

# 超声扫描检测图像处理方法研究

张继静, 吕荣华, 连军莉

(中国电子科技集团公司第四十五研究所, 北京 100176)

**摘要:** 为了更全面地分析器件内部的结构、特性和缺陷, 使用超声扫描检测方法对器件进行检测, 这种无损检测手段中多种的图像处理方法和不同的处理工具, 可以使检测结果更精确, 未来会有更广泛的用途。

**关键词:** 无损检测; 超声扫描检测; 内部缺陷

中图分类号: TN307

文献标志码: B

文章编号: 1004-4507(2021)06-0041-05

## Research on Image Processing Methods of Ultrasonic Scanning Inspection

ZHANG Jijing, LV Ronghua, LIAN Junli

(The 45<sup>th</sup> Research Institute of CETC, Beijing 100176, China)

**Abstract:** In order to analysis the inner structure, characteristic and defect of the components more comprehensively, ultrasonic scanning inspection is used. Many image processing methods and different processing tools of the non-destructive inspection can make the inspection result be more accurate, and they will be used widely in the future.

**Key words:** Non-destructive inspection; Ultrasonic Scanning Inspection; inner defect

在半导体产品中, 裂纹、分层、气孔、夹杂等缺陷在正常使用过程中会扩展或局部腐蚀, 可能会进一步引起内部断线, 这些内部缺陷往往会产生可靠性问题导致电子产品的失效。超声检测技术是五大常规无损检测方法(超声检测 UT、射线检测 RT、磁粉检测 MT、渗透检测 PT 和涡流检测 ET)之一, 由于其具备适用范围广、穿透能力强、缺陷定位准、可靠性高、灵敏度高、检测效率高等优点, 在半导体产品检测中得到了越来越多的应用。超声检测用于对

试件进行缺陷检测、几何特征定位、组织结构以及力学性能变化的检测和表征, 并进而对试件的使用特性进行评估。在控制产品质量、改进生产工艺、保证产品可靠性等方面都起着关键性作用<sup>[1]</sup>。

### 1 器件内部缺陷超声检测原理

#### 1.1 超声检测原理

超声波脉冲通过耦合介质(如去离子水、酒精

收稿日期: 2021-11-22

等)到达样品。由于超声能量的传递要求介质是连续的,所以如气孔、杂质、分层、裂纹等不连续界面都会干扰超声信号传播或导致超声信号发生反射。当超声波信号通过样品时,由于不同材料声阻抗的不同,在有缺陷或粘结不良的界面会出现反射波。超声波换能器接收到的反射回波信号经过处理后,以波形的方式显示在屏幕上。超声检测的基本原理如图1所示。

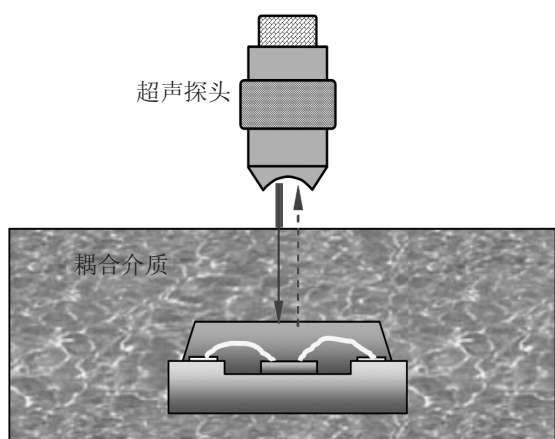


图1 超声检测原理

## 1.2 超声检测方法

用于检测器件内部结构的超声检测方法主要是反射法和透射法。

### 1.2.1 反射法

反射法使用一个换能器发射和接收超声波信号,即将超声脉冲入射到器件内部,超声波在两种不同的介质交界面上产生不同的脉冲回波,通过观察来自内部缺陷或器件上下表面的反射波的情况来进行检测。

为了适应不同的器件检测需求,可选用的检测方法分为A波形显示、B扫描(对被测器件在竖直方向某个剖面进行观察)、C扫描(对被测器件在水平方向某一层进行扫描)、多层扫描、逐层扫描等<sup>[2]</sup>。

