



致超声波影像设备用户



HITACHI
Inspire the Next

S A T 中级讲习会 (超声波原理)

 株式会社 日立Power Solutions
计测系统営業部

Contents

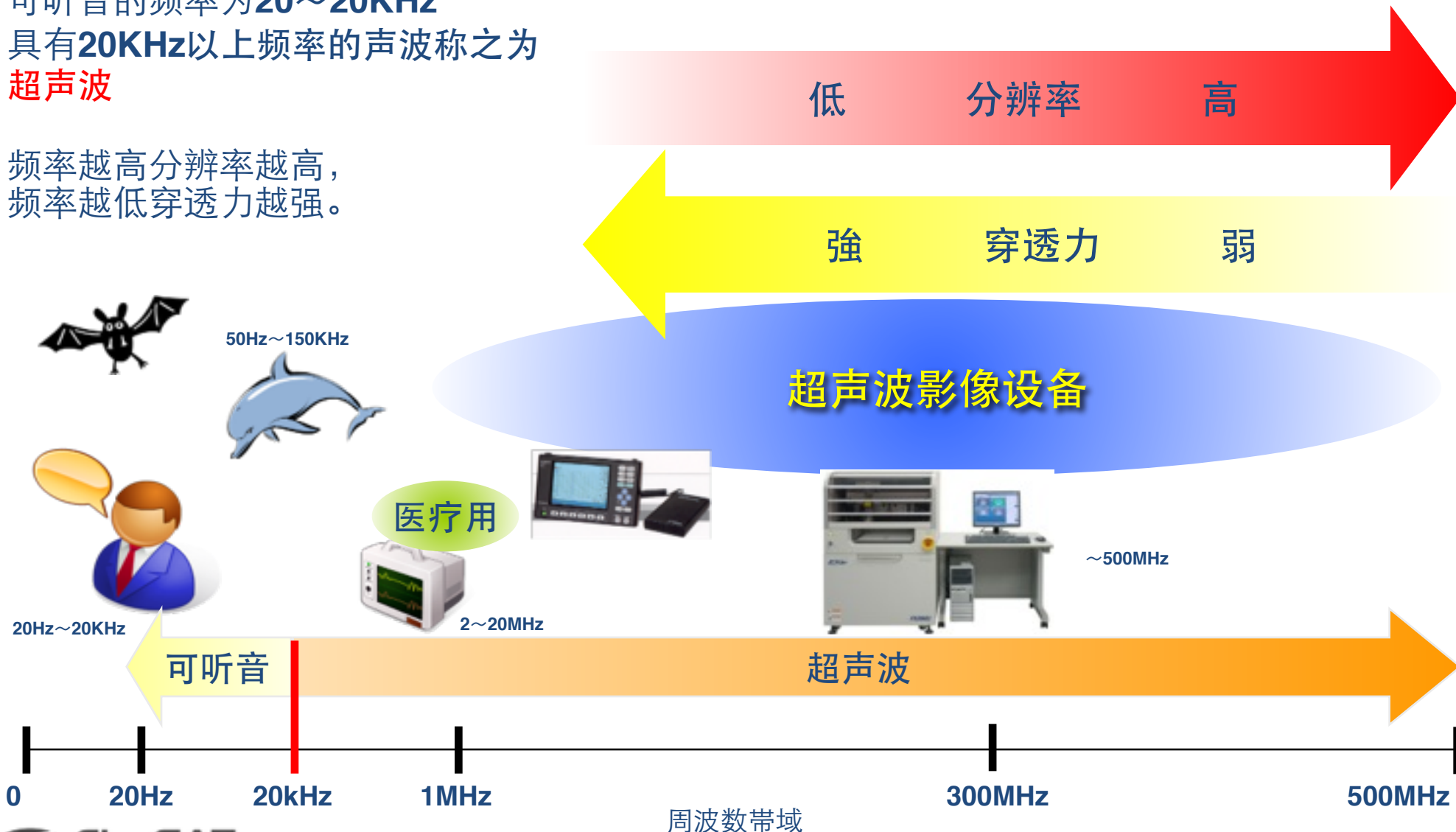
- 1. 什么是超声波
- 2. 超声波的应用领域
- 3. 超声波的性质
- 4. 超声波探查／探伤的适用案例
- 5. 超声波的种类
- 6. 声速与波长
- 7. 声音的阻抗
- 8. 超声波在界面的反射／穿透
- 9. 超声波的发生与发射／接收
- 10. 超声波探头
- 11. 超声波的指向性与聚焦 (收束)
- 12. 方位分辨率与深度分辨率
- 13. 界面的相位
- 14. **SAT**检测中反射波的相位
- 15. 较薄层面的反射/穿透/干涉

1. 什么是超声波

可听音的频率为**20~20KHz**

具有**20KHz**以上频率的声波称之为
超声波

频率越高分辨率越高，
频率越低穿透力越强。

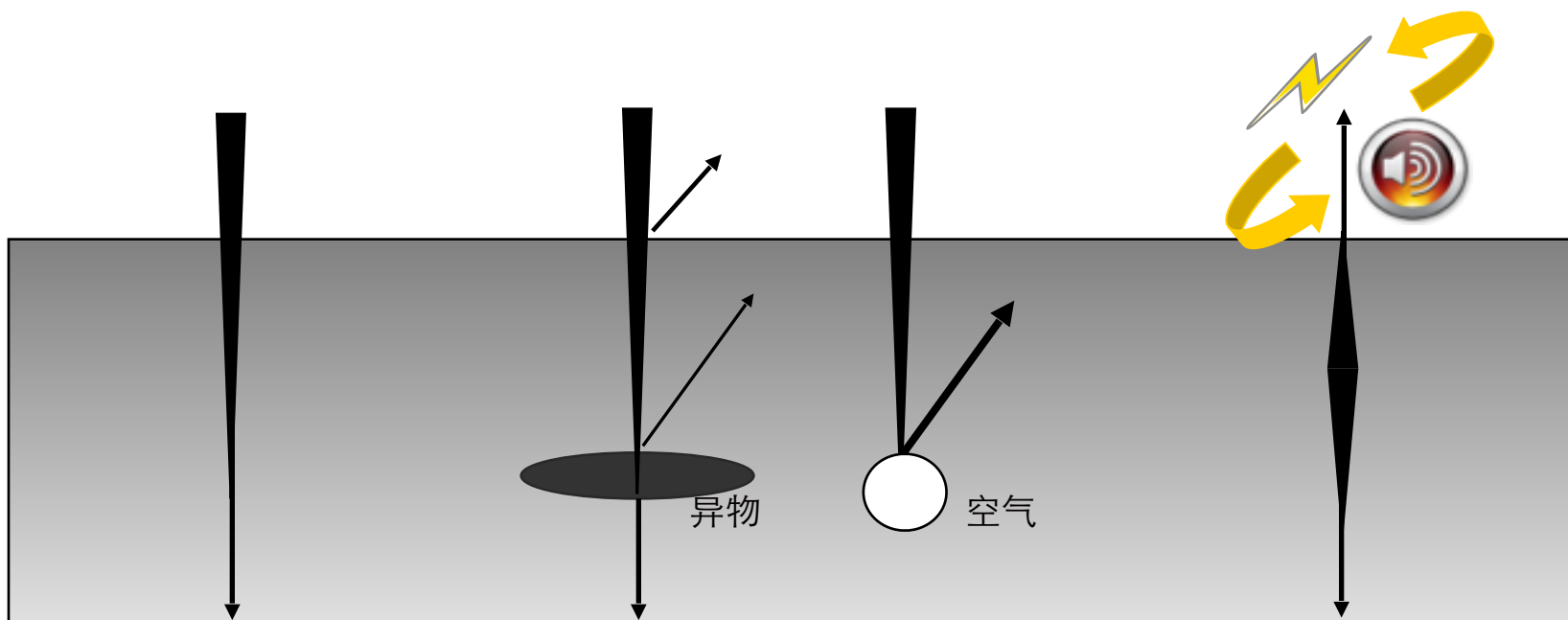


根据超声波能量大小，从各种计测到焊接等多方面都有超声波的身影。

- ① 声纳、鱼群探知器、测探、地质调查等的水中、土中探查
- ② 积雪、液面等级别计测
- ③ 潮流、水量、血流等的流量・流速计测
- ④ 垃圾、牙石等的清洗器
- ⑤ 气体等的泄漏探知器
- ⑥ 肿瘤、胎儿等的医疗诊断
- ⑦ 焊接、切断、加工、焊锡等作业
- ⑧ 热处理的促进

3. 超声波的性质

- ① 在液体、气体、固体中传播（指向性强且笔直行进）
- ② 在异物、接合部界面、缺陷等不连续部位发生反射
- ③ 超声波／电气间的相互转换比较容易
- ④ 对人体无害（能量在 $0.1\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下）



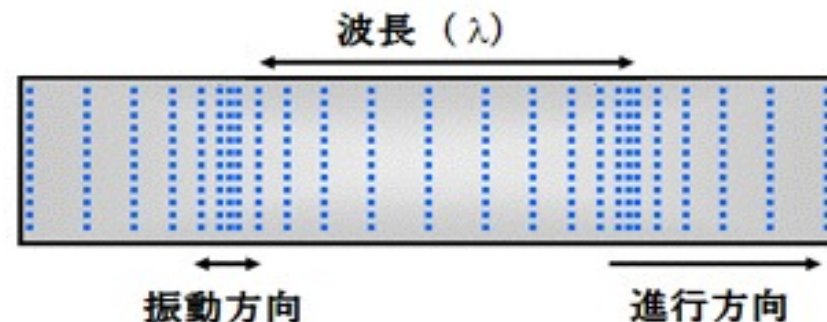
3. 超声波探查／探伤的应用



5. 超声波的种类

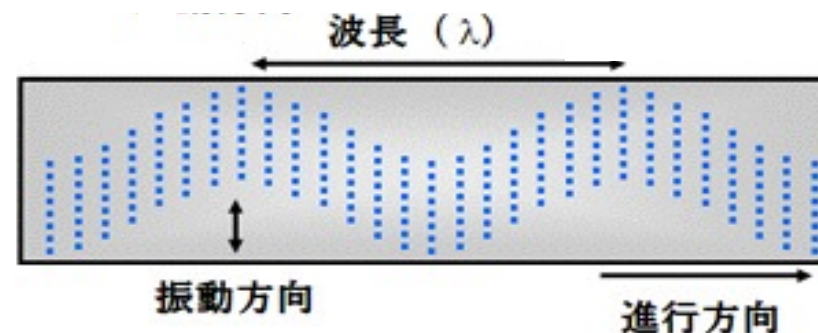
① 纵波

粒子与声波同方向移动，
纵波只存在于气体与液体中。
SAT(水浸法)是使用纵波的。



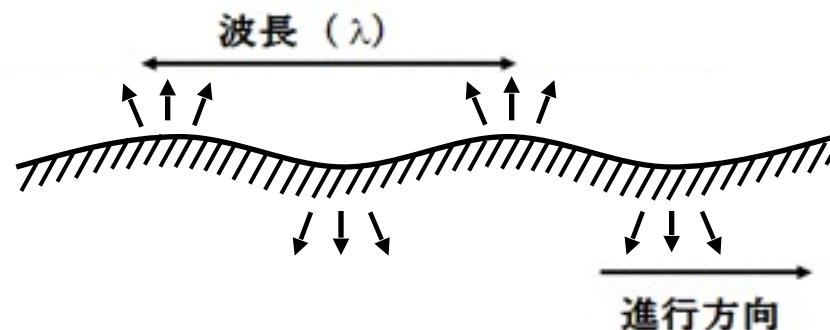
② 横波

粒子在声波的垂直方向上移动，
横波只存在于固体中。
被应用于手持式探伤等斜角探伤中。



③ 表面波

在固体表面附近同时存在横波成分与纵波成分，
在声波行进方向的侧面，粒子以椭圆形态移动，
一旦满足斜角探伤的条件即发生。



6. 声速与波长

① 声速

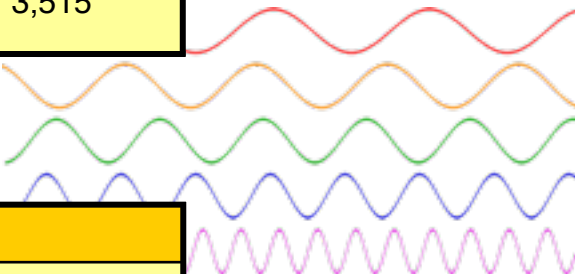
传递声波有一个速度（声速），声速根据物质种类基本是一定的，可以根据弹性系数与密度计算。



物质	縱波	横波	物质	纵波	横波
铝	6,260	3,080	铜	4,700	2,260
锌	4,170	2,410	镍	5,630	2,960
银	3,600	1,500	钨	5,460	2,620
钢	5,900	3,230	石英玻璃	5,570	3,515

② 波长

波长由传播超声波的物质声速决定，与频率成反比，频率越高波长越短（一般的检测能力是波长的1/2左右）。



物质	波长 (mm)				
铝	1.25	0.63	0.25	0.13	0.06
钢	1.18	0.59	0.24	0.12	0.06
封装树脂	0.79	0.39	0.16	0.08	0.02
硅	1.72	0.86	0.34	0.17	0.03
频率	5MHz	10MHz	25MHz	50MHz	100MHz

