



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102099675 A

(43) 申请公布日 2011.06.15

(21) 申请号 200980128195.5

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

(22) 申请日 2009.05.19

11256

代理人 王茂华 于英慧

(30) 优先权数据

2008-187578 2008.07.18 JP

(51) Int. Cl.

G01N 29/44 (2006.01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

A61B 8/00 (2006.01)

2011.01.18

G01B 17/06 (2006.01)

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2009/059212 2009.05.19

(87) PCT申请的公布数据

W02010/007830 JA 2010.01.21

(71) 申请人 国立大学法人东北大学

地址 日本宫城县

(72) 发明人 山中一司 小原良和 新宅洋平

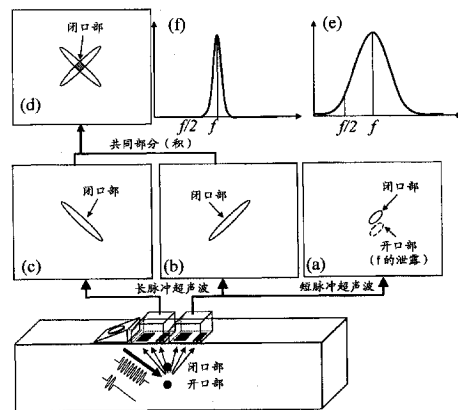
权利要求书 4 页 说明书 11 页 附图 13 页

(54) 发明名称

结构缺陷的成像方法、结构缺陷的成像装置、气泡或损害部位的成像方法以及气泡或损害部位的成像装置

(57) 摘要

本发明提供具有高的频率分辨率和空间分辨率的、能够提高闭合裂纹与张口裂纹的识别性的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置。另外,本发明还提供具有高频率分辨率和高空间分辨率的、能够提高组织与气泡或损害部位的识别性的气泡或损害部位的成像方法以及气泡或损害部位的成像装置。对于超声波发射器和阵列接收器针对缺陷而不同的 2 个配置,由阵列接收器接收超声波发射器向结构物照射的脉冲超声波在缺陷上产生的散射波来得到接收信号。对该接收信号施加使特定频率成分通过的带通滤波器,并在使其偏移根据阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到处理信号。根据该处理信号分别得到缺陷的图像。抽取所获得的 2 个图像的共同部分。



1. 一种结构缺陷的成像方法,用于检测结构物中包含的象裂纹那样的缺陷,其特征在于,

具有:照射由预定循环数的正弦波构成的脉冲超声波的超声波发射器;和具有多个接收传感元件的阵列接收器,

上述成像方法具有:

第一接收步骤,在针对上述缺陷而在预定位置配置有上述超声波发射器和上述阵列接收器的第一配置中,用上述阵列接收器接收上述超声波发射器向上述结构物照射的上述脉冲超声波在上述缺陷上产生的散射波来得到第一接收信号;

第一成像步骤,对上述第一接收信号施加使特定频率成分通过的带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到第一处理信号,且根据所获得的上述第一处理信号得到上述缺陷的第一图像;

第二接收步骤,在上述超声波发射器和上述阵列接收器中至少一方的位置针对上述缺陷而不同的第二配置中,用上述阵列接收器接收上述超声波发射器向上述结构物照射的上述脉冲超声波在上述缺陷上产生的散射波来得到第二接收信号;

第二成像步骤,对上述第二接收信号施加上述带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到第二处理信号,且根据所获得的上述第二处理信号得到上述缺陷的第二图像;以及

抽取步骤,抽取上述第一图像和上述第二图像的共同部分。

2. 一种结构缺陷的成像方法,用于检测结构物中包含的象裂纹那样的缺陷,其特征在于,

具有:照射由任意循环数的正弦波构成的脉冲超声波的超声波发射器;和具有多个接收传感元件的阵列接收器,

上述成像方法具有:

第一接收步骤,从上述超声波发射器向上述结构物照射由预定循环数的正弦波构成的第一脉冲超声波,用上述阵列接收器接收上述第一脉冲超声波在上述缺陷上产生的散射波来得到第一接收信号;

第一成像步骤,对上述第一接收信号施加使上述正弦波的中心频率成分、其整数倍的频率成分、或者其整数分之一的频率成分通过的带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到第一处理信号,且根据所获得的上述第一处理信号得到上述缺陷的第一图像;

第二接收步骤,从上述超声波发射器向上述结构物照射由与上述预定循环数不同的循环数的正弦波构成的第二脉冲超声波,用上述阵列接收器接收上述第二脉冲超声波在上述缺陷上产生的散射波来得到第二接收信号;

第二成像步骤,对上述第二接收信号施加上述带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到第二处理信号,且根据所获得的上述第二处理信号得到上述缺陷的第二图像;以及

抽取步骤,抽取上述第一图像和上述第二图像的共同部分。

3. 根据权利要求1所述的结构缺陷的成像方法,其特征在于,上述脉冲超声波中包含的正弦波的循环数为4以上。

4. 根据权利要求 2 所述的结构缺陷的成像方法,其特征在於,上述第一脉冲超声波中包含的正弦波的循环数为 4 以上,上述第二脉冲超声波中包含的正弦波的循环数为 3 以下。

5. 根据权利要求 1 或 3 所述的结构缺陷的成像方法,其特征在於,通过切换在上述阵列接收器内使用的接收传感元件来构成上述第一配置和上述第二配置。

6. 根据权利要求 1 至 5 中任一项所述的结构缺陷的成像方法,其特征在於,使上述带通滤波器的带宽与施加滤波器的上述第一接收信号或上述第二接收信号所对应的脉冲超声波中包含的正弦波的循环数成反比。

7. 根据权利要求 1 至 6 中任一项所述的结构缺陷的成像方法,其特征在於,确定上述阵列接收器的上述接收传感元件的数量,以使上述第一图像和上述第二图像成为在连结上述阵列接收器的中心与上述缺陷的方向上依赖与各图像对应的脉冲超声波中包含的正弦波的循环数而伸展的形状。