反射法具有灵敏度高、适用范围广、检测方法多、缺陷定位精度高等优点。但当超声波在两种介质中传播时,由于两介质的阻抗特性不同,超声波会发生反射和透射现象,还会因衍射、散射和吸收而发生衰减。尽管如此,反射法作为一种主要的超声检测方法,在各个行业中已得到广泛应用。

### 1.2.2 透射法

透射法是将发射、接收换能器分别置于被测器件的上下两侧,使两个换能器的声轴线处于同一直线上,聚焦后进行检测。超声波发射信号进入被检工件内部,若未遇到异常的反射面区域,声波会穿透被检器件,被接收探头接收。如器件无缺陷,接收探头接收声波较多,接收信号较大,当缺陷较小时,部分声能被反射,接收到的信号较弱;缺陷很大时,声能被全部反射,接收探头接收不到检测信号,从而根据接收信号幅值变化判断器件内部的缺陷。透射扫描方式如图2所示。

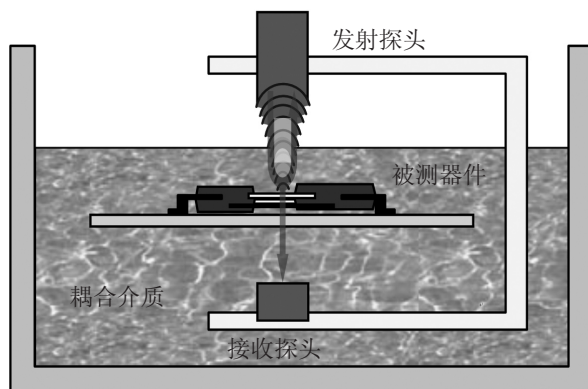


图2 透射扫描方式

透射法几乎不存在盲区,而且超声波是单向传播,衰减小。但其检测灵敏度低,不能对缺陷的深度、类型等具体信息进行确定,检测时需要专用换能器夹持装置以对准两个传感器的声轴线,操作不方便。

根据被测材料的类型和应用场合的需要,选择不同类型、不同频率、不同材质的超声波探头也会对检测结果产生重要的影响<sup>[3]</sup>。

## 2 检测图像处理方法

目前,采用超声检测技术可对半导体器件中的分层、空洞、裂纹、夹杂物缺陷进行检测,对缺陷能够进行准确地定量评价。

超声扫描的基本图像处理功能包括:中值滤波、均值滤波、图像增强、轮廓提取、边界增强、浮雕显示、反色处理、伪彩色处理、灰度波形统计、伪3D显示、量化分析等。随着测试分析研究的深入,

越来越多的图像处理方法不断涌现。

## 2.1 虚拟扫描

虚拟扫描模式又叫离线扫描模式，一次扫描后即可收集被测器件在 X、Y 和 Z 坐标方向全面的超声扫描数据。扫描数据以矩阵形式存储，便于器件被取走后，仍可以随时对其内部结构进行各种模式的分析和成像处理。

对于安装在高可靠性要求系统上的器件，使用虚拟扫描模式进行离线处理，能够采集更多更全面的信息，便于对其进行进一步评估。

虚拟扫描的主要功能包括：C 扫描、B 扫描、

逐层扫描、轮廓扫描、时域成像、频域成像、3D 成像等。每种成像方式都能提供器件独特的信息，多种信息整合起来即可形成一个器件的完整素材。一旦通过虚拟扫描的方式存储了器件的内部信息，可以使用任何一台安装有相同扫描软件和硬件结构的计算机对器件的内部结构进行分析。在不同的计算机上使用相同的扫描软件，可以得出相同的结果。从原始的虚拟扫描数据中可以生成任何模式的扫描图像，而且可以进行无限次的虚拟扫描。

