

# 超声扫描在 IGBT 模块质量分析中的应用

李 寒, 曾 雄, 徐凝华, 贺新强, 冯会雨, 李亮星  
(株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001)

**摘 要:** 文章从超声扫描检测技术的原理出发, 详细叙述了不同模式的超声扫描对 IGBT 模块的无损检测功能。超声扫描检测技术不仅可发现 IGBT 模块中的空洞、脱附等界面潜在缺陷, 还可以采用表面平整度分析、模块内部构造模拟、厚度测量等方法发现 IGBT 模块的结构缺陷, 这些缺陷的表征对评估 IGBT 模块质量具有重要意义。

**关键词:** 超声扫描; IGBT 模块; 缺陷检测; 封装

中图分类号: TN605; TG453<sup>+</sup>.9 文献标识码: A 文章编号: 2095-3631(2016)02-0030-05  
doi:10.13889/j.issn.2095-3631.2016.02.007

## Application of Acoustic Scanning Technology in Quality Analysis of IGBT Module

LI Han, ZENG Xiong, XU Ninghua, HE Xinqiang, FENG Huiyu, LI Liangxing  
(Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

**Abstract:** It introduced the principle of acoustic scanning microscope (SAM), described the undamaged detection functions of SAM in IGBT modules with different modes. With this technology, it not only can discover interface defects (like hole and detachment) easily, but also can find structure defects by analysis of surface evenness, modulation of internal composition and thickness measurement, and the characterization of defects are very important to quality assessment in IGBT modules.

**Keywords:** SAM; IGBT modules; defect inspection; package

## 0 引言

超声扫描检测是一种采用高频超声波(频率高于 20 kHz)探测物体内部结构的无损检测技术。和其他常用于失效分析和可靠性测试的表征手段(X 射线、红外成像)相比, 超声扫描检测技术可以更有效地识别和表征空洞、分层和裂缝等缺陷, 因此在材料学、生物学和医学等领域, 特别是在半导体行业中, 该技术得到了广泛的应用。本文结合超声扫描检测技术的原理, 详细阐述了超声扫描检测技术在 IGBT 模块封装检测中所发挥的作用, 对 IGBT 模块质量提升具有一定的指导意义。

## 1 超声扫描检测原理

超声波的传播速度由传播介质决定, 当超声波经过

两种物质的界面, 例如从水中进入另一种物质中时, 它在两者的界面处就会发生反射。超声扫描就是利用该波形变化原理, 以反射波成像的一种检测技术。被检测样品中某一点的反射波形为 A-Scan 波形, 它将回波的振幅和时间相关联, 是超声扫描最基础的扫描模式。图 1 为 A-Scan 回波示意图, 图 1(a)中从上至下 3 个回波分别为水到物体 I 的上表面回波、物体 I 到物体 II 的界面回波和物体 II 到物体 III 的界面回波。

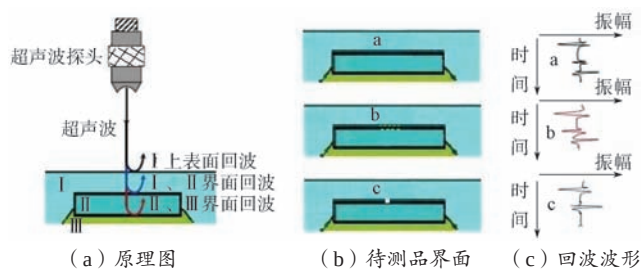


图 1 A-Scan 回波示意图

Fig.1 Schematic diagram of A-Scan echoes

收稿日期: 2015-06-02

作者简介: 李寒(1986-), 女, 工程师, 主要从事 IGBT 功率器件封装工艺研究工作。

界面处回波的强弱和极性与两种材料的声阻  $Z$  有关。声阻即为超声波传播时介质位移需要克服的阻力，一般是材料的密度与超声波在该材料中传播速度的乘积。根据式（1），界面回波变化规律遵循以下规则：当  $Z_{II} > Z_I$  时， $R$  为正，得到的 A-Scan 波形为正波，反之则为负波。例如，如果图 1 中 b 位置物体 I 与物体 II 界面处均一性差，那么它的 A-Scan 波形在两物体的界面回波会出现相应的变化（增强或者减弱）。空气的声阻接近 0，当超声波进入空气中时，超声波就会发生全反射，不再有超声波向下传输，如图 1 中 c 位置的 A-Scan 波形所示。

$$R=(Z_{II}-Z_I)/(Z_{II}+Z_I) \tag{1}$$

式中： $R$ ——表征界面回波的正负和振幅的系数； $Z_I$ ——传出超声波的物体的声阻； $Z_{II}$ ——传入超声波的物体的声阻。

A-Scan 波形的变化规律揭示了超声扫描的检测原理，所以超声扫描检测技术很适合观察空洞、脱附等界面回波明显的缺陷。但其原理也决定了该技术自身难以避免的弱点：（1）超声波必须有一定的传播媒介（水）；（2）超声扫描是 A-Scan 集成的扫描，其扫描时间比较长；（3）下层的反射信号受上层反射信号的影响。