8. 根据权利要求 1 至 7 中任一项所述的结构缺陷的成像方法,其特征在於,上述带通滤波器仅使具有施加滤波器的上述第一接收信号或上述第二接收信号所对应的脉冲超声波中包含的正弦波频率的整数倍频率的高次谐波通过,或者仅使具有施加滤波器的上述第一接收信号或上述第二接收信号所对应的脉冲超声波中包含的正弦波频率的整数分之一的频率的分谐波的频率成分通过。

9. 根据权利要求 1 至 8 中任一项所述的结构缺陷的成像方法,其特征在於,上述抽取步骤通过进行被数字化的上述第一图像和上述第二图像的乘积运算或者积的平方根运算,或者通过仅对被二值化的上述第一图像和上述第二图像的成为一个部分的共同部分施加原来的上述第一图像或上述第二图像的强度来抽取上述第一图像和上述第二图像的共同部分。

10. 一种结构缺陷的成像装置,用于检测结构物中包含的象裂纹那样的缺陷,其特征在於,包括:

超声波发射器,用于照射由任意循环数的正弦波构成的脉冲超声波;

阵列接收器,具有多个接收传感元件,上述多个接收传感元件被设置成能够接收上述超声波发射器向上述结构物照射的上述脉冲超声波在上述缺陷上产生的散射波;

成像机构,对由上述阵列接收器的各接收传感元件接收到的接收信号施加使特定的频率成分通过的带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到处理信号,且根据所获得的上述处理信号得到上述缺陷的图像;以及

抽取机构,抽取通过上述成像机构得到的彼此不同的 2 个图像的共同部分。

11. 根据权利要求 10 所述的结构缺陷的成像装置,其特征在於,

上述超声波发射器被构成为使其照射正弦波的循环数为 4 以上的脉冲超声波,

上述成像机构被构成为:在上述超声波发射器和上述阵列接收器中至少一方的位置针对上述缺陷而不同的 2 种情况下,得到彼此不同的 2 个图像。

12. 根据权利要求 10 所述的结构缺陷的成像装置,其特征在於,上述成像机构被构成为:在上述超声波发射器照射的脉冲超声波中包含的正弦波的循环数为 4 以上的情况和 3 以下的情况下,得到彼此不同的 2 个图像。

13. 根据权利要求 10 或 11 所述的结构缺陷的成像装置,其特征在於,上述阵列接收器

能够切换要使用的接收传感元件。

14. 根据权利要求 10 至 13 中任一项所述的结构缺陷的成像装置,其特征在于,上述成像机构的上述带通滤波器的带宽与施加滤波器的上述接收信号所对应的脉冲超声波中包含的正弦波的循环数成反比。

15. 根据权利要求 10 至 14 中任一项所述的结构缺陷的成像装置,其特征在于,确定上述阵列接收器的上述接收传感元件的数量,以使上述 2 个图像成为在连结上述阵列接收器的中心与上述缺陷的方向上依赖与各图像对应的脉冲超声波中包含的正弦波的循环数而伸展的形状。

16. 根据权利要求 10 至 15 中任一项所述的结构缺陷的成像装置,其特征在于,上述带通滤波器仅使具有施加滤波器的上述接收信号所对应的脉冲超声波中包含的正弦波频率的整数倍频率的高次谐波通过,或者仅使具有施加滤波器的上述接收信号所对应的脉冲超声波中包含的正弦波频率的整数分之一的频率的分谐波的频率成分通过。

17. 根据权利要求 10 至 16 中任一项所述的结构缺陷的成像装置,其特征在于,上述抽取机构被构成为:通过进行被数字化的上述 2 个图像的乘积运算或者积的平方根运算,或者通过仅对被二值化的上述 2 个图像成为一个部分的部分施加原来的图像的强度来抽取各图像的共同部分。

18. 一种气泡或损害部位的成像方法,用于检测组织中包含的气泡或损害部位,其特征在于,

具有:照射由任意循环数的正弦波构成的脉冲超声波的超声波发射器;和具有多个接收传感元件的阵列接收器,

上述成像方法具有:

第一接收步骤,从上述超声波发射器向上述组织照射由预定循环数的正弦波构成的第一脉冲超声波,用上述阵列接收器接收上述第一脉冲超声波在上述气泡或损害部位产生的散射波来得到第一接收信号;

第一成像步骤,对上述第一接收信号施加使上述正弦波的中心频率成分、其整数倍的频率成分或者其整数分之一的频率成分通过的带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到第一处理信号,根据所获得的上述第一处理信号得到上述气泡或损害部位的第一图像;

第二接收步骤,从上述超声波发射器向上述组织照射由与上述预定循环数不同的循环数的正弦波构成的第二脉冲超声波,用上述阵列接收器接收上述第二脉冲超声波在上述气泡或损害部位产生的散射波来得到第二接收信号;

第二成像步骤,对上述第二接收信号施加上述带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到第二处理信号,且根据所获得的上述第二处理信号得到上述气泡或损害部位的第二图像;以及

抽取步骤,抽取上述第一图像和上述第二图像的共同部分。

19. 一种气泡或损害部位的成像装置,用于检测组织中包含的气泡或损害部位,其特征在于,包括:

超声波发射器,照射由任意循环数的正弦波构成的脉冲超声波;

阵列接收器,具有多个接收传感元件,上述多个接收传感元件被设置成能够接收上述

超声波发射器向上述组织照射的上述脉冲超声波在上述气泡或损害部位产生的散射波；

成像机构,对由上述阵列接收器的各接收传感元件接收到的接收信号施加使特定频率成分通过的带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到处理信号,且根据所获得的上述处理信号得到上述缺陷的图像;以及

抽取机构,抽取通过上述成像机构得到的彼此不同的 2 个图像的共同部分。

## 结构缺陷的成像方法、结构缺陷的成像装置、气泡或损害部位的成像方法以及气泡或损害部位的成像装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及检测象结构物中包含的象裂纹那样的缺陷的结构缺陷的成像方法、结构缺陷的成像装置、检测组织中包含的气泡或损害部位的气泡或损害部位的成像方法以及气泡或损害部位的成像装置。