7. 声音的阻抗

声音的阻抗由其媒介物决定，正式名称为固有声音阻抗，或者特性声音阻抗。在超声波探伤领域省略为声阻抗（Z），由媒介物的密度（ρ）以及声速（C）的乘积来定义。 $Z = \rho \cdot C$

声阻抗是影响反射／透射的极其重要的数值。

物质	密度 ρ (纵波声速 C (m/s)	声阻抗 Z (
铝	2.70	6,260	16.9
锌	7.1	4,170	29.6
银	10.5	3,600	37.8
金	19.3	3,240	62.5
水银	13.6	1,460	19.9
钨	19.1	5,460	104.3
钢	7.7	5,900	45.4
铸铁	7.2	4,800	34.6
不锈钢	8.03	5,660	45.5
铜	8.9	4,700	41.8
塑料	0.92	1,900	1.7
环氧树脂	1.2	2,600	3.1

8. 超声波在界面的反射／穿透

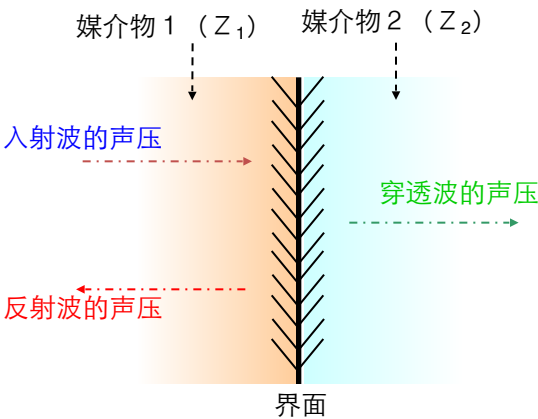
① 反射

从声阻抗 Z_1 向声阻抗 Z_2 超声波垂直入射时，

声压反射率 R 如下记：

反射率 (R) =
$$\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

	声压反射率 R (%)					
物质	Z	空气	水	硅	铜	钢
铝	16.9	100	83.9	8.5	42.4	45.8
钢	45.4	100	93.7	38.8	4.1	
铜	41.8	100	93.2	35.2		
硅	20.0	100	86.2			
水	1.48	100				
空气	4×10					



- ① Z 差越大，反射率越强
- ② 同种材料间没有反射
- ③ 遇到空气差不多100%反射

② 穿透

从声阻抗 Z_1 向声阻抗 Z_2 超声波垂直入射时，

声压穿透率 T 如下记：

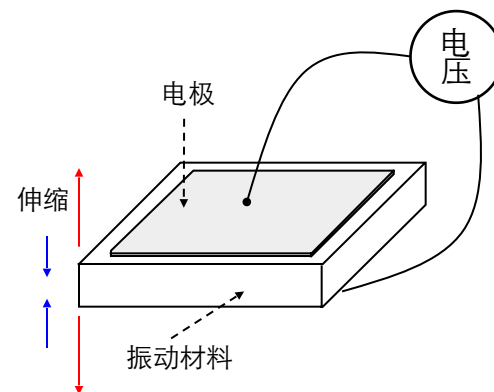
穿透率 (T) =
$$\frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{Z_1 + Z_2 + (-Z_1 + Z_2)}{Z_1 + Z_2} = 1 + \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} = 1 + R$$

9. 超声波的发生与发射／接收

① 发生

在加工成一定厚度的压电素子上安上电极，向两极间加电压后，压电素子会伸缩，相反的，压电素子在进行机械性的伸缩时会产生电压。

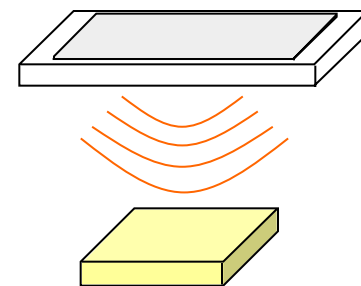
这种现象被称做压电效果。压电素子可以是水晶、钛酸钡、硅、高分子薄膜等。



② 发射

向压电素子反复施加数次脉冲电压后，压电素子会产生数次脉冲振动。

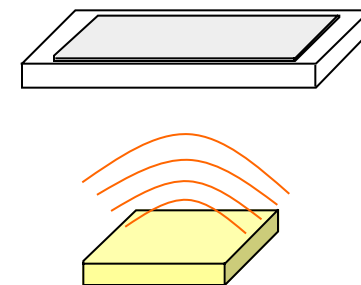
这种状态通过作为传播介质的水到达被测体时即传播了振动，同时、也将超声波脉冲在被测体中传播。这个过程被称作超声波的发射。



③ 接收

超声波脉冲在被测体的缺陷处或底部等不连续部位反射并返回压电素子时，压电素子会根据超声波脉冲发生振动伸缩，并产生与超声波脉冲强度同比例的高频率电压。（机械振动变换为电气信号）

这个过程称作超声波的接收。



10. 超声波探触子

超声波探头由振动材料、减振材料、连接器以及外壳组成。

- 振动材料

起到机械信号与电气信号相互转换的作用

- 减振材料

减少振动材料的振动次数，生成波数较少的脉冲，提高分辨率。

- 连接器

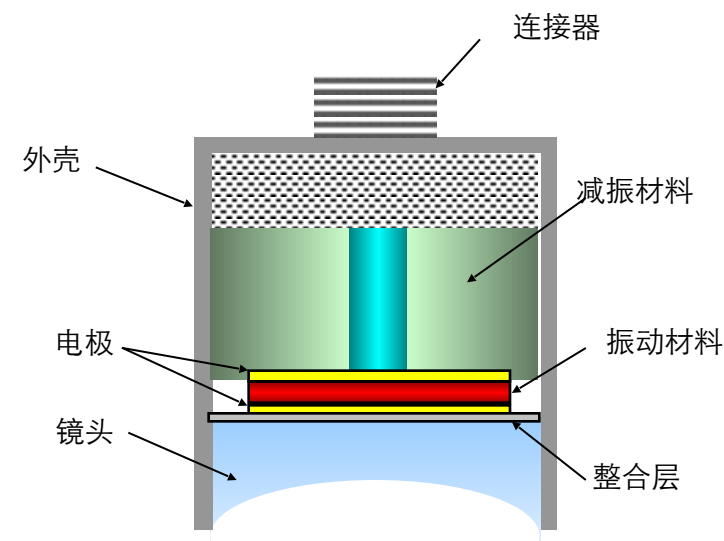
连接探头与探头电缆，S A T使用的是防水型M型连接器

- 整合层

在振动材料与镜头之间插入的减少超声波能量损失的材料

- 镜头

使得超声波波束可以在任意的深度细致地聚焦。(会聚収束する)



11. 超声波的指向性与会聚收束

① 指向性 / 指向角

超声波在普通的探头中一般是在某个角度范围内强烈地放射。

这被称之为指向性，这个角度称为指向角。

指向角(ϕ_0)与振动材料的直径(D_E)、波长(λ)、声速(C)、频率(f)的相互关系如下。

$$\phi_0 \approx 70 \lambda / D_E = 70 C / D_E f$$

通过这个公式，我们可以知道振动材料直径越小以及波长越长，超声波的波束越容易扩散。

日立 S A T 为了改善这类扩散，使用了较多通过声阻抗来会聚波束的方法。

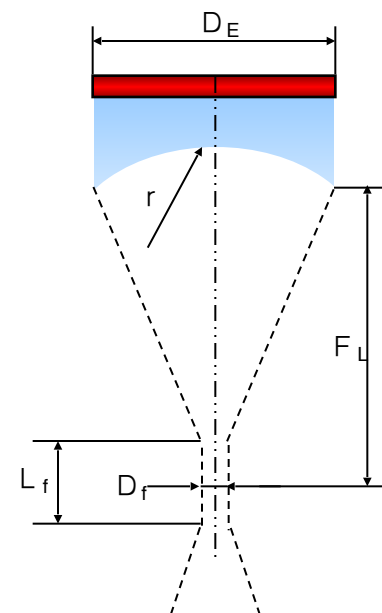
② 波束的会聚

会聚的波束直径(D_f)与会聚长度(L_f)的近似值可以由以下公式得出：

$$\text{会聚的波束直径}(D_f) = 0.71 \frac{\lambda f L}{D_E / 2}$$

$$\text{会聚的波束长度}(L_f) = \frac{a}{a^2 - 1} D_E \quad a = \frac{D_E}{4 \lambda f L} \frac{r}{(1 - C_W / C_{OL})}$$

