

超声波扫描原理数学分析浅析

慕向辉

华天科技(西安)有限公司 陕西 西安 710008

摘要: 超声扫描做为产品无损检测重要手段,主要应用在成品检测、可靠性评估、来料IQC抽样等。为此,我从超声波扫描物理原理出发,进行数学分析,对扫描探头的相关数据进行了总结,同步也对扫描图片的判断运用数学知识进行了图像处理分析,能够高效的得到准确的判断,提高检测人员判断能力。

关键词: 换能器;斯涅尔定律;A型扫描;C型扫描;二进制黑白图;声阻系数;黑白反对比图

引言

近几年,随着半导体技术不断发展,先进封装和新能源应用而生,可靠性安全也作为市场对产品选择的决定性因素;对于产品的无损检测也是投放市场和出货把关的重要手段,我们针对超声波扫描检测做一定的理论研究,结合相关的物理原理进行验证,通过数学分析指导我们提升产品可靠性,引领公司产品品质提升,扩大市场份额建立质量保证。

1 超声显微镜

扫描超声显微镜是利用超声波对微观物体进行成像的无损检测设备。相对于其他显微技术,超声波作为一种机械波,与被检测物间的相互作用不同于光、电子束及X射线等电磁波;声波的传播是以介质材料内分子的振动而产生的,一个分子的振动传递到相邻的分子,通过这种方式不断的向周围传播。因此声波传播的基本要素是需要有一定的介质,而且这些介质的分子间距越小,则传播的速度越快。这些不同的物理效应决定了接收信号的特征,从而形成了显微照片的对比度。超声波是由压电换能器(Transducer)产生的如图1。频率在100MHz以下的换能器一般采用铌酸锂晶体、石英晶体或其他陶瓷;100MHz以上多采用ZnO等压电晶体。这些换能器受到电子间歇脉冲的激发会在其固有频率下振荡,也可以在高频电磁场的激发下做受迫振荡。超声信号在换能器内部传播需要经过一个蓝宝石(AI₂O₃)晶柱及一个集成在内部的声学透镜。平面波在透镜-耦合介质的界面发生强烈折射,并在透镜的轴向聚焦。透镜和样品之间的耦合介质主要用于传播超声波。当超声波与被测物发生相互作用之后,系统开始与产生超声波相反的工作过程。换能器收集已经发散的反射波,并将它们转变为平面波,之后再转变为电信号。通常超声波的频率越高,波长越短,但衰减

更强烈。扫描超声断层扫描及显微成像技术相对于其他的扫描技术相比,最大的优点在于成像时采取了完全不同的灰度产生机制。声学图像的灰度完全是由材料表面及对超声不透明的材料内部各种物理参数(如密度、弹性模量等)的变化引起的,而普通光学显微镜则反映的是被测样品表面对于光波的反射或折射情况。

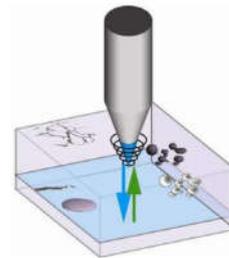


图1 Transducer示意图

2 工作原理

扫描超声显微镜采用脉冲回波技术工作。由特定的声学组件发射和接收高重复率的短超声脉冲,声波与被测样品发生相互作用后,反射波被接收并转换为视频信号。要形成一幅声学图像,扫描机构需在样品上方来回做扫描运动,样品每一点反射波的强度及相位信息均被按顺序同步记录,并转换为一定灰度值的像素点,显示在高分辨率显示屏上(图2超声波扫描信号转换示意图)。

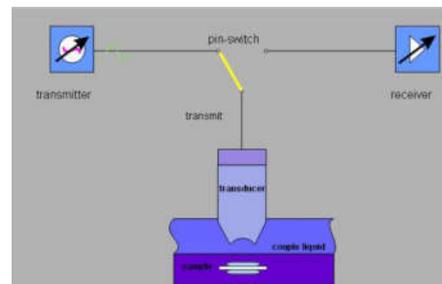


图2 超声波扫描信号转换示意图

任何远场显微镜的分辨率由波长决定的。共焦显微镜的分辨率如下式:

作者简介: 慕向辉(1981-)男,本科,设备主管,主要做可靠性研究和设备管理自动化工作。

$$W = \frac{\lambda}{2 * NA}$$

其中λ为波长，NA为透镜的数值孔径。

数值孔径定义为介质的折射率（n）和孔径角半数（α）的正弦之乘积，即：

NA = n * sinα。如果透镜制作的足够好的情况下，声学显微镜的分辨率可以小于声波的波长，而声波的波长可以通过提高声波的频率来减小。所以遵从Snell's law：