### 技术背景

[0002] 为了确保核反应堆、飞机、铁路等重要设备的安全性和所制造、所接合的材料的致密性,进行着通过超声波的反射或散射来检测成为损坏的原因的裂纹和接合不完全的接合面,正确评价其大小且若有危险性则进行更换这样的安全管理。但是,在由于各种原因使裂纹面闭合的裂纹闭合应力大的疲劳裂纹、由应力腐蚀裂缝引起的裂纹面上形成有氧化膜的闭合裂纹等中,超声波的反射、散射小,裂纹的长度或深度的测量误差大成为问题。

[0003] 通过在由接收阵列元件所得到的散射波上加上与元件的位置对应而施加不同延迟所得的信号来得到裂纹的图像的工序被称为相控阵法,这在非破坏性检查的领域是众所周知(例如,参照非专利文献1)。但是,即使通过基于相控阵法得到的图像也难以正确地测量闭合裂纹。

[0004] 在这样的背景下,提出了照射振幅大的超声波,并使用由闭合裂纹产生的分谐波的闭合裂纹的定量评价方法和闭合裂纹的定量评价装置(例如参照专利文献1)。在该评价方法和装置中,能够通过分谐波应用相控阵法来将闭合裂纹成像。此方法被命名为SPACE(subharmonic phased array for crack evaluation)(例如参照非专利文献2)。在此,“subharmonic”的意思是分谐波。

[0005] 图14是SPACE的原理图。在SPACE中,作为关键技术应用使用发送侧探头(发送器)、用于进行成像的阵列接收器以及带通滤波器(数字滤波器),其中,所述发送侧探头使用了能够产生大振幅超声波的、具有优越的耐压性的 $\text{LiNbO}_3$ 单晶振子。通过从发送侧探头射入大振幅超声波(频率 $f$ ),除在裂纹开口部产生基波(频率 $f$ )的线性散射以外,在闭口部通过使其闭合裂纹面在大振幅超声波的拉伸应力下进行开闭振动来产生分谐波(频率 $f/2$ )。通过由阵列接收器接收分谐波,并由数字滤波器分离各成分,能够观察基波图像和分谐波图像。在裂纹前端闭合的情况下,能够根据分谐波图像来正确地测量在基波图像中过低评价的裂纹深度。

[0006] 专利文献1:日本特开2005-315636号公报

[0007] 非专利文献1:T.L.Szabo,“Diagnostic Ultrasound Imaging:Inside Out”,Academic Pr,2004年9月7日,p.171

[0008] 非专利文献2:Yoshikazu Ohara,Setsu Yamamoto,TsuyoshiMihara,and Kazushi Yamanaka,“Ultrasonic Evaluation of ClosedCracks Using Subharmonic Phased Array”,Japanese Journal of AppliedPhysics,2008,47,p.3908-3915

## 发明内容

[0009] 在图 14 所示的 SPACE 中, 在需要高距离分辨率时, 将循环数为 3 以下的突发波作为入射波。此时, 由于频率分辨率变低, 因此在非线性散射源 (裂纹闭口部) 与线性散射源 (底面、裂纹开口部) 接近的情况下、或与非线性散射源相比来自线性散射源的响应强的情况下, 导致在分谐波图像中不仅出现裂纹闭口部, 还出现用滤波器未除尽的基波成分。其结果, 具有难以识别闭合裂纹和张口裂纹, 识别性降低这样的课题。另外, 所谓突发波 (burst wave) 是指由多个循环数的正弦波构成的波。由循环数为 1 的正弦波构成的波是脉冲波 (pulse wave)。

[0010] 本发明的目的在于提供具有高的频率分辨率和空间分辨率的、能够提高闭合裂纹与张口裂纹的识别性的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置。另外, 根据相同原理, 本发明的目的还在于提供具有高的频率分辨率和空间分辨率的、能够提高组织与气泡或损害部位的识别性的气泡或损害部位的成像方法以及气泡或损害部位的成像装置。

[0011] 为了达到上述目的, 本发明的结构缺陷的成像方法检测结构物中包含的象裂纹那样的缺陷, 其特征在于, 包括: 照射由预定循环数的正弦波构成的脉冲超声波 (burst ultrasonic wave) 的超声波发射器; 和具有多个接收传感元件的阵列接收器, 具有以下步骤: 第一接收步骤, 在针对上述缺陷而在预定位置配置有上述超声波发射器和上述阵列接收器的第一配置中, 用上述阵列接收器接收上述超声波发射器向上述结构物照射的上述脉冲超声波在上述缺陷上产生的散射波来得到第一接收信号; 第一成像步骤, 对上述第一接收信号施加使特定频率成分通过的带通滤波器, 并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后, 对其进行相加而得到第一处理信号, 根据所获得的上述第一处理信号得到上述缺陷的第一图像; 第二接收步骤, 在上述超声波发射器和上述阵列接收器中至少一方的位置针对上述缺陷而不同的第二配置中, 用上述阵列接收器接收上述超声波发射器向上述结构物照射的上述脉冲超声波在上述缺陷上产生的散射波来得到第二接收信号; 第二成像步骤, 对上述第二接收信号施加上述带通滤波器, 并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后, 对其进行相加而得到第二处理信号, 根据所获得的上述第二处理信号得到上述缺陷的第二图像; 以及抽取步骤, 抽取上述第一图像和上述第二图像的共同部分。

[0012] 根据图 1 对本发明的结构缺陷的成像方法的原理进行说明。

[0013] 图 1(a) 是使用 2 个阵列接收器中右侧的阵列接收器来检测出从左侧的超声波发射器向裂纹的闭口部和开口部射入时间分辨率高的短脉冲超声波 (循环数少的脉冲超声波) 时产生的散射波时的、基于从散射波分离出的分谐波的图像, 与图 14 所示的 SPACE 对应。另外, 对检测出的散射波使用带通滤波器来使分谐波分离, 进而使用相控阵法得到裂纹的图像。在裂纹的闭口部和开口部分离的情况下, 或者在开口部的信号强度小的情况下, 如图 1(a) 的实线所示, 不能看到开口部, 仅选择性地使闭口部成像。但是, 在裂纹的闭口部与开口部接近的情况下, 或者在开口部的信号强度大的情况下, 如图 1(a) 的虚线所示, 有时不仅能看到闭口部, 也能看到开口部。这是因为频率分辨率低, 具体而言如图 1(e) 所示, 是因为从开口部产生的中心频率  $f$  的基波的信号具有宽的频谱宽度, 泄露至分谐波的频率  $f/2$ 。在原本仅示出闭口裂纹的分谐波的图像中也看到开口部的情况是一种重影, 导致闭口裂纹和开口裂纹的选择性降低。