焦点距离(f_L) =



把2个不同的缺陷分辨出来的两点间最小间距我们称为分辨率。

在超声波领域，一种是与超声波传播方向相关的深度分辨率，一种是与传播方向和直角相关的方位分辨率。

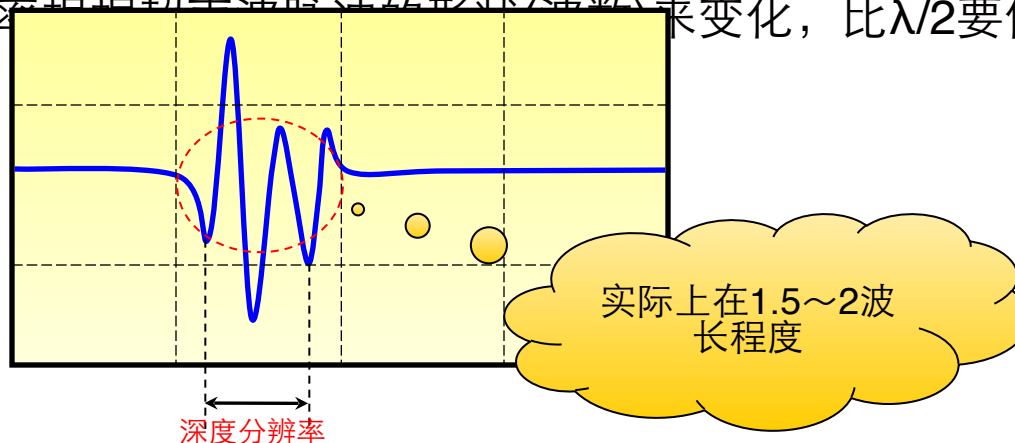
① 方位分辨率

表示为波束直径的 $1/2$ ，取决于波束直径（波束直径越细小方位分辨率越高）。

② 深度分辨率

一般表示为波长的 $1/2(\lambda/2)$ ，取决于检测时的频率与被测体的声速。

实际上，深度分辨率根据超声波脉冲的波形(波数)来变化，比 $\lambda/2$ 要低。



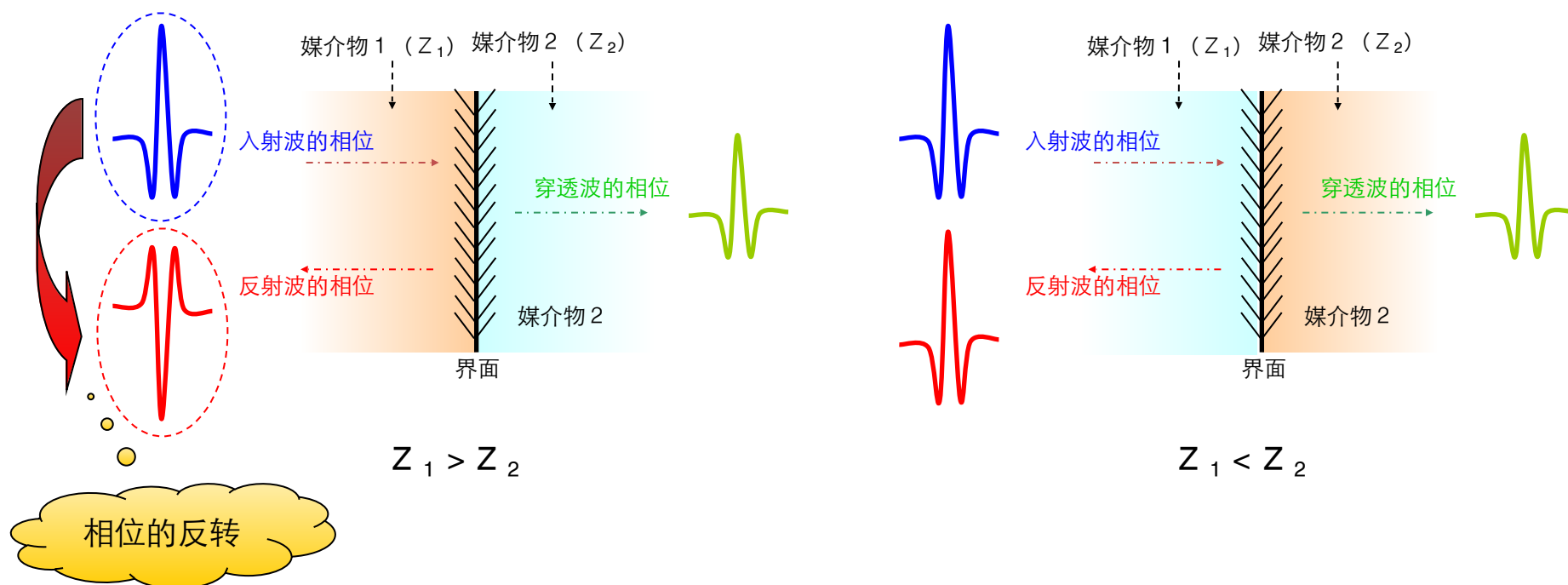
13.界面的相位

超声波在两种物质的界面反射时，若 $Z_1 > Z_2$ ，声压反射率（R）为负值。

这是由于相对于入射波的相位，反射波的相位反转了 180° 。

若 $Z_1 < Z_2$ ，位相不发生相位反转。

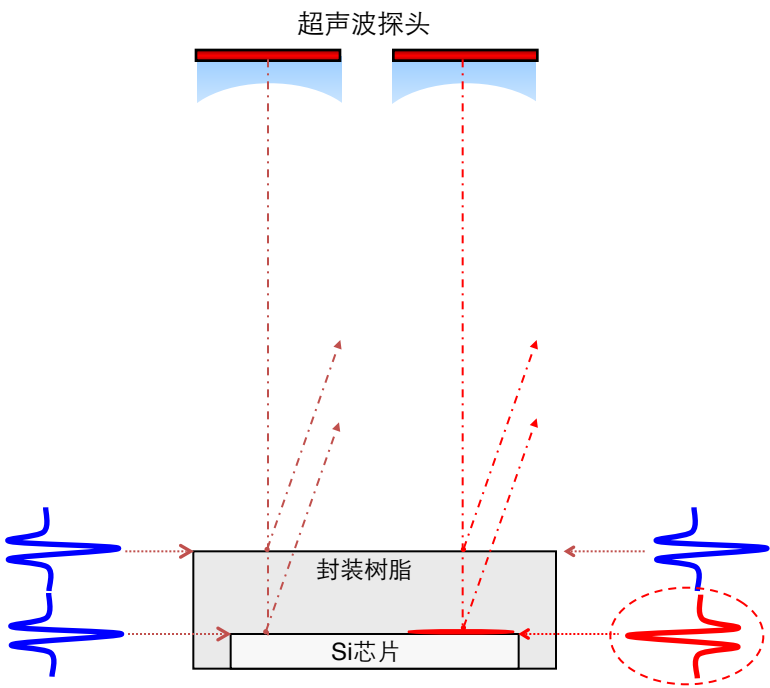
但是，穿透波的相位无论哪种情况都与入射波的相位相同。



14. SAT检测中反射波的相位

根据超声波影像设备（SAT）的实际检测经验，在缺陷部位一般总是 $Z_1 > Z_2$ ，从缺陷部位回来的反射波的相位总是反转的。

但是，需要注意的是，无缺陷情况下，在 $Z_1 > Z_2$ 的界面也同样会发生相位反转。



半导体PKG内部的树脂/芯片界面的情况

界面的组合	相位	反射率 (%)	接合部状态
树脂 / 芯片(Si)	+	50	正常
树脂 / leadframe(42合金,Cu)	+	72	正常
树脂 / 基板(FR4等)	+ / -	30~40	正常
树脂 / 空气	-	100	缺陷
芯片(Si) / Ag paste	-	26	正常
芯片(Si) / 焊锡	-	4	正常
芯片(Si) / underfill	-	50~55	正常
Si / Si、SUS			正常
Si / 空气、			缺陷

即使不是缺陷，也会有波形反转的情况

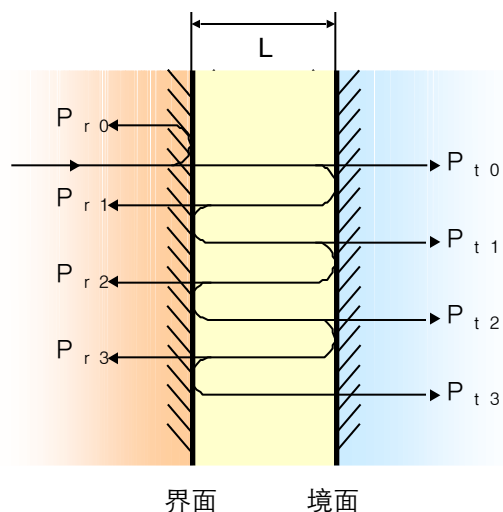
15.较薄层面的反射/穿透/干涉

超声波若垂直射入较薄的层面，会发生两个界面间的多重反射与干涉。

较薄层的声压反射率是由层的厚度与超声波波长所决定的。

比如银paste／焊锡等的接合层，金属等固体内部有非铁介质存在等。

媒物1 (Z_1) 媒物2 (Z_2) 媒物3 (Z_3)



$$P_r = (P_{r0} + P_{r1} + P_{r2} + P_{r3} + \dots + P_{rn-1} + P_{rn})$$

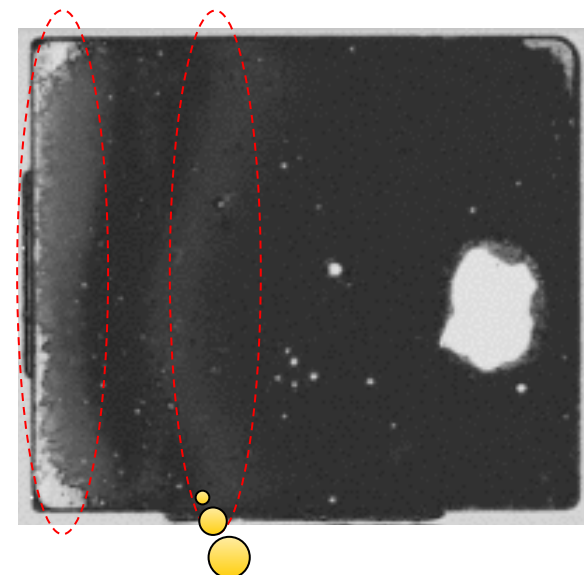
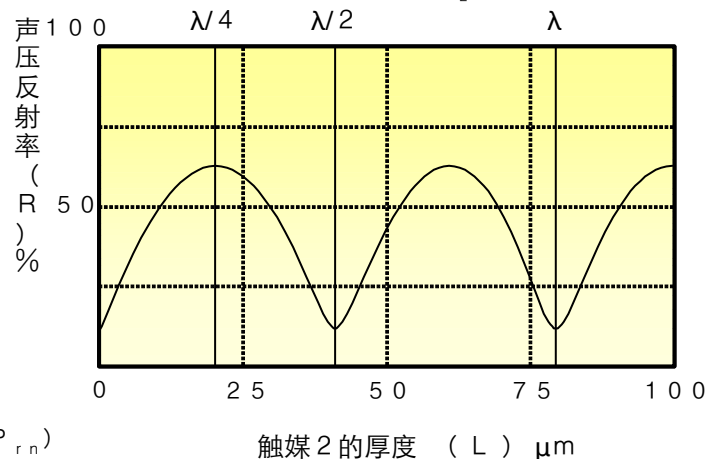
$$P_t = (P_{t0} + P_{t1} + P_{t2} + P_{t3} + \dots + P_{tn-1} + P_{tn})$$

媒物1 (铜)
: $Z_1 = 41.830 \text{ (kg/m}^2\text{s)} \times 10^6$

媒物2 (焊锡)
: $Z_2 = 41.830 \text{ (kg/m}^2\text{s)} \times 10^6$

媒物3 (氧化铝)
: $Z_3 = 41.830 \text{ (kg/m}^2\text{s)} \times 10^6$

频率: 25.0 MHz , 波长: $\lambda_2 = 79.2 \mu\text{m}$



反射率强的部位与弱的部位相互干涉的图像

致超声波影像设备用户



HITACHI
Inspire the Next

S A T 操作与功能说明 (中级篇)

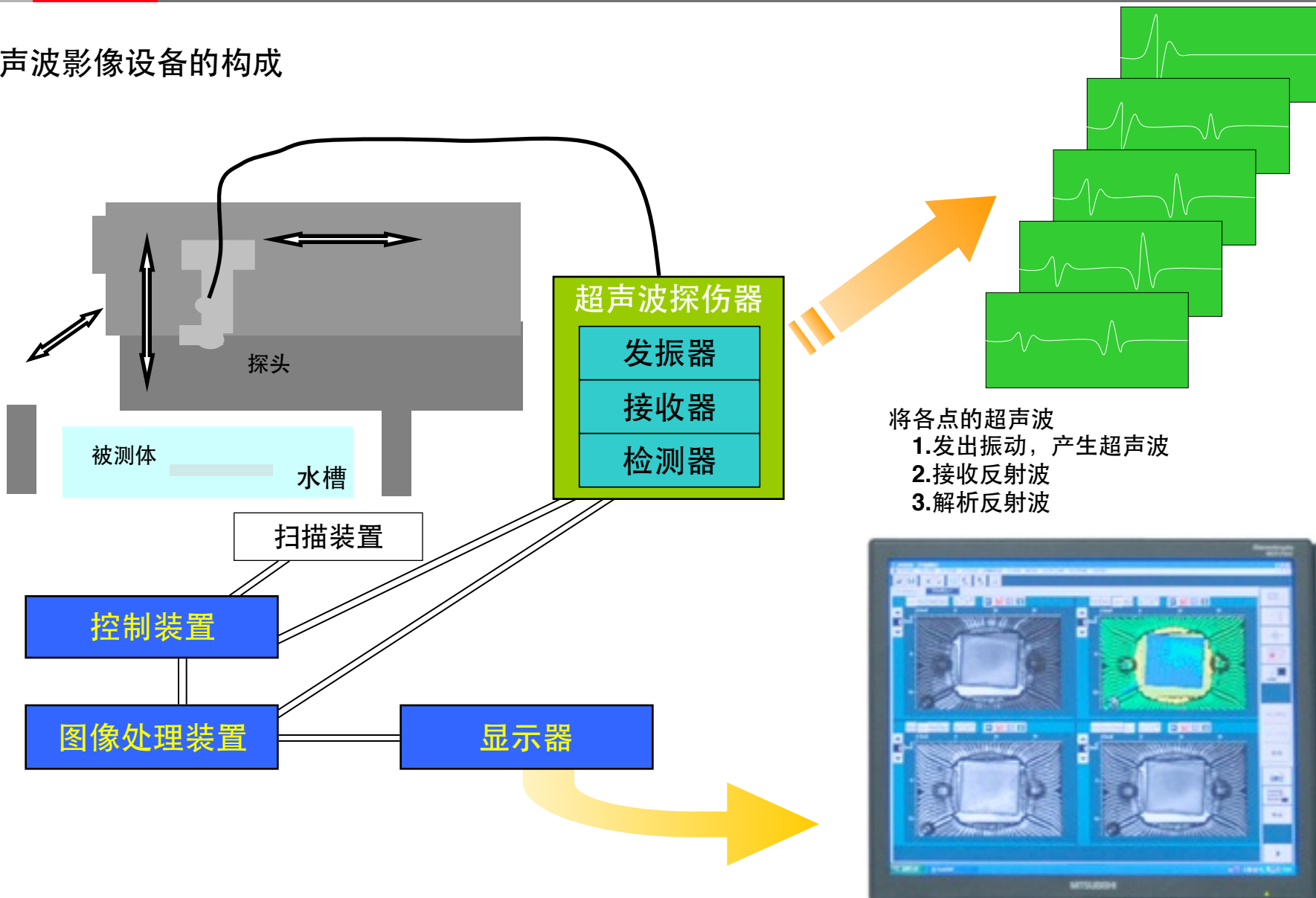
 株式会社 日立Power Solutions
计测系统営業部

Contents

- 1. 超声波影像设备的构成
- 2. 超声波影像设备的参数
- 3. 检测pitch与分辨率
- 4. 什么是S Gate?
- 5. 聚焦
- 6. 声速与Z轴下探距离
- 7. F Gate的设定
- 8. Bulk (块状物) 的焦点设定
- 9. 能量・增益・PRF的设定
- 10. 相对比较与对比度的调整
- 11. 计测评价 (profile轮廓功能的使用)
- 12. 深度图像检测
- 13. 穿透法检测
- 14. 探头类型的各种特征
- 15. Bare chip (裸die) 的检测方法
- 16. Chip crack的检测方法
- 17. 斯奈尔定律与声速较快材料的焦点

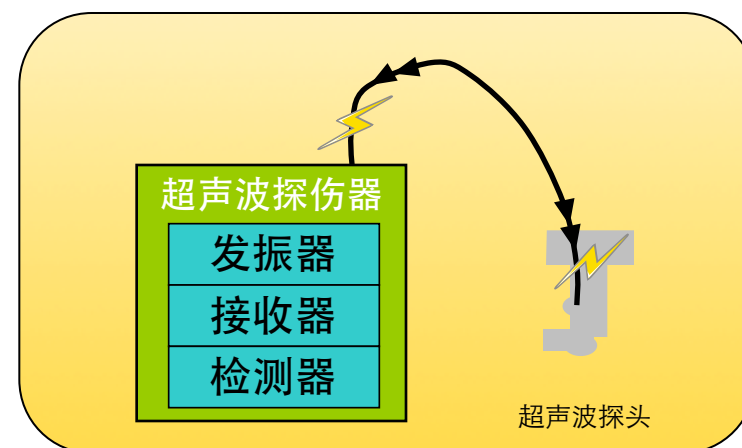
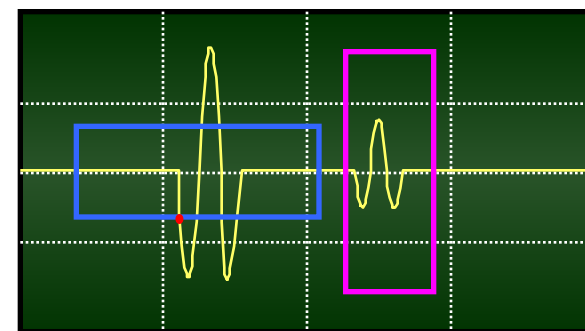
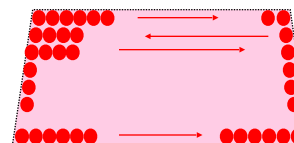
1. 超声波影像设备的构成