可从保存的扫描数据调用得出的聚焦点波形及器件聚焦层扫描图像，如图 3 所示。

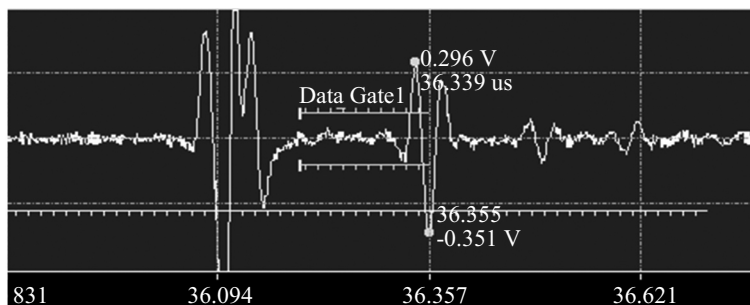


图 3 虚拟扫描测试结果

## 2.2 时域成像法

时域成像法是一种以使用时间作为参照物的图像，例如 A 扫描、B 扫描、C 扫描等的成像，都是基于时间的图像。

当虚拟扫描的数据已经被收集，可由存档的数据创建时域的图像，图 4 所示的图像为单个 PQFP 微电子器件（塑料方形扁平式封装）的扫描图像。为生成时域图像，首先在虚拟扫描文件中打开 A 扫描数据。由于 A 扫描数据是对器件内部像素位置信息的数字存储，可以调节数据门的位置以选择聚焦深度来检测器件内部结构，聚焦深度即时域信息。在 A 扫描中选择不同的数据门，以得到封装上表面、顶层化合物、引线框架、芯片表面和芯片粘接层的图像。

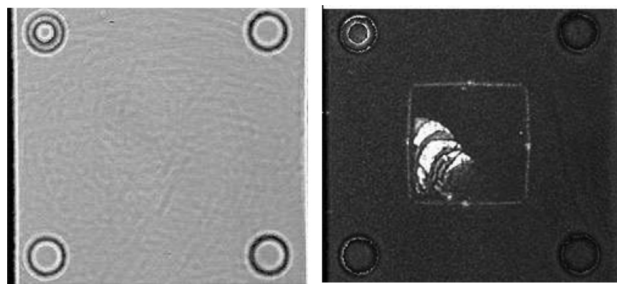


图 4 PQFP 器件扫描图像

## 2.3 频域成像

频域成像法可以选择某一频率值或一个频率范围成像，这种方法可以提供传统的脉冲回波法不容易检测到的细节。

虚拟扫描一个强大的功能是它可以创建频域图像。为了创建频域成像数据，首先打开虚拟扫描得出的 A 扫描数字化数据。A 扫描数据中包含的是频域数据，这些数据与器件内部特征和缺陷的超声波反射相关。因为一个频率值往往与一个给定器件的内部厚度层相对应，所以频域分析法可以得出器件内部独特的信息。

图 5 为时域法展示的倒装芯片凸点到底层填充层之间的粘接情况。图 6 则为通过频域法检测出的倒装芯片内部的独特信息。当使用频域法分析数据时，可以看出通过选择的频率检测器件可

以得出额外的信息。使用时域法和频域法对凸点质量、金属镀层和缺陷之间进行对比,即可明显看出频域法的强大功能。焊锡球内部的金属镀层之间的细微差别都能清晰地显示出来。使用频域法扫描模式,在高对比度情况下,对填充不足的缺陷都可以清晰展示。