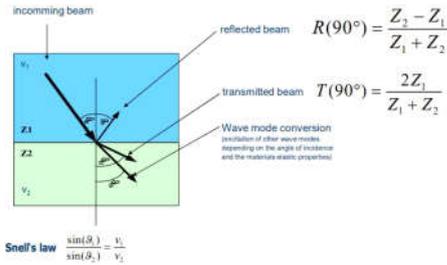


图3 Snell's law示意图

探头的基本声学特性如下：

光斑大小 Spot size(ΔX) = 1.22 * N * λ / 2

分辨率 Resolution(R) = 0.707 * ΔX

景深大小 Depth of field (ΔZ) = 7.1 * N² * λ / 2

其中N = FL/D，FL是探头焦距，D是透镜直径，λ = v0/f，v0水中速度，f 探头频率。

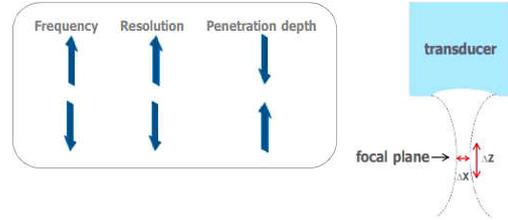


图4 探头声学特性示意图

频率与穿透深度成反比。频率越高，衰减越大。

不同介质之间的声阻系数存在差异，会造成介质之间反射率不同，声阻系数举例如下：

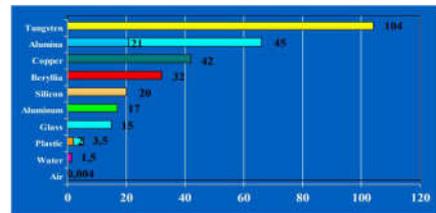


图5 不同介质声阻系数

通过计算，可以得到探头的相关数据：

频率 (MHz)	穿透深度 (mm)	理论分辨率 (um)	焦距 (mm)	透镜直径 (mm)	波长 (mm)	ΔX (mm)	ΔZ (mm)
5	15.0	300	19.0	8.19	0.3000	0.424	5.726
10	10.0	150	15.0	6.47	0.1500	0.212	2.863
15	5.1	100	19.0	8.19	0.1000	0.141	1.909
20	4.1	75	15.0	6.47	0.0750	0.106	1.431
25	4.1	60	15.0	6.47	0.0600	0.085	1.145
30	3.4	50	12.7	5.48	0.0500	0.071	0.954
40	5.4	38	20.0	8.51	0.0375	0.054	0.735
75	3.4	20	12.7	5.48	0.0200	0.028	0.382
80	2.2	19	8.0	3.40	0.0188	0.027	0.367
100	2.2	15	1.5	0.65	0.0150	0.021	0.286
110	2.2	14	8.0	3.36	0.0136	0.020	0.274
120	2.2	12	8.0	3.59	0.0125	0.017	0.220