超声波影像设备的构成



为取得C-Scan图像的参数条件

1. 探头选择
2. 扫描区域 • 扫描**Pitch**（间距）设定
3. **S Gate**设定
4. **Z轴**对焦
5. **F Gate**设定
6. **能量 • 增益 • PRF**
7. 对比度设定
8. 深度图像设定
9. 透射法检测



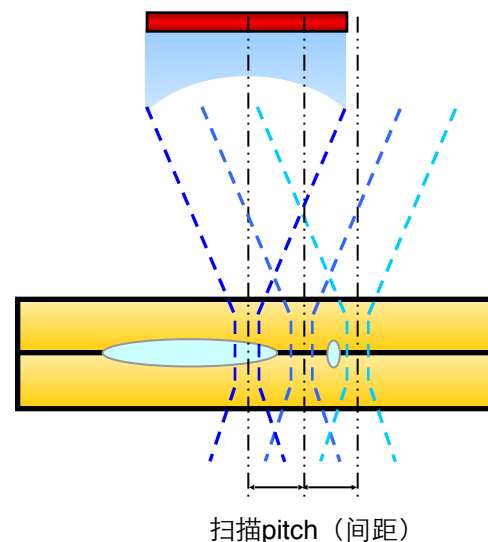
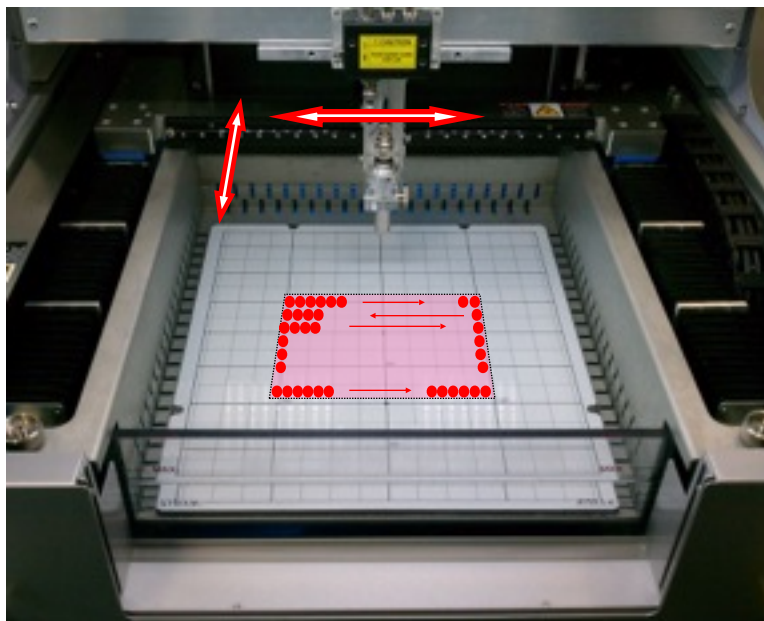
3. 扫描pitch（间距）与分辨率

① 扫描区域与扫描pitch（间距）设定

S A T 的超声波探头是在平面上扫描并取得平面图像。图像的分辨率是根据使用探头与被测体所决定，即使将扫描pitch（间距）设定得比分辨率小很多，也不能提升图像分辨率。而是应该根据材质与深度、希望检测的缺陷大小，选择最合适的探头与扫描pitch（间距）。速度模式下探头在X轴往与返时都获取图像数据，而画质模式下仅在往时获取图像数据。

② 扫描pitch（间距）与Beam直径的关系

当超声波的Beam（波束）直径小，但扫描pitch（间距）宽时，如右下图，会发生微小缺陷漏检的情况。

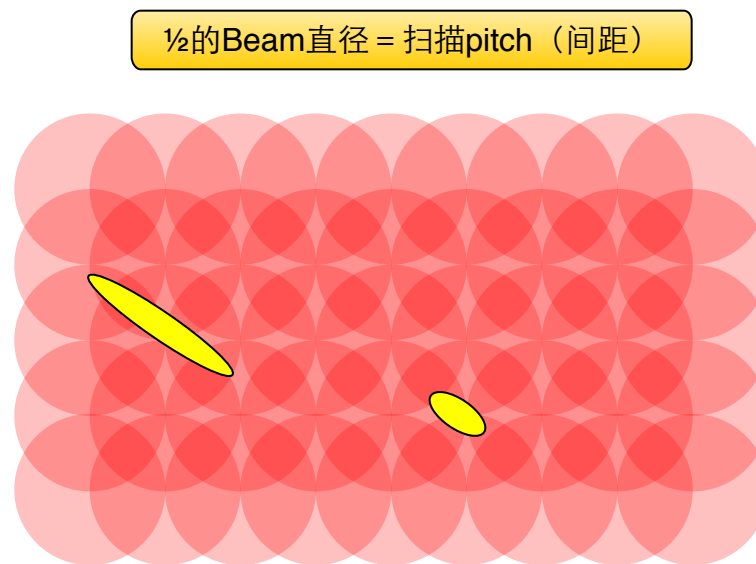
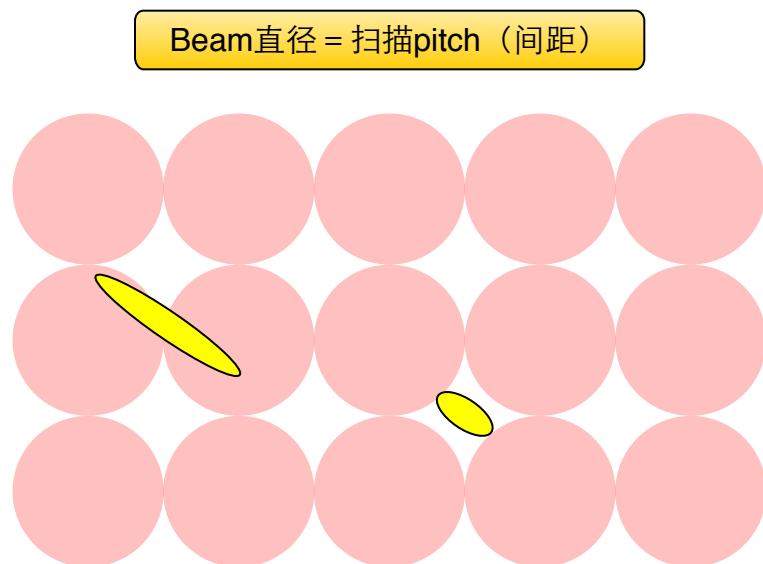


3. 扫描pitch（间距）与缺陷检测能力

① 扫描区域与pitch（间距）的设置

如右下图，若将扫描pitch（间距）设定为Beam直径的一半，即使是尺寸小于波束直径的空洞也能被检测出。当然，这也不是说依样画葫芦的话就能一定保证检测出极端微小的空洞。

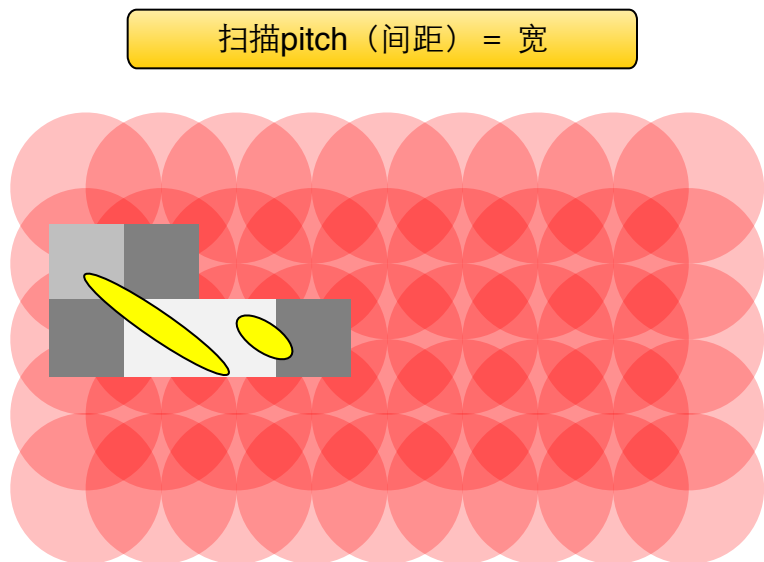
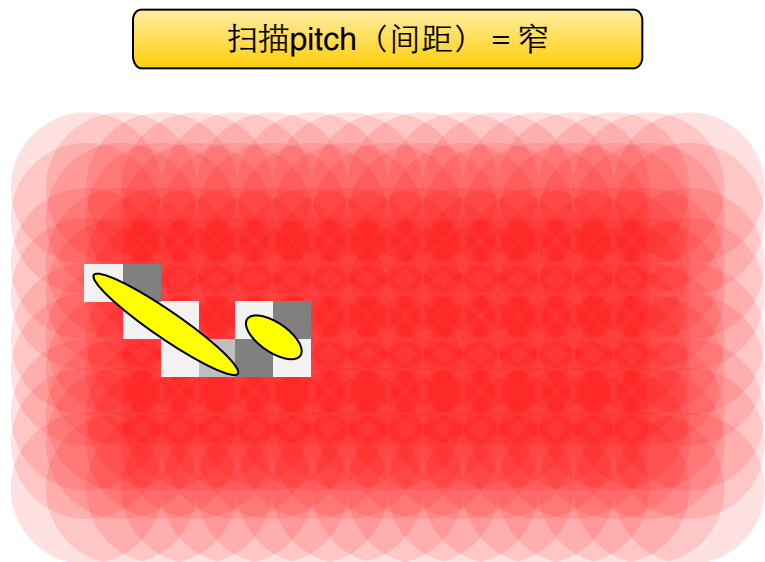
若检测条件是只要能检测出比Beam直径大的空洞就可以的话，那可以设定更宽泛的扫描pitch（间距）。但这若是针对微小区域的扫描，图像可能会呈马赛克状，即使缺陷检测能力没有变化，这时选择1/2的Beam直径的扫描pitch（间距）应该是合适的。



① 分辨率与缺陷检测能力

在S A T领域，方位分辨率与方位缺陷检测能力是不同的概念，在使用这两个词语时有必要引起注意。无论是方位分辨率还是方位缺陷检测能力都将根据探头的Beam直径与被测体的检测深度来决定。

如下图所示，当两个空洞非常接近的时候，在各自中间的坐标处，当扫描pitch（间距）较宽时，两个空洞的反射波会被一起接收从而只显示检测出一个空洞。另一方面，当扫描pitch（间距）较窄时，在中间坐标处，会有一个反射较弱的像素点，从而两个空洞会被区分识别。



4. 什么是S Gate?