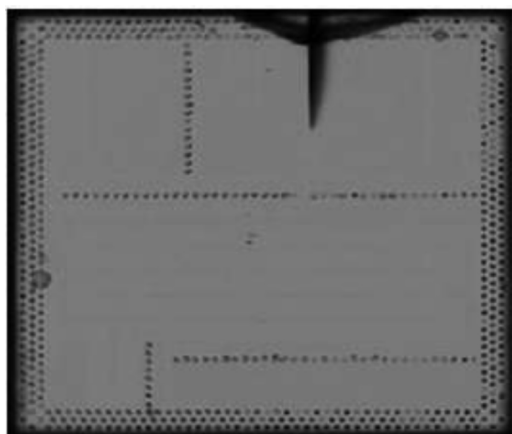


图5 时域法成像结果

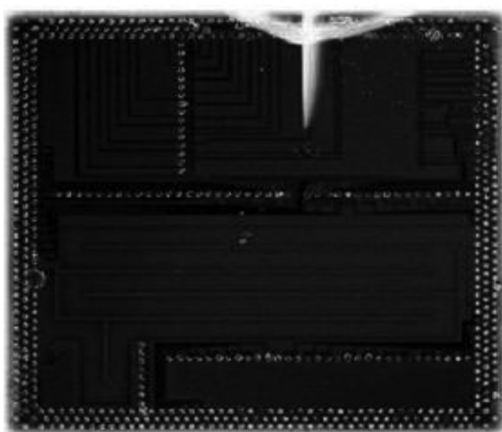
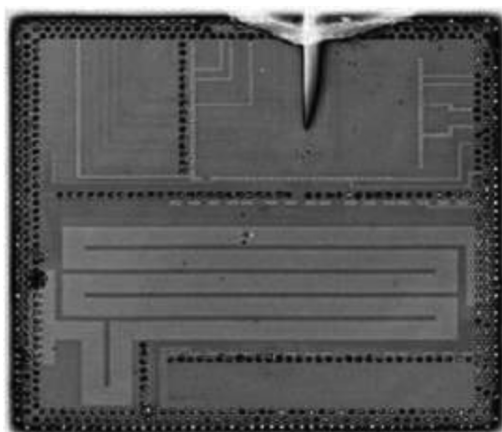


图6 频域法成像结果

## 2.4 厚度测量<sup>[4]</sup>

根据超声波频率高,指向性好,在均匀介质中的声速相同的特点对被测器件进行厚度测量。当超声波换能器产生的超声波脉冲透过耦合剂到达被测器件时,一部分超声波信号穿透被测器件,另一部分超声波信号被器件底面反射。超声波探头接收由被测层底面反射的回波,精确地计算超声波的往返时间。按式(1)计算厚度值。

$$H = \frac{v \times t}{2} \quad (1)$$

式(1)中: $H$ 为器件厚度; $v$ 为材料中声速; $t$ 为超声波在被测器件中往返一次的传播时间。

在超声扫描的示波器显示中添加3个门:一个前表面门、厚度数据门1和厚度数据门2。前表面门的作用是用来跟踪前表面的波形;厚度数据门1的作用是用来获取被测层的前表面的波形;厚度数据门2的作用是用来获取被测层后表面的波形。

当器件厚度均匀时,可以直接测量器件的厚度数据;当器件厚度不均匀时,可以把不同厚度的部分标志成不同的灰度,每一种灰度代表一种的厚度范围,如图7所示。

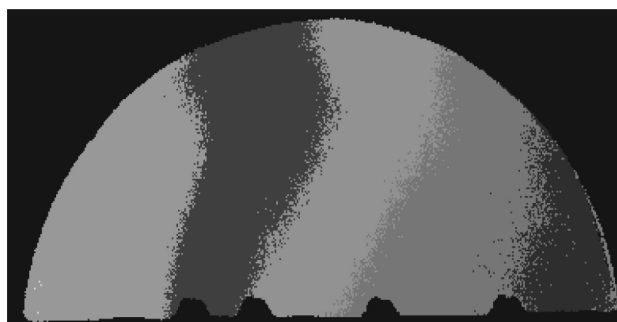


图7 某器件厚度分布图

## 3 结 论

超声扫描检测得到的图像再经过多种方法处理后,即可对器件内部缺陷进行准确采集和分析。随着超声检测技术的发展和封装形式的小型化、集成化,要检测的缺陷越来越小,需要的检测方式也会越来越多。目前的超声扫描设备检测对操作人员的经验和波形的识别能力依赖性较强,随着对测试分析研究的深入,更多的扫描方法、图像处

(下转第48页)