[0014] 与之相对,图 1(b) ~图 1(d) 表示本发明的结构缺陷的成像方法。图 1(b) 和图 1(c) 是分别使用右侧和左侧的阵列接收器检测出从超声波发射器向裂纹的闭口部和开口部射入长脉冲超声波(循环数多的脉冲超声波)时产生的散射波时的、基于从散射波分离出的分谐波的图像。这种情况下也对检测出的散射波通过带通滤波器分离分谐波,进而使用相控阵法得到裂纹的图像。如图 1(b) 和图 1(c) 所示,即使在裂纹的闭口部和开口部接近的情况下,或开口部的信号强度大的情况下也仅能看到闭口部,不能看到开口部,提高了选择性。这是因为频率分辨率高,具体而言如图 1(f) 所示,是因为从开口部产生的中心频率  $f$  的基波信号具有窄的频谱宽度,在分谐波的频率  $f/2$  处不泄露。

[0015] 但是,如图 1(b) 和图 1(c) 所示,裂纹的图像向连接裂纹和阵列接收器的中心的方向伸展。这样,图像在特定的方向上伸展的现象是由本发明人等发现的,这导致空间分辨率降低。因此,如图 1(d) 所示,能够通过抽取图 1(b) 所示的第一图像和如图 1(c) 所示的第二图像的共同部分来得到使空间分辨率提高的真的闭口部的图像。并且,看不到在图 1(a) 中看到的作为重影的开口部,也提高了选择性。

[0016] 这样,本发明的结构缺陷的成像方法具有高频率分辨率和高空间分辨率,能够提高闭合裂纹与张口裂纹的识别性。另外,能够高精度地检测闭合裂纹等缺陷。在本发明的结构缺陷的成像方法中,第一配置和第二配置可以仅在于超声波发射器的位置不同,也可以仅在于阵列接收器的位置不同,还可以在于超声波发射器和阵列接收器两者的位置不同。任一种情况下,由于由第一配置所得到的缺陷的图像伸展方向和由第二配置所得到的缺陷的图像伸展方向不同,因此也能够通过抽取 2 个图像的共同部分,得到使空间分辨率提高的、闭合裂纹等缺陷的图像。

[0017] 本发明的结构缺陷的成像装置检测结构物中包含的象裂纹那样的缺陷,其特征不在于,包括:超声波发射器,其照射由任意循环数的正弦波构成的脉冲超声波;阵列接收器,其具有被设置成能够接收上述超声波发射器向上述结构物照射的上述脉冲超声波在上述缺陷上产生的散射波的多个接收传感元件;成像机构,向由上述阵列接收器的各接收传感元件接收到的接收信号施加使特定频率成分通过的带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到处理信号,根据所获得的上述处理信号得到上述缺陷的图像;以及抽取机构,抽取由上述成像机构所得到的彼此不同的 2 个图像的共同部分。

[0018] 本发明的结构缺陷的成像装置能够易于实施本发明的结构缺陷的成像方法。因此,本发明的结构缺陷的成像装置具有高的频率分辨率和空间分辨率,能够提供闭合裂纹与张口裂纹的识别性。并且,能够高精度地检测闭合裂纹等缺陷。

[0019] 本发明的结构缺陷的成像方法优选包含在上述脉冲超声波中的正弦波的循环数为 4 以上。另外,在本发明的结构缺陷的成像装置中,上述超声波发射器优选构成为照射正弦波的循环数为 4 以上的脉冲超声波,上述成像机构优选构成为在相对于上述缺陷上述超声波发射器和上述阵列接收器中至少一方的位置不同的 2 种情况下,能够得到彼此不同的 2 个图像。这种情况下,尤其能够提高频率分辨率,具有优越的闭合裂纹与张口裂纹的识别性。并且,尤其能够高精度地检测闭合裂纹等缺陷。

[0020] 本发明的结构缺陷的成像方法可以通过切换在上述阵列接收器内使用的接收传感元件而构成上述第一配置和上述第二配置。另外,在本发明的结构缺陷的成像装置中上

述阵列接收器也能够切换使用的接收传感元件。这种情况下,在超声波发射器和阵列接收器均不移动的情况下能够得到 2 个不同的图像,能够易于得到使空间分辨率提高的、闭合裂纹等缺陷的图像。

[0021] 本发明的结构缺陷的成像方法检测结构物中包含的象裂纹那样的缺陷,包括:照射由任意循环数的正弦波构成的脉冲超声波的超声波发射器;和具有多个接收传感元件的阵列接收器,也可以具有以下步骤:第一接收步骤,从上述超声波发射器向上述结构物照射由预定循环数的正弦波构成的第一脉冲超声波,用上述阵列接收器接收上述第一脉冲超声波在上述缺陷上产生的散射波来得到第一接收信号;第一成像步骤,对上述第一接收信号施加使上述正弦波的中心频率成分、其整数倍的频率成分、或者其整数分之一的频率成分通过的带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到第一处理信号,根据所获得的上述第一处理信号得到上述缺陷的第一图像;第二接收步骤,从上述超声波发射器向上述结构物照射由与上述预定循环数不同的循环数的正弦波构成的第二脉冲超声波,用上述阵列接收器接收上述第二脉冲超声波在上述缺陷上产生的散射波来得到第二接收信号;第二成像步骤,对上述第二接收信号施加上述带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到第二处理信号,根据所获得的上述第二处理信号得到上述缺陷的第二图像;以及抽取步骤,抽取上述第一图像和上述第二图像的共同部分。