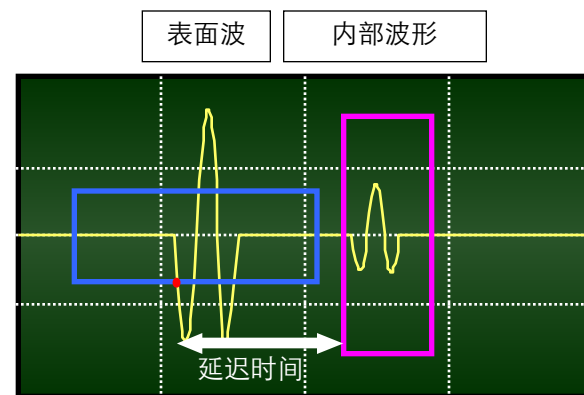
① S Gate功能的作用

通过 S Gate 的设定来修正被测体的翘曲、高度差异，从而设定从表面至一定深度的F Gate。对于有翘曲的被测体来说，在设定S Gate时则包含了所有的高度差。

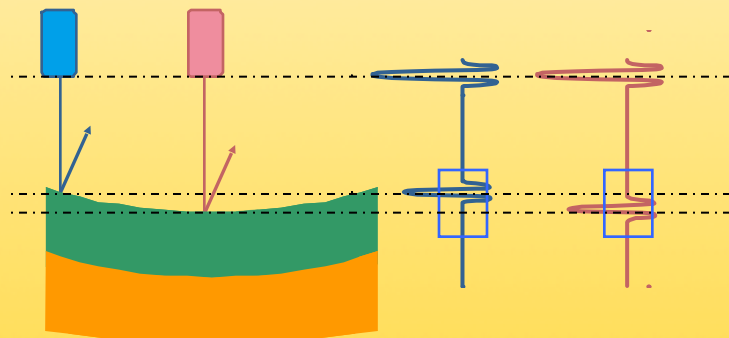
应用： chip S Gate

② S Gate触发的大致目标

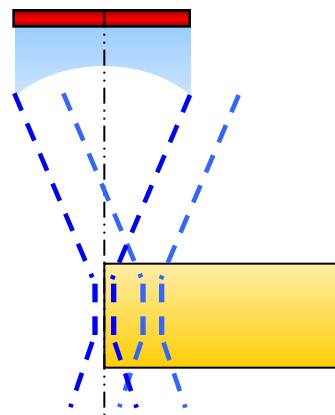
理想的是在被测体径向表面波波峰的一半位置设定触发点。一般来说，只要S Gate能够“框住”表面波（引起触发）即可。



○ 检测有翘曲的被测体的情况



S Gate设定：能够涵盖所有径向表面波。



将触发点设置在表面波波峰50%处，可以认为表面波的设定基本与被测体表面是相同面积。

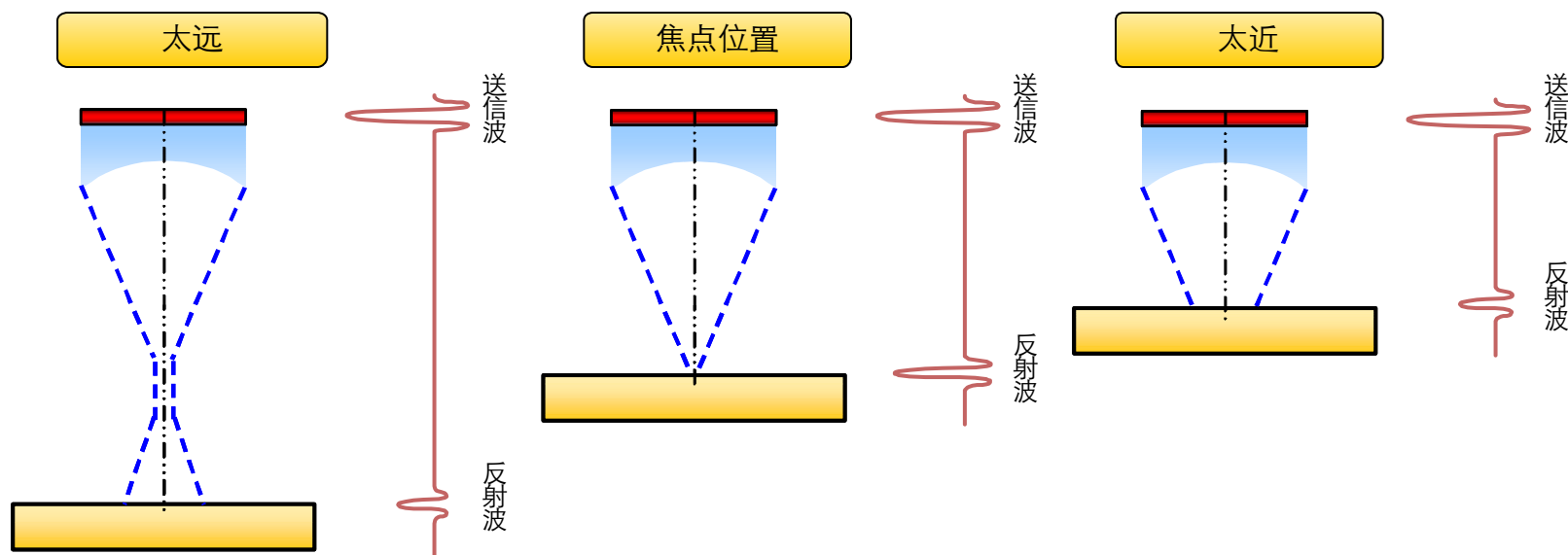
① 检测内部接合界面时的Z轴聚焦方法

由A scope、S image与手动方式获得的图像获取相关界面的反射波，上下移动Z轴，以寻找反射波最强的一处。

声速较快的材质（如硅）除了纵波外还会产生横波。横波与纵波因为声速的彼此不同，焦点位置也有所不同。此外，需注意的，如果探头与被测体接近时，即使焦点未对准，反射波的强度还是会增强。

② 想检测不特定深度的样品内部时

当不想检测特定深度，而想检测整个内部或同时观察内部多个深度时，我们要把Z轴调整至表面与底部之间、把焦点放在想要观察的层的中间。



6. 声速与Z轴移动距离（下降）的关系

○ 从表面焦点位置开始，Z轴移动下降的尺度目标

具有弹性波性质的超声波会根据斯内尔法则发生折射。由于折射率根据被测物体的材质（纵波）声速有所不同，Z轴从表面开始下降的距离可由材质与深度推导出来。

(从表面焦点位置)

探头下降的距离 (X) mm

=

检测深度 (Y) mm

×

被测体声速 (C) m/s

1 4 8 0 m/s (水的声速)

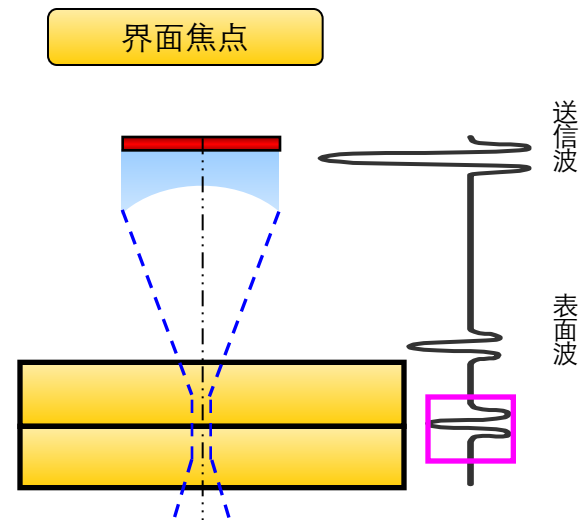
材质	声速 (C) m/s	(C) m/s / 水的声速
铝 (A l)	6,260	4.23
铜 (C u)	4,700	3.18
锌 (Z n)	4,170	2.82
镍 (N i)	5,630	3.80
银 (A g)	3,600	2.43
钨 (W)	5,460	3.69
钢	5,900	3.99
石英玻璃	5,570	3.76
单晶硅 (S i)	8,600	5.81

7. F Gate的设置

① 聚焦于界面・在界面上设定Gate

这种方法适用于层数较少并且知道界面深度的情况。

根据被测体的声速・检测深度推导Z轴的下降距离，或者在波形窗口上使用计测工具，求得检测界面的时间轴坐标。若是同种材料的接合面，则没有界面波。若要观察此处的接合界面，利用计测工具来找到作为尺度的波形要方便的多。若能够找到界面波，接下来我们要做的是找到其信号最大的那一点，聚焦，再设定F Gate就可以了。

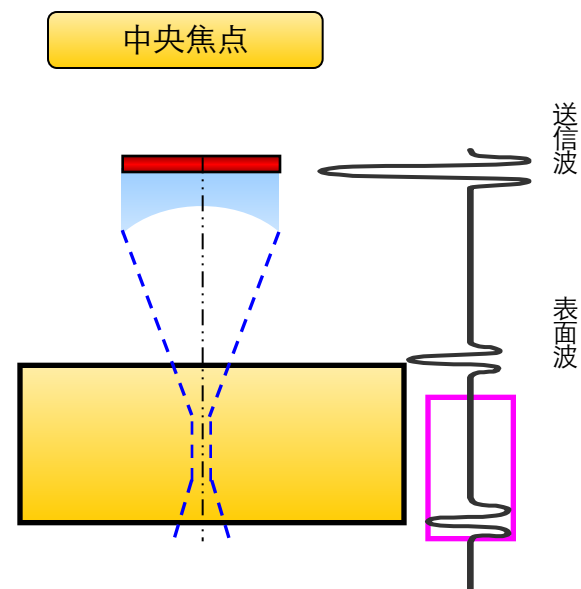


② 聚焦于中心深度位置・在表面以外的地方设定Gate

适用于void、crack的检测以及积层产品的剥离检测。

与上述在界面上聚焦的方法相同，根据声速、被测体的厚度可以推导Z轴下降的距离，然后聚焦于中间层。若在方位方向上分布较大的void・crack，则从空气层反射回来的反射波较强，也可知其深度。

若在方位方向上分布较小的情况，我们可以通过观察底面波的强弱，可知有些void与crack存在于超声波还未到达的深度（较暗处）。我们可以将探头移动至较暗处，找到其反射波信号最强的那一点，聚焦，则可知其深度位置。



8. 单一材质 (bulk) 的焦点设定 (1)

○ 如何检测单一材质内部的void

在检测单一材质样品时，没有特定界面的反射波，无法通过寻找反射波的波峰来聚焦。这种时候，可以通过以下两种方式来设定高度方向的焦点位置。

① 求得表面焦点与底部焦点中间值的方法

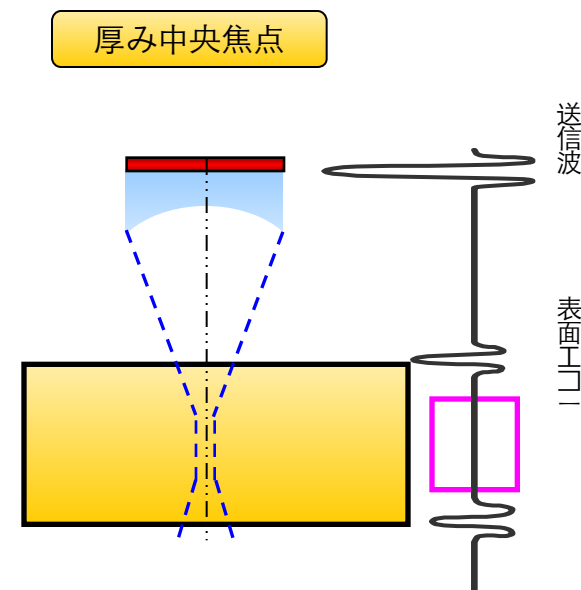
当探头的焦点距离不是很长时，我们可以采取找出表面焦点Z轴坐标与底部焦点Z轴坐标的中间值的方法。先通过移动Z轴分别找出，表面波与底部波各自的波峰，而Z轴移动量的大约一半为中间位置。

② 通过探头焦距、声速与Z轴移动系数来求出焦点位置

当探头的焦点距离较长，无法寻找表面与底部的中间值时，我们可以通过下记公式、求得发信波与表面波在水中的距离（也就是探头离样品表面的水中距离）。利用这个距离配合时间轴来设定Z轴位置。（参照“6. 声速与Z轴移动距离（下降）的关系”）

（使用波形界面中的计测功能来确认位置）

$$\begin{array}{lcl} \text{探头离样品表面的水中距离} & = & \text{探头的焦距} - \text{检测深度 (Y) mm} \times \text{Z轴下降系数} \\ & & \text{(探头设计规格值)} \qquad \qquad \qquad \text{(可通过声速比导出)} \end{array}$$

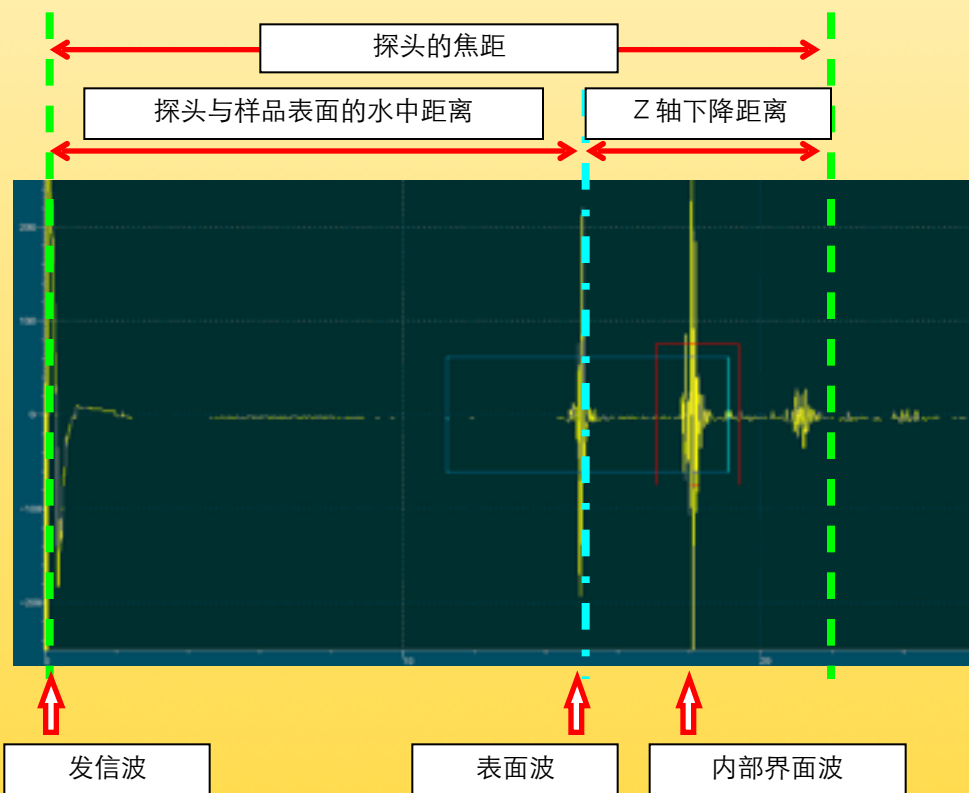


8. 单一材质 (bulk) 的焦点设定 (2)