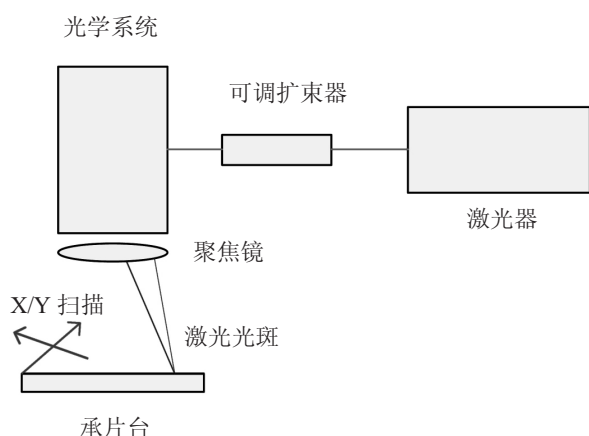


图5 激光解键合工作台

束器、聚焦镜等光学系统形成微米级的光斑尺寸照射到真空吸附在承片台的晶圆上（载片面向上），CCD 图像系统实现光斑图像精确对准，X、Y、Z 运动机构实现精确对准定位和激光扫描。光斑尺寸由光路决定，影响激光能量大小。激光能量大小和均匀性直接影响解键合效果。

## 5 结束语

本文对临时键合和解键合技术的原理、应用进行了介绍，并根据临时键合和解键合工艺提出了一种临时键合设备和解键合设备的构成及其关键技术。

临时键合和解键合技术的应用已经十分广泛，随着器件集成度的提高，其应用范围呈现日益扩大的趋势，临时键合和解键合设备的市场规模也在迅速扩大。目前，国内厂商使用的设备主要为进口设备，如德国 SUSS 研发的 XBS300 临时键合

设备、LD12 解键合设备和奥地利 EVG 研发的 EVG850 系列的临时键合设备和解键合设备，我国在临时键合和解键合设备领域近乎空白，今后应提高设备研发能力，尽早实现国产化。

## 参考文献：

- [1] Ho A. 3D-IC TSV 制造中的双膜层临时键合方法[J]. 半导体科技, 2014(3/4): 20-23.
- [2] 李燕玲, 于高洋, 童志义. 应对“后摩尔定律”的封装设备[J]. 电子工业专用设备, 2010, 38(12): 1-8+43.
- [3] 李瑾, 冒薇, 王丰梅. 用于半导体器件的临时键合工艺[P]. 中国: 111415901 A, 2020-07-14.
- [4] 卢学宝. 晶圆级低温金扩散键合的研究[D]. 北京: 交通大学, 2014, 1-60.
- [5] 李和太, 李晔辰. 硅片键合技术的研究进展[J]. 传感器世界, 2002(9): 6-10.
- [6] 李永亮. GaN 基 LED 芯片金属晶圆键合工艺研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013, 1-47.
- [7] H. Kirchberger, S. Pargfrieder, P. Kettner, et al. 生产验证的临时键合与解键合设备及技术(英文)[J]. 电子工业专用设备, 2005, 34(5): 33-40.
- [8] 曹乾涛, 王斌, 路波, 等. 基于临时键合与解键合技术的 THz 集成电路研究[J]. 微波学报, 2015, 31(3): 93-96.
- [9] 姜峰. 基于临时键合拿持技术的硅通孔转接板背面工艺优化研究[D]. 北京: 中科院微电子研究所, 2016, 1-71.
- [10] 张国平, 夏建文, 刘强, 等. 面向超薄柔性器件加工的激光解键合方案[J]. 纺织学报, 2018, 39(5): 155-159.

## 作者简介：

胡晓霞(1972—)，女，甘肃静宁人，工程学士，高级工程师，主要从事半导体设备的研发工作。

(上接第 44 页)

理方法和工具将不断涌现，检测方式也将向智能化和数据化发展。

## 参考文献：

- [1] 姚立新. 超声扫描检测技术在半导体封装中的应用[J]. 半导体技术, 2010, 35(增刊): 176-179.
- [2] Ryan Chaplin. Industrial Ultrasonic Inspection[M]. Canada: Ingram Content Group, 2017.7: 42-43.

- [3] Badr Derouiche. Ultrasonic Probes: A practical guide to find the right probe for your ultrasonic NDT inspection [M]. Denmark. Independently published, 2021.3: 57-63.
- [4] 魏鹏, 张继静. 超声扫描显微镜的厚度测量方法[J]. 电子工业专用设备, 2013, 42(1): 30-33.

## 作者简介：

张继静(1983—)，女，河北固安人，硕士，高级工程师。主要从事半导体专用设备的研发工作。