[0022] 根据图 2 说明照射该正弦波的循环数不同的 2 个脉冲超声波时的、本发明的结构缺陷的成像方法的原理。

[0023] 图 2(a) 是使用阵列接收器检测出从超声波发射器向裂纹的闭口部和开口部射入时间分辨率高的短脉冲超声波(循环数少的脉冲超声波)时产生的散射波时的、基于从散射波分离出的分谐波的图像。另外,对检测出的散射波施加带通滤波器分离分谐波,进而使用相控阵法得到裂纹的图像。在图 2(a) 的图像中,不仅能看到闭口部也能看到开口部。图 2(b) 是基于由长脉冲超声波(循环数多的脉冲超声波)产生的分谐波的图像,仅能看到闭口部,不能看到开口部。但是,图像向阵列接收器的中心方向伸展。图 2(c) 是抽取图 2(a) 所示的第一图像和图 2(b) 所示的第二图像的共同部分的图像,表示除去开口部,同时得到使空间分辨率提高的真的闭口部的图像。

[0024] 这样,在照射正弦波的循环数不同的 2 个脉冲超声波时的、本发明的结构缺陷的成像方法具有高的频率分辨率和空间分辨率,能够提高闭合裂纹与张口裂纹的识别性。并且,能够高精度地检测闭合裂纹等缺陷。该本发明的结构缺陷的成像方法能够由本发明的结构缺陷的成像装置容易地实施。另外,该图 2 所示的方法由于抽取长度不同但在同一方向上伸展的 2 个图像的共同部分,因此与抽取在不同方向上延伸的图像的共同部分的图 1 的方法相比,有时能够使图像变大,使空间分辨率降低。

[0025] 在照射正弦波的循环数不同的 2 个脉冲超声波时的、本发明的结构缺陷的成像方法优选包含在上述第一脉冲超声波中的正弦波的循环数为 4 以上,包含在上述第二脉冲超声波中的正弦波的循环数为 3 以下。另外,在本发明的结构缺陷的成像装置中,对包含在上述超声波发射器照射的脉冲超声波中的正弦波的循环数为 4 以上的情况和 3 以下的情况,上述成像机构优选构成为得到彼此不同的 2 个图像。这种情况下,尤其能够同时提高频率分辨率和空间分辨率,具有优越的闭合裂纹与张口裂纹的识别性。并且,尤其能够高精度地

检测闭合裂纹等缺陷。

[0026] 本发明的结构缺陷的成像方法也可以使上述带通滤波器的带宽与包含在与施加滤波器的上述第一接收信号和上述第二接收信号对应的脉冲超声波中的正弦波的循环数成反比。另外,在本发明的结构缺陷的成像装置中,也可以使上述成像机构的上述带通滤波器的带宽与包含在与施加滤波器的上述接收信号对应的脉冲超声波中的正弦波的循环数成反比。这种情况下,尤其能够提高频率分辨率,具有优越的闭合裂纹与张口裂纹的识别性。并且,尤其能够高精度地检测闭合裂纹等缺陷。

[0027] 本发明的结构缺陷的成像方法也可以确定上述阵列接收器的上述接收传感元件的数量,以使上述第一图像和上述第二图像成为在上述阵列接收器的中心与上述缺陷连接的方向上依赖于包含在与各图像对应的脉冲超声波中的正弦波的循环数而伸展的形状。另外,在本发明的结构缺陷的成像装置中,也可以确定上述阵列接收器的上述接收传感元件的数量,以使上述 2 个图像成为在上述阵列接收器的中心与上述缺陷连接的方向上依赖于包含在与各图像对应的脉冲超声波中的正弦波的循环数而伸展的形状。这种情况下,尤其能够提高空间分辨率。并且,尤其能够高精度地检测闭合裂纹等缺陷。

[0028] 在本发明的结构缺陷的成像方法中,上述带通滤波器也可以使具有包含在与施加滤波器的上述第一接收信号或上述第二接收信号对应的脉冲超声波中的正弦波的频率的整数倍的频率的高次谐波通过,或者仅使具有包含在与施加滤波器的上述第一接收信号或上述第二接收信号对应的脉冲超声波中的正弦波的频率的整数分之一的频率的分谐波的频率成分通过。另外,在本发明的结构缺陷的成像装置中,上述带通滤波器也可以使具有包含在与施加滤波器的上述接收信号对应的脉冲超声波中的正弦波的频率的整数倍的频率的高次谐波通过,或者仅使具有包含在与施加滤波器的上述接收信号对应的脉冲超声波中的正弦波的频率的整数分之一的频率的分谐波的频率成分通过。这样的情况下,尤其能够提高频率分辨率。并且,尤其能够仅使用高次谐波或分谐波来高精度地检测闭合裂纹等缺陷。

[0029] 在本发明的结构缺陷的成像方法中,上述抽取步骤可以通过进行被数字化的上述第一图像和上述第二图像的乘积运算或者进行乘积的平方根运算,或者通过仅对被二值化的上述第一图像和上述第二图像的成为一个部分的部分共同部分施加原来的上述第一图像或上述第二图像的强度来抽取上述第一图像和上述第二图像的共同部分。另外,在本发明的结构缺陷的成像装置中,上述抽取机构可以通过进行被数字化的上述 2 个图像的乘积运算或者进行乘积的平方根运算,或者通过仅对被二值化的上述 2 个图像的成为一个部分的部分共同部分施加原来的图像的强度来抽取各图像的共同部分。这些情况下,能够使用计算机容易地抽取各图像的共同部分,能够高精度地检测闭合裂纹等缺陷。

[0030] 根据本发明的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置,在核反应堆、飞机、铁路、材料的制造工艺、接合工艺等非破坏评价的现场能够将闭合裂纹成像。另外,由此,能够定量地示出修补、交换的必要性,能够有利于确保这些机器、结构物的安全和安心。另外,本发明的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置也能够通过使用时间分辨率高的短脉冲超声波(循环数少的脉冲超声波)来高精度地检测张口裂纹。

[0031] 本发明的气泡或损害部位的成像方法,用于检测包含在组织中的气泡或损害部位,其特征在于,包括:照射由任意循环数的正弦波构成的脉冲超声波的超声波发射器;和

