，设计相关试验，通过大量的试验数据分析总结，再探讨是否应将密封宽度的判据变得宽松。这对下次修订国军标相关条款时，也可以提供参考建议。

1.3 剪切强度判据

从 GJB548B-2005 方法 2019.2 芯片的剪切强度规定中可以看到：当芯片粘接面积大于 4.13 mm^2 时，剪切强度判据达到饱和，不随芯片面积变化而变化；不管芯片粘接采用何种方式，都采用统一的判断标准。

1.3.1 存在的问题

a) GJB548B-2005 方法 2019.2 芯片的剪切强度规定：当芯片粘接面积大于 4.13 mm^2 时，剪切强度判据达到饱和，不随芯片面积变化而变化。混合集成电路中存在有如电感器这样的大尺寸无源元件，国军标规定其剪切强度判据参照半导体芯片剪切强度判据执行，但是通过此判据合格的混合集成电路，内部大尺寸电感器能否满足环境应力要求值得探讨。

b) 从 MIL-STD-883 的 F 版到 J 版，芯片的剪切强度判据都对不同的芯片粘接进行了分类：一类是环氧树脂粘接方式，一类是共晶、焊料和其他粘接方式。环氧树脂粘接方式的判据不同于 GJB548B-2005 方法 2019.2，具体规定如下：当底座上残留芯片附着材料痕迹大于附着区面积的 75% 时，剪切力不得小于 1 倍曲线规定值；当底座上残留芯片附着材料痕迹小于附着区面积的 75% 时，剪切力不得小于 2 倍曲线规定值。分析看到，对于残留痕迹小于 75% 的情形，其判据要比 GJB548B-2005 方法 2019.2 规定的严格。因此，国军标的剪切强度判据是否宽松，是否利于可靠性的保障值得分析。

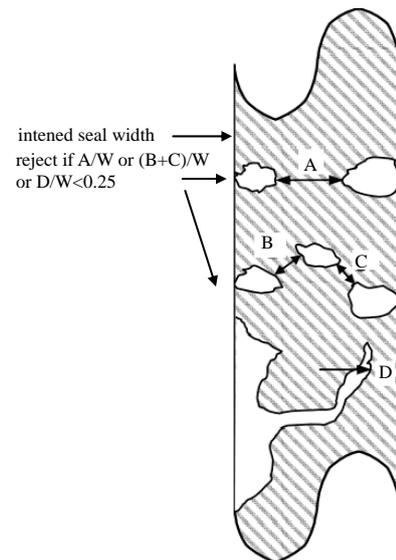


Fig.1 Lid seal voids and rejection criterion
图 1 密封空洞和拒收判据

1.3.2 分析问题

a) 芯片及无源元件同器件基片牢固地结合是器件正常工作的必要条件, 如果粘接不牢, 在使用中脱落, 会造成器件的致命性失效。剪切强度试验的目的就是检验其粘接用材料及工艺的完整性。元器件组装在系统中也需要满足不同的使用环境应力要求^[5]。比如振动、冲击、加速度等都会对芯片及无源元件的粘接产生影响, 且受到的力与其质量成正比例关系。由于芯片是立方体形状且密度均匀, 可以将其质量的大小转化为芯片面积的大小, 因此不管是国军标还是美军标都根据芯片的面积大小来评价剪切强度。

假设无源元件和半导体芯片处于相同的应力环境中且质量也相同, 那么它们的剪切强度判据也就相同。但是无源元件其密度和尺寸与半导体芯片有差异, 则质量也有差异, 因此, 采用相同的判据进行剪切强度的评价就不合适。对于像电感器这样的尺寸远远超过 4.13 mm^2 的无源元件, 按照 4.13 mm^2 芯片面积的剪切强度判据进行评价就更为不妥。

b) 目前, 管芯粘接工艺主要选择金属合金(AuSi 共晶、AuSn 共晶或软焊料)、有机粘结剂(环氧树脂、聚酰亚胺浆料)和无机粘结剂(填银玻璃)。环氧树脂粘接剂相比于共晶、软焊料, 其热导率、电阻率和剪切强度都较差^[6]。因此, 从可靠性的角度考虑, 使用环氧树脂粘接剂时, 其剪切强度比采用其他粘接方式时应该有更严格的评价, 这样有利于满足环境应力的要求。

1.4 半导体二极管芯片目检

不管是密封或塑封的半导体二极管分立器件, 还是混合电路中裸芯片式半导体二极管都要依据 GJB128A-1997 方法 2073 进行内部目检。标准中对“4.1.1 芯片缺损、裂纹及划线缺陷”、“4.1.2 钝化缺陷”和“4.1.3 金属化表面缺陷”的检查均分为台面型芯片和平面型芯片 2 种情况, 不同工艺结构的芯片其检查内容和缺陷判据有差异。