(使用波形界面上的计测功能来确认位置)

探头离样品表面的水中距离 = 探头的焦距 - 检测深度 (Y) mm × Z 轴下降系数
(探头设计规格值) (可通过声速比导出)

○ 探头焦距 · Z 轴下降距离 · 探头与样品表面的水中距离的关系



① 增益的设定

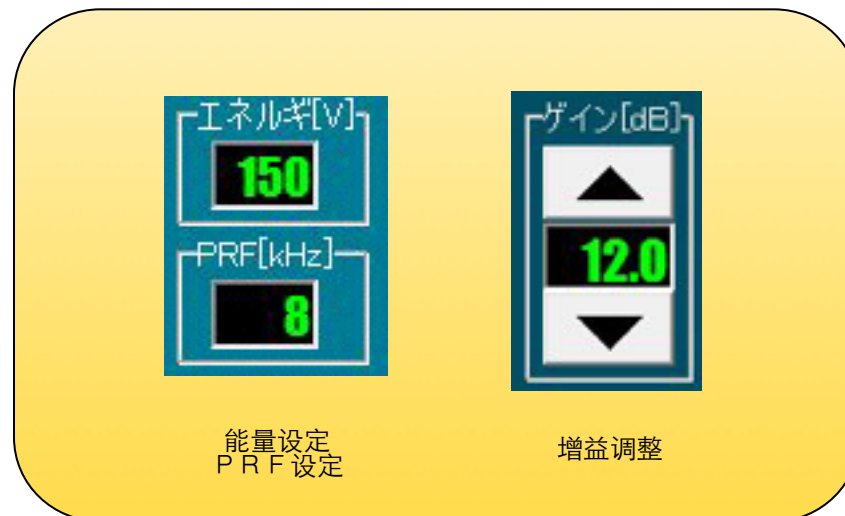
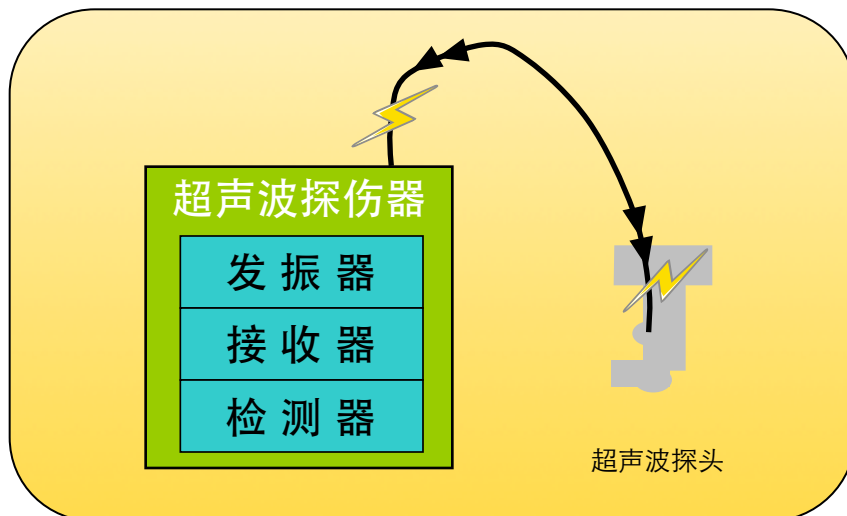
调整接收器（receiver）的增益。根据信号的增幅，波形的振动会加大，但同时杂讯也会增加。所以增益越大，SN比（信噪比）越差。通过观察扫描后的图像，调整SN比・对比度与能量的大小选择最合适的条件。

② 能量（探头电压）的设定

能量的参数表是用于设定向探头施加的电压。对于超声波衰减较大的材料，采用较低的增益同时调高电压可获得较好的SN比。

③ PRF 的设定

设定脉冲的时间。数值越大，在高精度检测时速度越快，但相对容易产生噪点。



10. 相对比较与对比度的调整

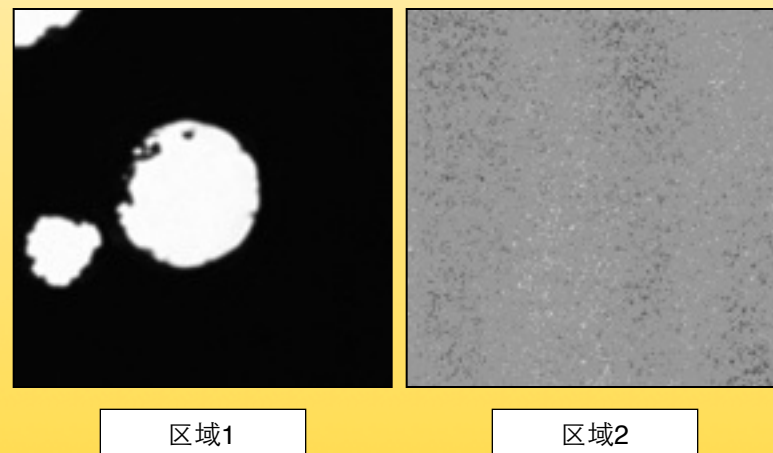
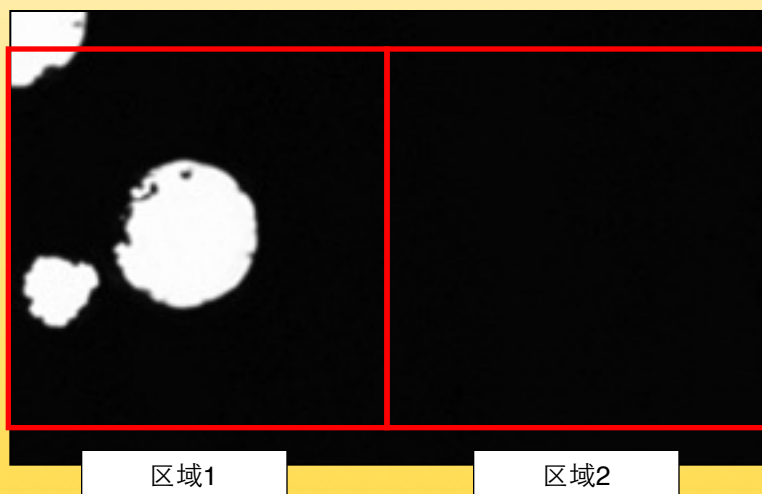
○ 相对比较的理由与对比度的调整方法

超声波影像设备是通过接受超声波信号后，根据其反射强度而形成一个平面图像。由于每个样品的形状、深度、材质各不相同，需要进行缺陷部位与正常部位的相对评价。

比如右下图，如果不在同一层面的图像，则无法判断究竟是缺陷还是正常。如果是像左下图那样，在同一层面上，即包括缺陷部位，也包含正常部位，则比较容易判断缺陷与正常。

在实际操作中，我们有时需要将良品・不良品并排放置并固定对比度同时检测。通过这样的对比能更准确地判断缺陷或正常。

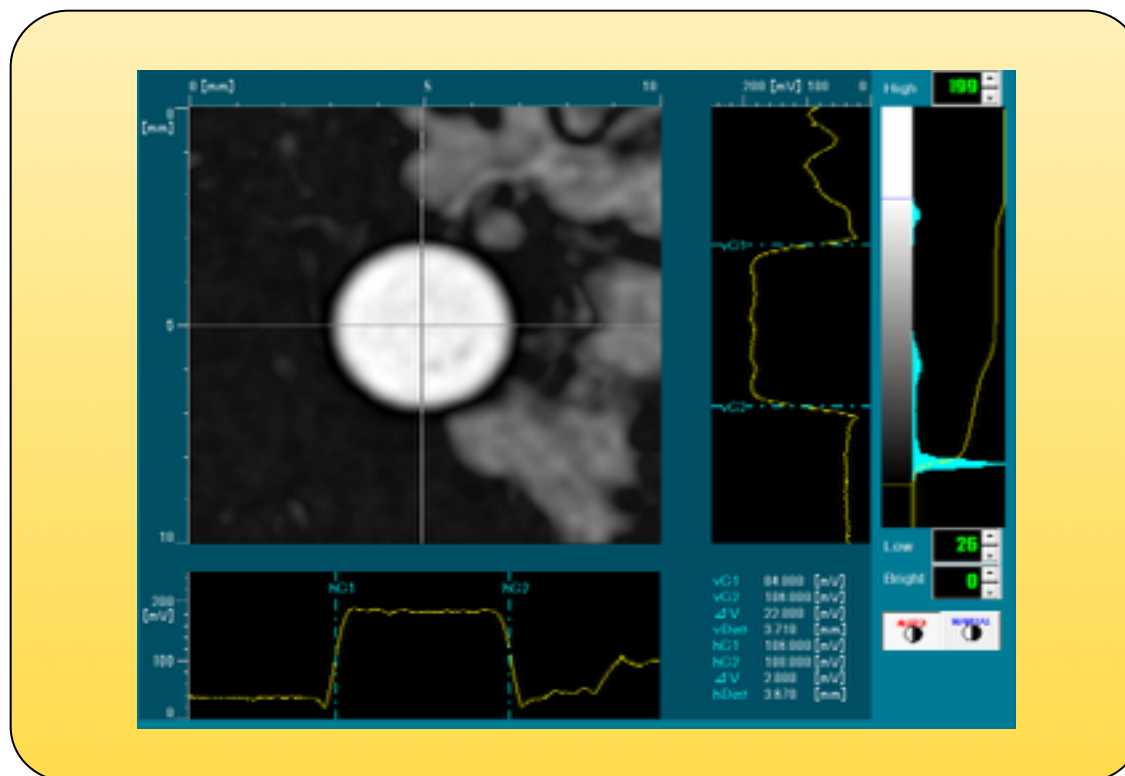
○ 有空洞与无空洞的区域（Si bonding Wafer的空洞）



11. 计测评价（轮廓的规格profile）

○ 通过使用轮廓功能计算缺陷大小

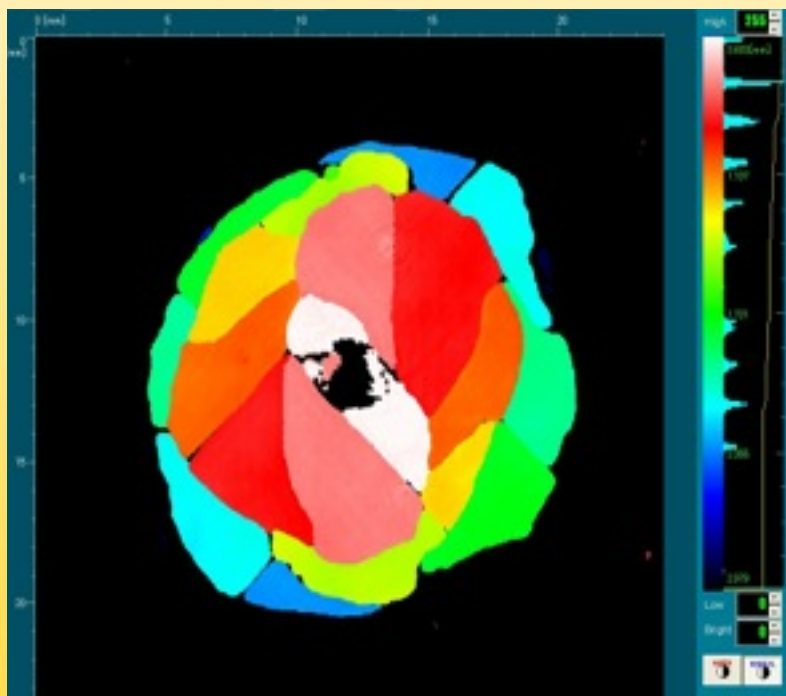
超声波影像设备是通过检测超声波反射信号的强弱、调整对比度继而成像。但是，由于对比度被调整，正常／缺陷的对比度差异有时也会减小，从而加大了通过目视的方法计算缺陷大小难度。这时，我们可以使用轮廓功能。获得图像后，启动轮廓功能，将光标移到缺陷部位能量顶峰与正常部位能量一半处。这个位置恰好是缺陷部位反射能量的一半，也正是超声波波束直径的一半的地方。在此处测算距离，可正确地获得缺陷的大小。