具有多个接收传感元件的阵列接收器,具有以下步骤:第一接收步骤,从上述超声波发射器向上述组织照射由预定循环数的正弦波构成的第一脉冲超声波,用上述阵列接收器接收上述第一脉冲超声波在上述气泡或损害部位上产生的散射波来得到第一接收信号;第一成像步骤,对上述第一接收信号施加使上述正弦波的中心频率成分、其整数倍的频率成分或者其整数分之一的频率成分通过的带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到第一处理信号,根据所获得的上述第一处理信号得到上述气泡或损害部位的第一图像;第二接收步骤,从上述超声波发射器向上述组织照射由与上述预定循环数不同的循环数的正弦波构成的第二脉冲超声波,用上述阵列接收器接收上述第二脉冲超声波在上述气泡或损害部位上产生的散射波,从而得到第二接收信号;第二成像步骤,对上述第二接收信号施加上述带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到第二处理信号,根据所获得的上述第二处理信号得到上述气泡或损害部位的第二图像;以及抽取步骤,抽取上述第一图像和上述第二图像的共同部分。

[0032] 本发明的气泡或损害部位的成像装置,用于检测包含在组织中的气泡或损害部位,其特征在于,包括:超声波发射器,照射由任意循环数的正弦波构成的脉冲超声波;阵列接收器,具有多个接收传感元件,所述接收传感元件被设置成能够接收上述超声波发射器向上述组织照射的上述脉冲超声波在上述气泡或损害部位上产生的散射波;成像机构,对由上述阵列接收器的各接收传感元件接收到的接收信号施加使特定频率成分通过的带通滤波器,并在使其偏移根据上述阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到处理信号,根据所获得的上述处理信号得到上述缺陷的图像;以及抽取机构,抽取由上述成像机构所获得的彼此不同的2个图像的共同部分。

[0033] 显然,本发明的气泡或损害部位的成像方法以及气泡或损害部位的成像装置通过将本发明的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置的记述中的“结构物”替换成“组织”,将“缺陷”替换成“气泡或损害部位”,能够不仅应用于结构物的缺陷,也同样适用于使用了高次谐波、分谐波的生物体组织的造影剂气泡或损害部位的选择性的提高。因此,本发明的气泡或损害部位的成像方法以及气泡或损害部位的成像装置具有高的频率分辨率和空间分辨率,能够提高组织与气泡或损害部位的识别性。

[0034] 根据本发明,能够提供具有高的频率分辨率和空间分辨率的、能够使闭合裂纹与张口裂纹的识别性提高的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置。另外,根据相同的原理能够提供具有高的频率分辨率和空间分辨率的、能够提高组织与气泡或损害部位的识别性的气泡或损害部位的成像方法以及气泡或损害部位的成像装置。

## 附图说明

[0035] 图1是表示本发明权利要求1的结构缺陷的成像方法的原理图。

[0036] 图2是表示本发明权利要求2的结构缺陷的成像方法的原理图。

[0037] 图3是表示本发明实施方式的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置的纵剖视图以及所得到的图像。

[0038] 图4是表示本发明实施方式的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置的、生成由阵列接收器接收的接收信号的模拟方法的流程图和说明图。

[0039] 图 5 是表示用图 4 所示的模拟而假想出的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置的结构的纵剖视图,和由此使用循环数为 2 的脉冲超声波而得到的图像。

[0040] 图 6 是图 5 所示的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置的、使用了循环数为 2 的脉冲超声波时的、与闭合裂纹对应的相位匹配波形 W1(粗线部分)及其功率谱 F1、与张口裂纹对应的相位匹配波形 W2(粗线部分)及其功率谱 F2。

[0041] 图 7 是基于图 5 所示的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置的、使用了循环数为 2 的脉冲超声波时的、基于由带通滤波器所抽取的线性散射波的分谐波图像和基于由带通滤波器所抽取的分谐波的分谐波图像。

[0042] 图 8 是图 5 所示的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的、使用循环数为 6 的长脉冲超声波而得到的图像。

[0043] 图 9 是图 8 所示的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置的、使用了循环数为 6 的长脉冲超声波时的、与闭合裂纹对应的相位匹配波形 W3(粗线部分)及其功率谱 F3、与张口裂纹对应的相位匹配波形 W4(粗线部分)及其功率谱 F4。

[0044] 图 10 是基于图 8 所示的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置的、使用了循环数为 6 的长脉冲超声波时的、基于由带通滤波器所抽取的线性散射波的分谐波图像和基于由带通滤波器所抽取的分谐波的分谐波图像。

[0045] 图 11 是表示本发明实施方式的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置的、图 5 的相反配置的纵剖视图、使用循环数为 6 的长脉冲超声波而得到的基波图像以及分谐波图像。

[0046] 图 12 是分别从图 10 和图 11 所示的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置的基波图像和分谐波图像抽取共同部分的基波图像和分谐波图像。

[0047] 图 13 是分别从图 7 和图 10 所示的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置的基波图像和分谐波图像抽取共同部分的基波图像和分谐波图像。

[0048] 图 14 是表示以往的、对分谐波使用了相控阵法的 SPACE 的原理图。

[0049] 标号说明

[0050] 1 超声波发射器

[0051] 2 阵列接收器

[0052] 3 信号处理器

[0053] A 第一配置

[0054] B 第二配置

[0055] C1 张口裂纹

[0056] C2 闭合裂纹

[0057] S 试样

[0058] S1 闭合裂纹

[0059] S2 张口裂纹

[0060] S3 底面

## 具体实施方式

[0061] 以下根据附图说明本发明的实施方式。

[0062] 图 3 至图 13 表示本发明实施方式的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置。

[0063] 如图 3 所示,结构缺陷的成像装置包括超声波发射器 1、阵列接收器 2 以及信号处理器 3。

[0064] 超声波发射器 1 构成为能照射由任意循环数的正弦波构成的脉冲超声波。超声波发射器 1 被配置成使用任意循环数的突发波对在结构物的试样 S 中连续地包含张口裂纹 C1 和闭合裂纹 C2 的裂纹进行照射。