1.4.1 存在的问题

针对上面的描述, 要选用相应的条款进行内部目检, 需要解决如何正确区分半导体二极管是台面型还是平面型工艺的问题。

1.4.2 分析问题

在 CMOS 工艺、BJT 工艺、BICMOS 工艺和 BCD 工艺等集成电路工艺中, 二极管的制作多采用平面工艺, 要么是单独制作二极管, 要么是将三极管当作二极管使用。但是在分立器件的制作工艺中, 其二极管的制作工艺包括台面型和平面型(有保护环和无保护环)2 种。

要正确判断二极管的制作工艺, 需要识别器件工艺版图, 这需要检测人员具备相关专业背景知识, 但由于不同厂家制造工艺有略微差异, 可以通过下面 2 种方式获得更多的器件制造工艺相关背景情况, 以辅助识别器件结构:

- a) 通过向元器件生产厂询问了解, 与元器件的工艺设计师和工艺线上的工艺工程师交流, 获得其半导体二极管的工艺结构;
- b) 利用多余的样品, 对半导体二极管进行纵向剖面制备, 通过合适的处理, 观察分析其工艺结构。

2 结论

DPA 是加强电子元器件可靠性的手段, 通过对日常检测过程中发现的问题进行分析讨论, 能进一步明确 DPA 试验保障元器件可靠性的作用, 有利于 DPA 工作开展得更规范、更细致和更深入。

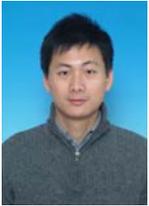
参考文献:

- [1] 总装备部. 军用电子元器件破坏性物理分析方法:GJB4027A-2006[S]// 2006. (PLA General Armament Department. Destructive physical analysis for military electronic components:GJB4027A-2006[S]// 2006.)
- [2] 总装备部. 微电子器件试验方法和程序:GJB548B-2005[S]// 2005. (PLA General Armament Department. Test method standard for microcircuits:GJB548B-2005[S]// 2005.)
- [3] 总装备部. 半导体分立器件试验方法:GJB128A-1997[S]// 1997. (PLA General Armament Department. Test method standard for semiconductor discrete devices:GJB128A-1997[S]// 1997.)
- [4] Test method standard for microcircuits:MIL-STD-883[S]// Department of defense of United States of America. 2010.
- [5] 张延伟. 电子元器件破坏性物理分析中几个难点问题的分析[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2002,2(1):30-33. (ZHANG Yanwei. Analysis of several difficult problems in DPA of electronic components[J]. (Electronic product reliability and

environmental testing, 2002,2(1):30-33.)

- [6] HARPER,CHARLES A. Electronic Packaging and Interconnection Handbook[M]. 4th ed. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2009.

作者简介:



周庆波(1985-), 男, 四川省大竹县人, 硕士, 主要从事电子元器件 DPA 技术研究及设备研制工作.email:zhouqingbo1985@126.com.

王晓敏(1961-), 女, 四川省绵阳市人, 研究员, 主要从事电子元器件 DPA 技术研究及电磁学计量测试技术研究工作.

(上接第 154 页)

- [27] KIM H J,CHOJ J J,HEE J H,et al. Design and field emission test of carbon nanotube pasted cathodes for Traveling-Wave Tube applications[J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2006,53(11):2674-2680.
- [28] BUSHUEV N,GRIGORIEV Y,BOURTSEV A,et al. Multibeam electron gun with gated carbon nanotube cathode[C]// 2012 IEEE Thirteenth International Vacuum Electron Conference(IVEC). Monterey,CA:[s.n.], 2012:559-560.

作者简介:



于彩茹(1990-), 女, 山东省威海市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为冷阴极材料及器件.email:yucairuseu@163.com.

刘 京(1991-), 男, 江苏省盐城市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为冷阴极材料及器件.

王琦龙(1976-), 男, 江苏省淮安市人, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要研究方向为冷阴极材料及器件.

狄云松(1979-), 男, 江苏省溧阳市人, 博士, 副教授, 主要研究方向为真空纳米电子技术及器件.

朱卓娅(1972-), 女, 江苏省宜兴市人, 博士, 副教授, 主要研究方向为光电功能材料与器件.

张晓兵(1968-), 男, 浙江省温州市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为真空电子器件与质谱检测技术.

雷 威(1967-), 男, 四川省夹江县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为物理电子学.