2 超声扫描检测模式

对于同一个超声扫描探头而言，其扫描深度和聚焦长度是固定的。根据探头移动方式和回波解析方式的不同，超声扫描主要有 6 种扫描模式，即 A-Scan（单点扫描）、C-Scan（横切面扫描）、B-Scan（纵切面扫描）、Q-Scan（逐层聚焦纵切面扫描）、ASF（超声表面平整度扫描）及 Time-Diff（时间差）模式。图 2 示出不同超声扫描模式所检测的区域（红色）。A-Scan 是最基本的超声扫描检测模式，它表征的是被测样品内部单点的回波波形属性。C-Scan 模式通过将探头的扫描面与样品表面平行得到横截面切片图，而纵截面分析则采用 B-Scan 模式。Q-Scan 是逐层聚焦的 B-Scan，它通过探头高度的移动来达到待测样品中所测层最佳焦距不变的

目的，能得到比 B-Scan 模式更清晰的纵切面分析图。ASF 模式通过对待测样品表面不同位置回波的时间和能量解析来判断待测样品表面形貌和成分的变化。Time-Diff 模式是通过对待测样品中某层上下界面回波时间差的计算，从而评估此层厚度均匀性的方法。

不同的扫描模式有不同的适用条件。A-Scan 通过对波形的分析，可准确找到缺陷位置；C-Scan 是最常用的扫描模式，适合大规模生产时特定位置的缺陷检测，例如 IGBT 模块中焊层的空洞检测；Q-Scan 适合于黑匣子内部的结构重构，例如 IGBT 模块的内部结构解析，对新产品开发具有重大意义；ASF 适用于表面弧度检测，例如 IGBT 基板拱度测量，可以评估 IGBT 模块工艺与使用工况匹配性；Time-Diff 模式适用于厚度差异的检测，例如 IGBT 模块中焊层厚度均匀性的测量。总之，通过选择合适的超声扫描模式及相匹配频率和焦距的超声波探头，可很方便地实现对 IGBT 模块内部的无损检测。

3 超声扫描检测在 IGBT 模块质量分析中的应用

由 IGBT 模块典型的封装结构（图 3）可以看出，IGBT 模块的封装是将多种材料复合在一起，芯片经焊层被焊接在衬板表面覆铜层上，衬板底部覆铜层通过焊层被焊接在基板上<sup>[1]</sup>。相比 X 射线等传统检测方法，超声扫描检测技术可以实现 IGBT 模块内部任意部位的缺陷和结构分析，对 IGBT 模块的封装工艺优化和失效分析具有重要的意义。

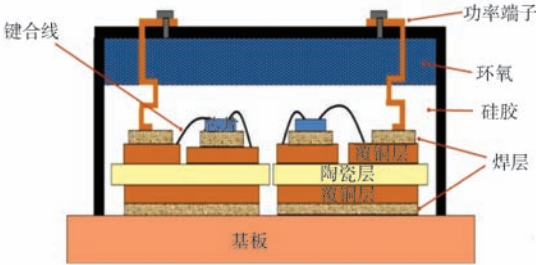


图 3 IGBT 模块内部结构  
Fig.3 Structure of an IGBT module

3.1 利用 C-Scan 模式评估 IGBT 模块的封装质量

3.1.1 封装工艺评估

从 IGBT 模块的内部结构可以看出，焊接工艺是 IGBT 模块封装中最为重要的一步。焊层是影响 IGBT 模块可靠性的重要因素之一，它不仅是 IGBT 模块散热的主要通道，而且在温度循环过程中还要承受材料之间热膨胀系数不匹配所产生的周期性应力<sup>[2]</sup>。焊接工艺很难避免空洞等缺陷的存在，这些缺陷会影响焊层的局部热传导，严重时甚至会导致 IGBT 模块热失效，而焊接过程中很难完全避免这些缺陷的存在。因此在 IGBT 模

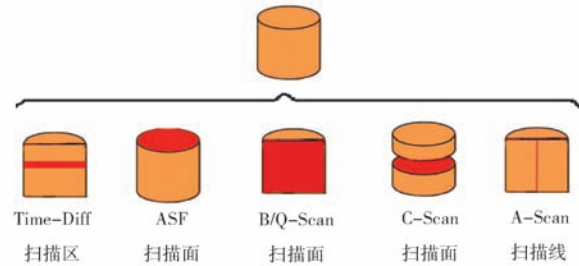


图 2 不同扫描模式的检测区域  
Fig.2 Detection area of different scanning modes