[0065] 阵列接收器 2 具有多个接收传感元件。阵列接收器 2 被设置成能够接收从超声波发射器 1 对结构物的试样 S 照射的脉冲超声波在裂纹上产生的散射波、即在张口裂纹 C1 的前端部生成的线性散射波和在闭合裂纹 C2 生成的分谐波。

[0066] 信号处理器 3 由与阵列接收器 2 连接的计算机构成,具有成像机构(未图示)和抽取机构(未图示)。成像机构对由阵列接收器 2 的各接收传感元件接收到的接收信号施加使特定频率成分通过的带通滤波器,对通过带通滤波器的信号使用相控阵法得到裂纹的图像。也就是说,成像机构对于通过带通滤波器的信号,使其偏移根据阵列接收器 2 的各接收传感元件的位置而不同的时间之后,对其进行相加而得到处理信号,根据所获得的处理信号得到裂纹的图像。成像机构的带通滤波器的带宽与包含在与施加滤波器的接收信号对应的脉冲超声波中的正弦波的循环数成反比。另外,带通滤波器构成为仅使具有施加滤波器的接收信号所对应的脉冲超声波中包含的正弦波的频率的整数分之一的频率的分谐波的频率成分通过。

[0067] 抽取机构抽取由成像机构所得到的彼此不同的 2 个图像的共同部分。在图 3 所示的一例中抽取从第一配置 A 的结构缺陷的成像装置所得到的图像与从第二配置 B 的结构缺陷的成像装置所得到的图像的共同部分。

[0068] 另外,确定阵列接收器 2 的接收传感元件的数量,以使得到的 2 个图像成为在阵列接收器 2 的中心与缺陷连接的方向上依赖于包含在与各图像对应的脉冲超声波中的正弦波的循环数而伸展的形状。

[0069] 本发明实施方式的结构缺陷的成像装置能够容易地实施本发明实施方式的结构缺陷的成像方法。

[0070] 如图 3 所示,在相对于裂纹的预定位置配置有超声波发射器 1 和阵列接收器 2 的第一配置 A 的结构缺陷的成像装置中,从超声波发射器 1 对裂纹照射循环数为 3 以下的脉冲超声波,由阵列接收器 2 接收对在张口裂纹 C1 的前端部生成的线性散射波和在闭合裂纹 C2 生成的分谐波进行合成后的接收信号。成像机构基于对该接收信号施加带通滤波器而抽取的分谐波,在斜线部 D 的范围内进行成像时,得到分谐波图像 I1。在分谐波图像 I1 中,不仅出现使闭合裂纹 C2 成像的实线 4,作为在张口裂纹 C1 生成的线性散射波的泄露也出现了虚线 5。

[0071] 因此,在第一配置 A 的结构缺陷的成像装置中,由超声波发射器 1 对裂纹照射正弦波的循环数为 4 以上的长脉冲超声波,由阵列接收器 2 接收对在张口裂纹 C1 的前端部生成的线性散射波和在闭合裂纹 C2 生成的分谐波进行合成后的第一接收信号。成像机构基于对该第一接收信号施加带通滤波器而抽取的分谐波,在斜线部 D 的范围内进行成像时,得到分谐波图像 I2。在分谐波图像 I2 中,由于使用长脉冲超声波,不出现在张口裂纹 C1 生成的线性散射波的泄露(虚线 7),仅出现使闭合裂纹 C2 成像的实线 8。

[0072] 然而,作为其副作用,如分谐波图像 I2 的实线 8 那样,由于图像随着循环数的增加而伸展,导致空间分辨率降低。若注意到该伸展是在阵列接收器 2 的中心与散射源连接的方向上,则可知通过以不同阵列接收器 2 的配置进行成像,能够得到伸展方向不同的图像。

[0073] 因此,作为一例,如图 3 所示,使用使超声波发射器 1 和阵列接收器 2 相对于裂纹的配置相反的、第二配置 B 的结构缺陷的成像装置。在该第二配置 B 的结构缺陷的成像装置中,由超声波发射器 1 对裂纹照射相同循环数的长脉冲超声波,由阵列接收器 2 接收对在张口裂纹 C1 的前端部生成的线性散射波和在闭合裂纹 C2 生成的分谐波进行合成后的第二接收信号。成像机构基于对该第二接收信号施加带通滤波器而抽取的分谐波,在斜线部 D 的范围内进行成像时,得到分谐波图像 I3。在分谐波图像 I3 中,由于脉冲超声波的使用,不出现在张口裂纹 C1 生成的线性散射波的泄露(虚线 10),仅出现使闭合裂纹 C2 成像的实线 11。

[0074] 生成由信号处理器 3 的抽取机构从由彼此不同的第一配置 A 和第二配置 B 所得到的分谐波图像 I2 和 I3 中抽取共同部分的图像 I4。由此,能够使共同部分 I3 作为裂纹的闭口部被抽取,仅得到裂纹闭口部的图像。这样,根据本发明实施方式的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置,能够得到使空间分辨率提高的真的闭口部的图像,能够高精度地检测闭合裂纹等缺陷。并且,具有高的频率分辨率和空间分辨率,能够提高闭合裂纹与张口裂纹的识别性。

[0075] 接着,作为由抽取机构抽取共同部分的方法的一例,对取 2 个图像的乘积的情况进行模拟。

[0076] 图 4 表示生成接收信号的模拟方法。首先,计算阵列接收器 2 的各接收传感元件 ( $n = 1 \sim N$ ) 的位置。接着,设定散射源的位置。然后,以这些位置信息为基础,计算从超声波发射器 1 照射的入射波被散射源散射而到达阵列接收器 2 的预定接收传感元件的传输时间,如图 4 所示,与散射源是闭口部还是开口部对应地施加分谐波或基波的波形。对所有的散射源反复进行上述操作,使波形相加并保存后移至下一个接收传感元件。在完成全部接收传感元件的计算后将这些作为接收信号保存并结束。