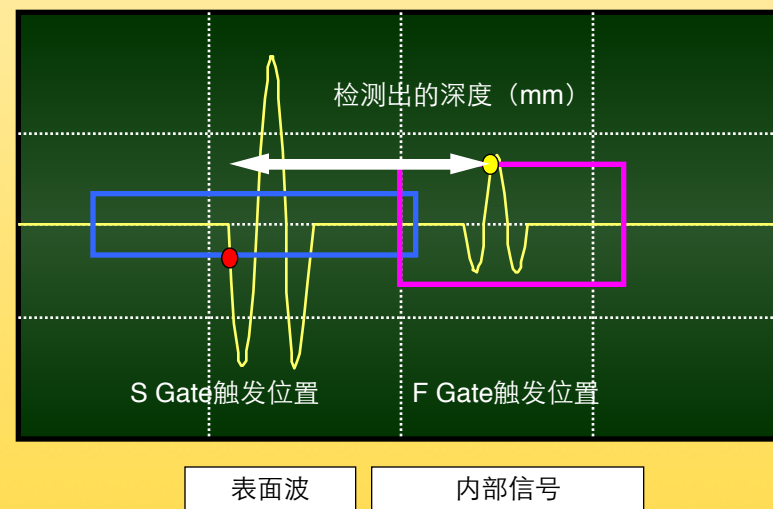
12. 如何获得深度图像

○ 获得深度图像的检测方法

超声波影像设备在接受到反射波的同时，可以检测出信号反射的深度。在设定了F Gate的触发位置后，软件会记忆超过触发阈值的信号深度，并以彩色图像来显示各个深度。这个方法可以对积层产品、材料内部的各个深度情况一目了然。



F检测出F Gate触发位置后并着色



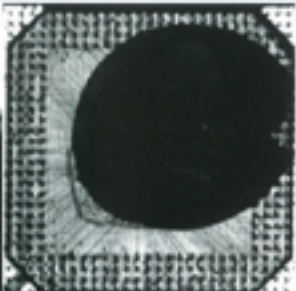
○ 反射法与透射法的比较

到目前为止，主要讨论的是通过检测出被测体内部的反射波强度成像的原理。同样，超声波影像设备也可以通过检测出超声波的透射强度而成像，这被称作透射法。

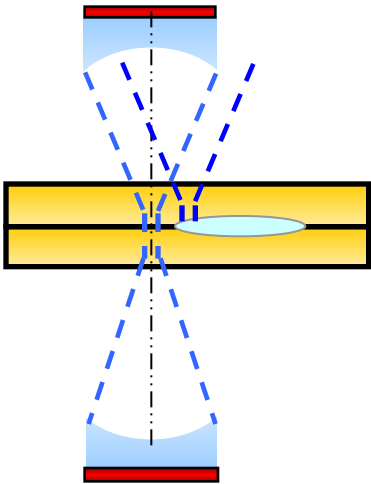
透射法的优点是，凭借超声波对于空气100%反射的原理，无论缺陷在哪个深度透射法都可以检测出。此外，也可评价样品是否有整体剥离与分层。

	反射法	透射法
分辨率	○	△
检测深度	○	×
Gate设定	可多层次、多界面检测评价面 可指定希望检测的层或界面	无法多层次、多界面评价 但Gate设定容易
多重信号 干涉波	有	无
有效范围	适合高分辨率・接近表面的评价	适合较薄且超声波易衰减的材料
设置难度 背面形状	设置容易	背面形状要求平整且材质是超声波易穿透的

[图像示例]



[透射法的模拟图]



○ 探头类型

探头根据频率与焦点距离各有不同，除此之外，又会根据频率带宽有各种探头类型。如果我们把握了各种探头类型，那么在选择探头与条件设定时会更加容易。

- ① ZnO蓝宝石探头： 追求高分辨率・与其他探头相比水中距离较短。
- ② 石英玻璃探头： 中频・分辨率较弱，但穿透性与平衡性较好。
- ③ 高分子探头： 相比石英玻璃探头分辨率较弱，但对于边缘效应处理较强。
- ④ 陶瓷树脂探头： 用于低频，在水中距离与穿透力方面都容易操控。

名 称	频率范围	特征 / 镜头反射波
ZnO蓝宝石探头 (ZnO type)	3 0 0 ~ 8 5 M H z	适用于裸die・轻薄短小的样品 / 有蓝宝石镜头反射波
石英玻璃探头 (PQ、V type)	1 0 0 ~ 5 0 M H z	适用于Molding PKG・中厚金属与陶瓷样品 / 有石英玻璃镜头反射波
高分子探头	1 0 0 ~ 5 0 M H z	适用于Molding PKG・中厚金属与陶瓷样品 / 无镜头反射波
陶瓷树脂探头 (PT、I type)	2 5 ~ 5 M H z	适用于较厚的Molding PKG与较厚材料 / 无镜头反射波

15. 如何检测裸die样品

○ 如何选择适合裸die的探头

检测裸die（非molding）样品时，主要使用140~250MHz的高频探头。使用高频探头能获得较高分辨率的图像，但同时由于超声波在水中的衰减较大，探头焦点范围基本在几个mm之间。

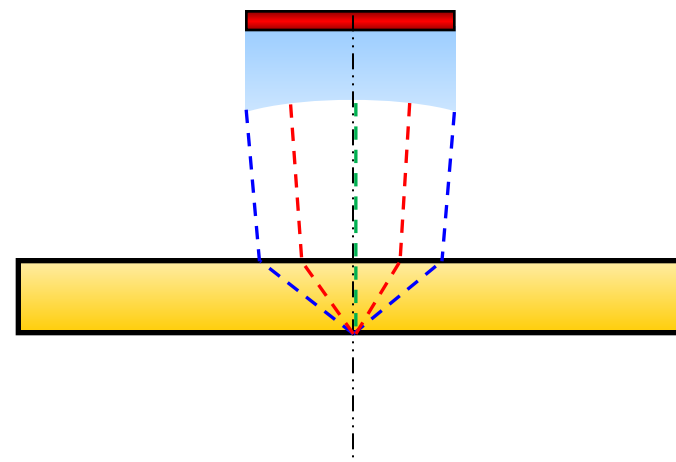
○ 检测裸die时如何聚焦

Si（硅）的声速相对较快（8,600m/sec），超声波从水中射入Si时会发生较大的折射。因此，针对Si芯片的厚度，我们至少需要其10倍距离 + α 的焦点距离的探头。一般来说，我们可以先聚焦在Si芯片表面，再下探其厚度10倍距离左右即可聚焦。

○ 探头的焦点距离与裸die（芯片）厚度组合（大致目标）

焦点距离	裸die厚度
2.9mm	~270 μ m
(3.8mm)	100~350 μ m
5.2mm	250~500 μ m
(6.9mm)	420~670 μ m
8.1mm	540~775 μ m

○ Si芯片内部超声波反射的模拟图



○ 如何检测带有裂纹的样品

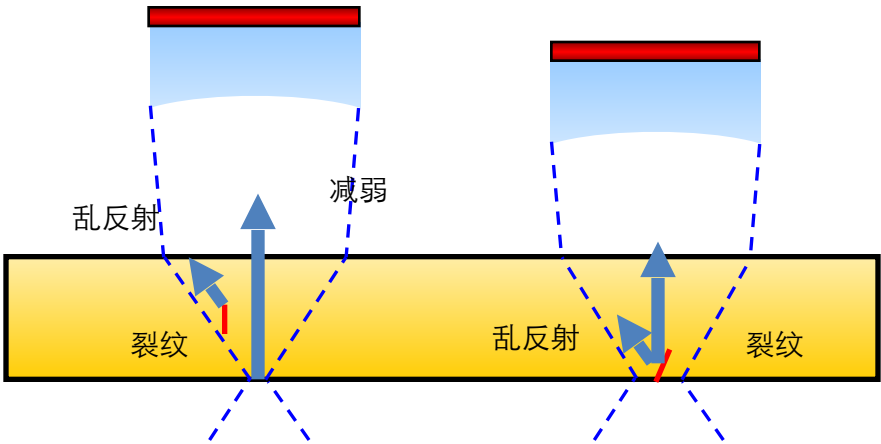
相对超声波的射入面，检测水平方向的裂纹与检测纵向或斜向的裂纹需要采取不同的方法。从纵向或斜向裂纹接收到的反射波未必比正常部位的反射波强，并且在这类裂纹的顶部会发生乱反射，所以一般认为裂纹的反射波会强烈在纵向或斜向裂纹的场合就不适用了。

这种场合，若要检测出裂纹，需要将**F Gate**设定在样品的底部（芯片的背面等），从而可以确认从表面～底部存在的所有裂纹。同样，由于乱反射的影响，在裂纹存在的XY方向上反射波会减弱，我们可以通过确认坐标位置来确定裂纹位置。此外，我们还可以特意将焦点位置不聚焦于底部，从而使得接近底部位置的裂纹在XY方向上能够清晰确认。

○ 探头频率与最小波束直径的组合（理论值）

频率	最小波束直径
25MHz	100～500μm
50MHz	46～85μm
100MHz	40μm
200MHz	10～30μm
300MHz	7～20μm

○ Si芯片内部超声波反射的模拟图



17. 斯内尔定律与声速相对较快材料的焦点

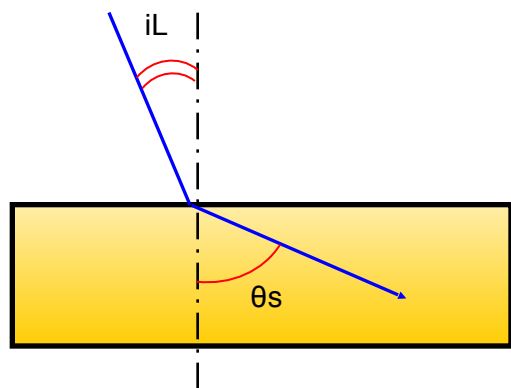
○ 斯内尔定律与从表面开始Z轴下探移动距离的关系

根据先前的论述，通过水中声速与对象材料声速的比值乘以希望聚焦的深度，可以推导出从表面开始Z轴下探移动的近似值。但有例外。比如声速较快的材料（一般认为声速大于6,500m/sec），若通过上述比值乘以深度推导出来的值将会有较大偏差。

超声波的折射根据斯内尔定律，在声速不同的物质界面发生折射。而且，由于超声波探头的镜头是球面的，入射角将根据小孔宽度·焦点距离以 $0\pm X$ 度射入材料内部发生折射。因此，折射角度将根据入射角度的不同而改变。

严谨的Z轴下探移动距离的理论值将根据每个入射角的超声波能量分布进行模拟后导出。

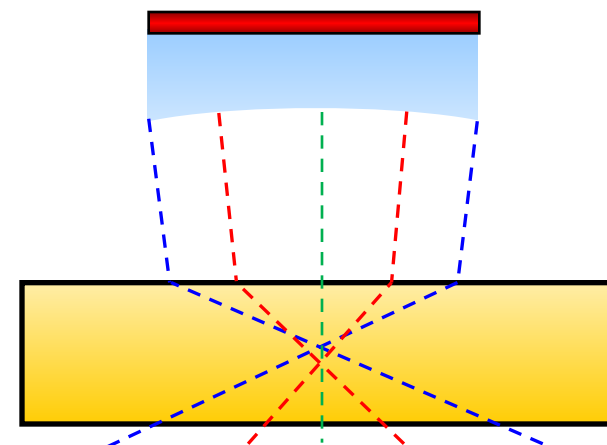
○ 超声波入射角与折射角的关系（斯内尔定律）



$$\frac{C_L}{\sin i_L} = \frac{C_{L'}}{\sin \theta_s}$$

C_L : 入射侧（液体）纵波声速值
 $C_{L'}$: 折射侧（固体）纵波声速值
 i_L : 纵波入射角
 θ_s : 纵波折射角

○ Si芯片内部超声波反射的模拟图



超声波影像设备用户



HITACHI
Inspire the Next

S A T 检测的FAQ (中级篇) 补充说明



株式会社 日立Power Solutions
计测系统销售部

Contents

1. 有关相位差相抵
2. 表面多重・内部多重波形
3. 内部多重纵波・多重横波
4. 裂纹浸水时的图像变化
5. 未聚焦时对于极性判断的影像

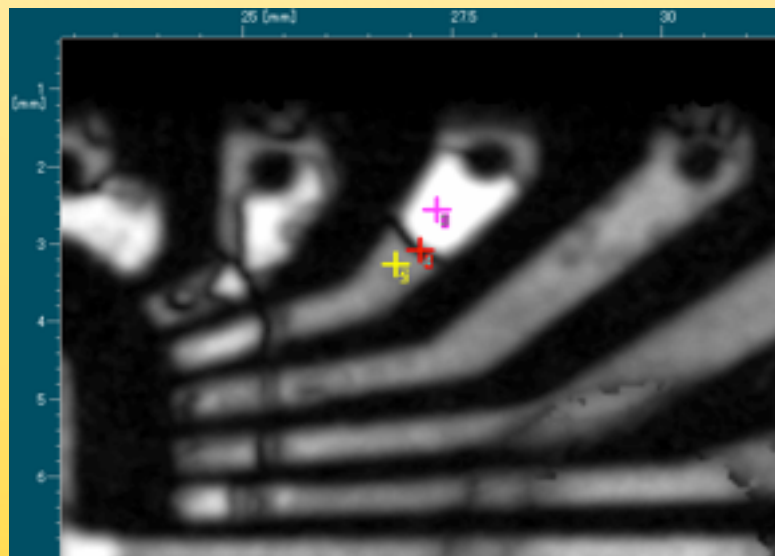
1. 有关相位差相抵

○ 剥离与正常部位的交汇处（+）（-）相位相抵

若是（+）相位强的发射波，resin与leadframe（Cu）若正常接合，则其界面（+）相位强烈，若剥离则其界面（-）相位强烈。此外，在剥离与正常部位的交汇处（+）相位与（-）相位相互抵消，波形失去强度。