A-SCAN图像可以清楚反应出来样品的相关特征；

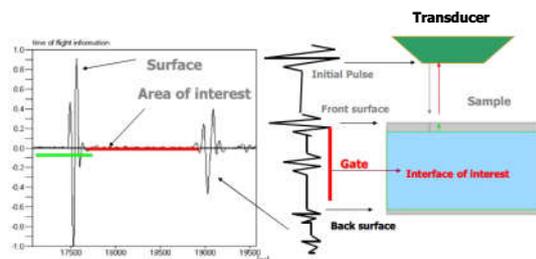


图6 探头A-SCAN波形图

注：图6右半部分结构旋转90°以后就是我们一般看到

的A-SCAN波形图。

C-SCAN图像可以清楚反应出不同介质之间的缺陷位置、形状、大小等；

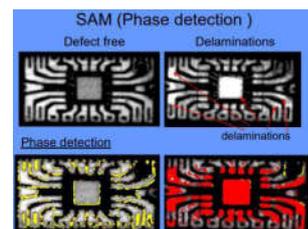


图7 样品C-SCAN扫描对比图

从图7上面两张灰白图明显看出：右图明显有发亮区域存在不正常现象；

接下来，增加phase着色，右图明显芯片分层和框架与塑封料之间引线区域也出现分层，存在比较大的可靠性隐患，后期上板会出现“爆板”和开路问题。

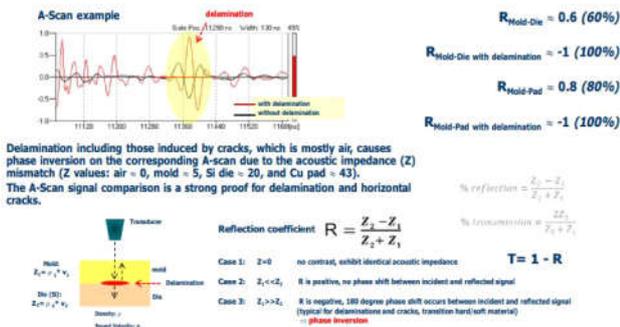


图8 扫描图片对比叠加分析图

3 数学分析

3.1 对于超声扫描图片，我们如何可以确认是否存在异常，第一可以从A-SCAN波形对比观察是否有差异，比如对于PVA扫描图片，正常波形一般是对应的有效波方向向下的，异常波形一般是向上的；

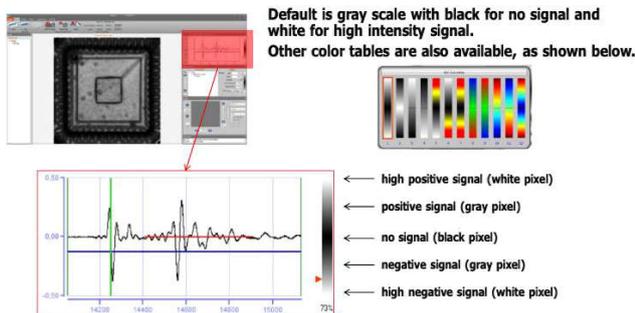


图9 A-SCAN图

3.2 我们借助C-SCAN扫描图片，通过数学分析将彩色图片转换为黑白图，识别是否存在异常。



图10 彩色图转换二进制黑白图

从图10右半部分图片看，左面的一个产品芯片和载体均没有异常，但是右面的产品明显芯片和二焊点、载体存在分层异常，需要我们多加重视和优化改善，避免

芯片上板实验后失效。

3.3 倒装焊芯片产品扫描bump的图片是黑白图，受到芯片表面介质环境干扰，不好判断是否存在异常，可以借助数学分析，黑白反转，对比分析，判断是否存在异常；

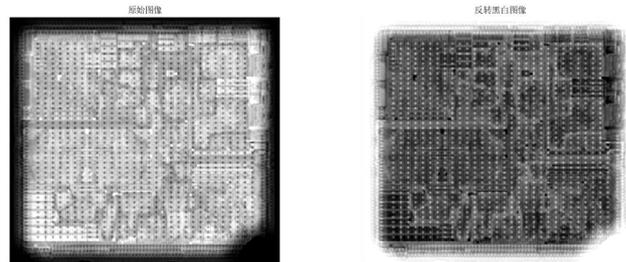


图11 bump黑白反转对比图

图11通过鼠标局部放大观察，很明显看到箭头标记的位置存在异常，这些异常需要进行进一步FA分析，判断存在问题，优化改善提高可靠性。

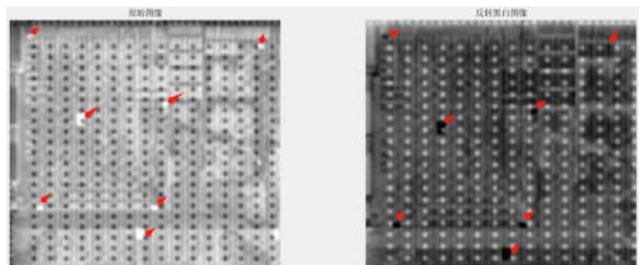


图12 bump黑白反转局部放大对比图

4 结论

通过斯涅尔定律计算得到探头的相关数据，方便我们依据产品特性选取对应焦距的探头；同时借助数学分析我们可以更好的对异常进行判断，提高检测人员识别异常的能力，便于及时发现问题，避免问题扩大化，造成客诉风险，推动内部持续优化，提高产品可靠性，提升公司知名度，扩大市场份额。

参考文献

- [1]MATLAB图像处理实例详解.杨丹,赵海滨,龙哲,等.编著
- [2]Python科学计算,张若愚编著
- [3]Python自然语言处理实战:核心技术与算法,涂铭,刘祥,刘树春编著