因此，在正常部与剥离部的交汇处，会产生一条黑线。

○ 正常部位と剥离部位的交汇处相位相抵后的波形图



正常部位波形



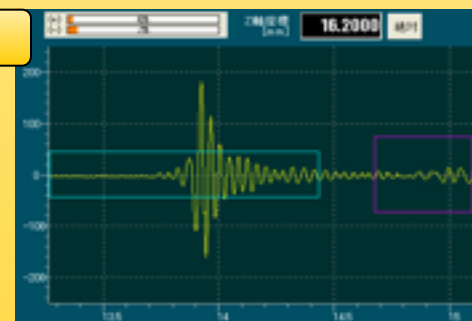
剥离部位波形



+

交汇处波形

=



2. 表面多重・内部多重波形

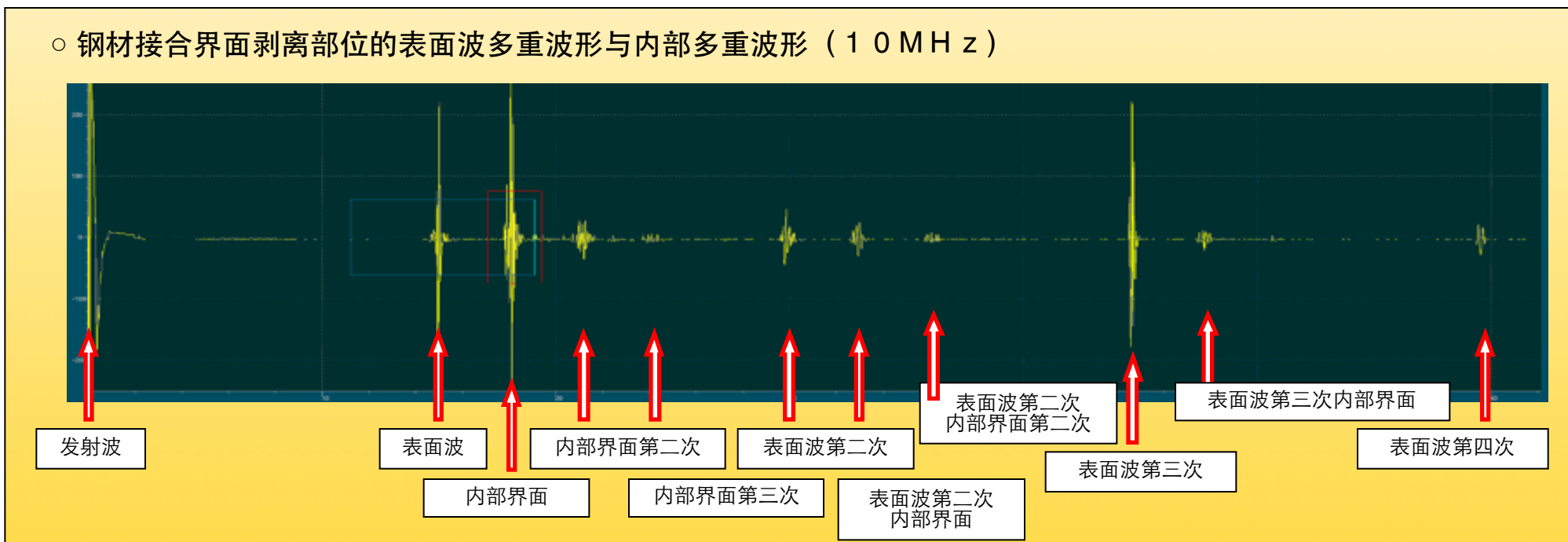
① 有关表面波多重波形

当超声波探头接近样品时，我们可以确认到在表面波后面有一些快速移动的波形。这些是表面波多重波形。在样品表面反射，再被探头表面反射，再被样品表面反射的波形。若表面波是 $t_1 [\mu s]$ ，则表面波多重波形在 $2t_1$ 、 $3t_1$ 、 \dots $[\mu s]$ 位置发生。

② 有关内部多重波形

若在样品内部检测出空气层（缺陷）的话，在其后面也会产生等距离的波形。这是内部多重波形。若内部界面波形是 $t_1 + t_2 [\mu s]$ ，则内部多重波形在 $t_1 + 2t_2$ $[\mu s]$ 位置发生。

○ 钢材接合界面剥离部位的表面波多重波形与内部多重波形（10MHz）

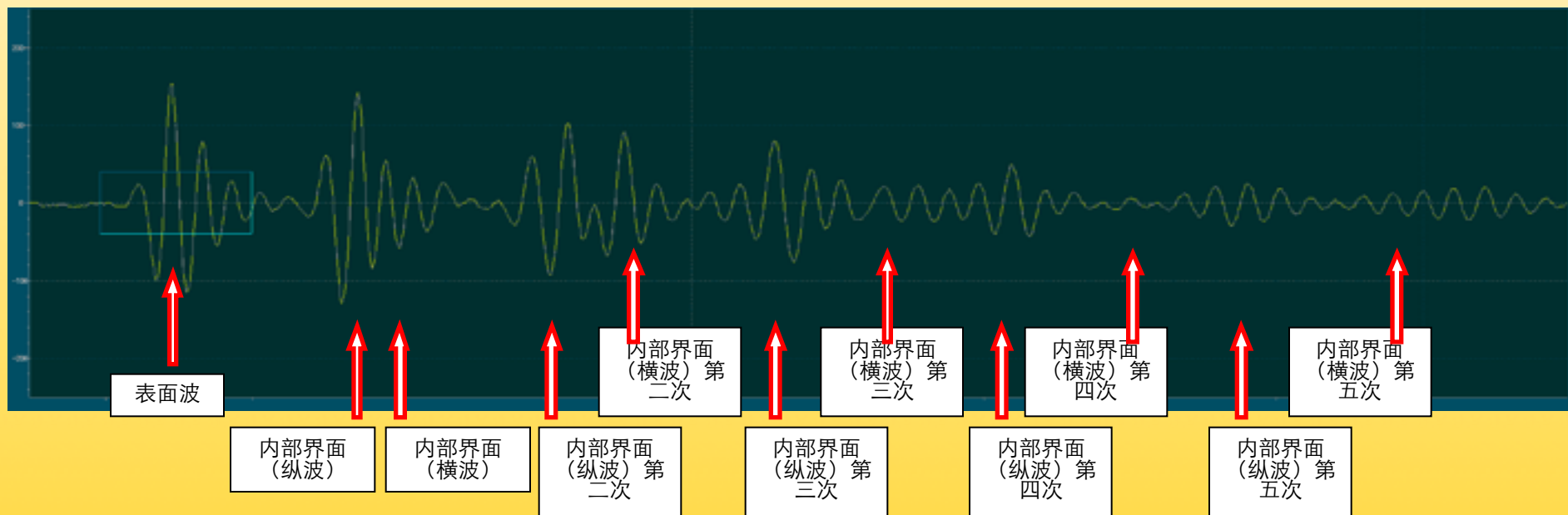


3. 内部多重纵波・多重横波

○ 有关Si内部发生的纵波与横波

像Si这类声速较快的材料，当超声波射入时纵波与横波均会发生。横波比纵波声速慢，在波形图上显示为有两个特定界面的波形。同样当产生内部多重波形时，纵波与横波也会产生其多重波形。

○ bonding Si界面空洞处的内部纵波多重与横波多重波形 (50MHz)



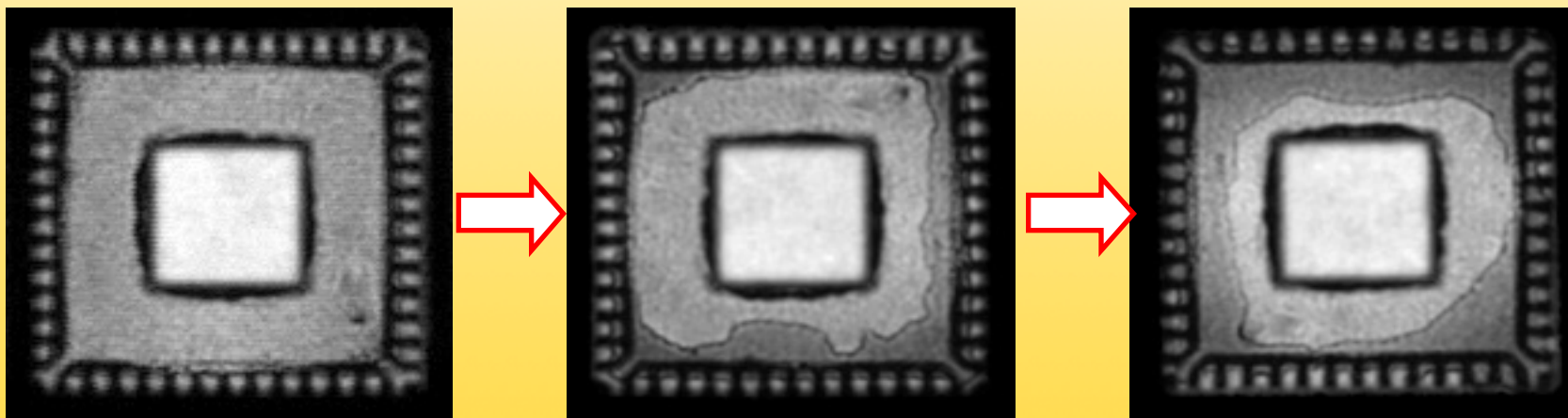
4. 裂纹浸水时的图像变化

○ 有关裂纹浸水时的影响

若样品的裂纹（空气层）浸水时，SAT的图像将如下图变化。浸水部分的反射强度变低。

这里产生的问题是，由相位差引起的对于剥离判定的影响。根据剥离部位深度方向的差距，（+）（-）相位会相互抵消。因此，即使通过极性强调，有时也会发生无法顺利检测出缺陷的情况。

○ Die Pad剥离部位的浸水进展（50MHz）



5. 未聚焦时 (Defocus) 对于极性判断的影响

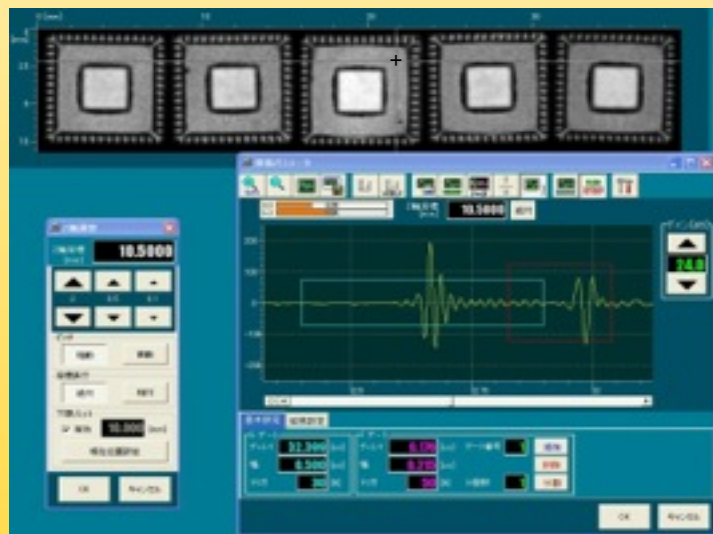
○ 非焦点位置时极性判断的无效性

当使用有极性的探头时，根据波形反转而得出相位差，继而判定剥离。正常情况下这种方法时有效的。但若Z轴没有对焦的话，就可能无法正常确认波形的相位。下图是DiePad全面剥离的图像。在焦点位置时能够确认波形的相位反转，但未聚焦时则无法确认。

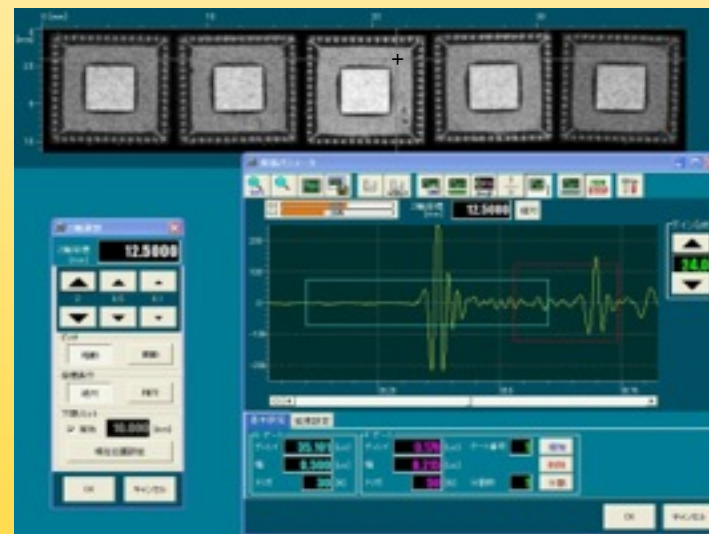
若样品有全面剥离的情况，虽然会经常使用根据相位差来判定剥离，但最好还是确认一下是否已经聚焦。

○ 焦点位置于非焦点位置的极性变化 (DiePad全面剥离部位的波形)

焦点位置



离焦点太远



HITACHI

Inspire the Next