[0077] 图 5 是表示采用模拟而假想出的结构缺陷的成像装置的一例的结构图和由此得到的图像。如图 5 所示,在结构缺陷的成像装置中,由超声波发射器 1 对产生相当于闭合裂纹的分谐波的散射源 S1、产生模拟张口裂纹的基波的线性散射源 S2 以及产生模拟底面的基波的线性散射源 S3 照射循环数为 2 的脉冲超声波。但是,将 S1 的强度设为 S2、S3 的 2 分之 1。接着,由阵列接收器 2 接收在闭合裂纹 S1 生成的分谐波、在张口裂纹 S2 生成的线性散射波以及在底面 S3 生成的线性散射波。

[0078] 若由成像机构根据该接收信号进行成像,则得到包含分谐波和线性散射波的图像 I11。但是,在此,将带通滤波器设定成使基波和分谐波两者通过。在图像 I11 中,将闭合裂纹 S1 成像成 21,将张口裂纹 S2 成像成 22,将底面 S3 成像成 23。

[0079] 图 6 表示在图像 I11 中,在闭合裂纹 S1 被成像的 21 中的相位匹配波形 W1(粗线部分)和其功率谱 F1,以及在张口裂纹 S2 被成像的 22 中的相位匹配波形 W2(粗线部分)和其功率谱 F2。如图 6 的功率谱 F1 和功率谱 F2 所示,可知由于使用了频率分辨率低的循环数为 2 的脉冲超声波,具有宽频带的频率特性。

[0080] 图 7 表示基于由带通滤波器从被阵列接收器 2 接收到的信号中抽取的线性散射波

的成分的基波图像 I12、和基于由带通滤波器抽取的分谐波的分谐波图像 I13。如图 7 所示,在基波图像 I12 中,出现了张口裂纹 S2 被成像的 24 和底面 S3 被成像的 25。在分谐波图像 I13 中,不仅出现了闭合裂纹 S1 被成像的 26,还出现了作为在张口裂纹 S2 和底面 S3 生成的线性散射波的泄露的 27 和 28。在此条件下,表示闭合裂纹的识别性的、分谐波图像 I13 中的 S1 与 S2 的强度比为 2.4。

[0081] 因此,在图 5 所示的结构缺陷的成像装置中,由超声波发射器 1 对闭合裂纹 S1、张口裂纹 S2、以及底面 S3 照射循环数为 6 的长脉冲超声波。由阵列接收器 2 接收在闭合裂纹 S1 生成的分谐波、在张口裂纹 S2 生成的线性散射波以及在底面 S3 生成的线性散射波,若由成像机构根据该接收信号进行成像,则如图 8 所示,得到包含分谐波和线性散射波的图像 I21。在图像 I21 中,闭合裂纹 S1 被成像成 31,张口裂纹 S2 被成像成 32,底面 S3 被成像成 33。

[0082] 图 9 表示在图像 I21 中,在闭合裂纹 S1 被成像的 41 中的相位匹配波形 W3(粗线部分)和其功率谱 F3,以及在张口裂纹 S2 被成像的 42 中的相位匹配波形 W4(粗线部分)和其功率谱 F4。如图 9 的功率谱 F3 和功率谱 F4 所示,由于使用了长脉冲超声波,可知与图 6 所示的功率谱 F1 和功率谱 F2 相比具有窄频带的频率特性。

[0083] 图 10 表示基于由带通滤波器从由阵列接收器 2 接收到的信号中抽取的线性散射波的成分的基波图像 I22,以及基于由带通滤波器抽取的分谐波的分谐波图像 I23。如图 10 所示,在基波图像 I22 中出现了张口裂纹 S2 被成像的 34 和底面 S3 被成像的 35。在分谐波图像 I23 中,由于使用长脉冲超声波,未出现在张口裂纹 S2 和底面 S3 生成的线性散射波的泄露,仅出现了闭合裂纹 S1 被成像的 36。在此条件下,若与图 7 所示的 2 周期的分谐波图像 I13 相比,则表示闭合裂纹的识别性的、分谐波图像 I23 中的 S1 与 S2 的强度比提高到 7.1。

[0084] 作为其副作用,如图 10 所示的分谐波图像 I23 的 36 那样,由于图像随着循环数的增加而伸展,因此与图 7 所示的分谐波图像 I13 相比,空间分辨率降低。但是,注意伸展的方向为阵列接收器 2 的中心与散射源连接的方向,在此,如图 11 所示,使用与图 5 所示的结构缺陷的成像装置相反的配置。

[0085] 如图 11 所示,由超声波发射器 1 对闭合裂纹 S1、张口裂纹 S2 以及底面 S3 照射循环数为 6 的长脉冲超声波,由阵列接收器 2 接收在闭合裂纹 S1 生成的分谐波、在张口裂纹 S2 生成的线性散射波以及在底面 S3 生成的线性散射波。使基于由带通滤波器从由阵列接收器 2 接收到的信号中抽取的线性散射波的成分的基波图像 I24 和基于由带通滤波器抽取的分谐波的分谐波图像 I25 成像。

[0086] 如图 11 所示,在基波图像 I24 中出现了张口裂纹 S2 被成像的 37 和底面 S3 被成像的 38。在分谐波图像 I25 中,由于使用长脉冲超声波,未出现在张口裂纹 S2 和底面 S3 生成的线性散射波的泄露,仅出现了闭合裂纹 S1 被成像的 39。另外,得到 I24 和 I25 的伸展方向与图 10 所示的 I22 和 I23 不同的图像。

[0087] 如图 10 和图 11 所示,若由信号处理器 3 的抽取机构根据基于彼此不同的超声波发射器 1 和阵列接收器 2 的配置所得到的基波图像 I

[0088] 22 和基波图像 I24、分谐波图像 I23 和分谐波图像 I25 进行乘积运算处理,抽取共同部分,则得到图 12 所示的基波图像 I26 和分谐波图像 I27。由此,在基波图像 I26 中得到

共同部分 41、42,共同部分 41 成为裂纹的开口部。在分谐波图像 I27 中,共同部分 43 成为裂纹的闭口部。由此,表示与分谐波图像 I23 和分谐波图像 I25 相比能够减少图像的伸展,且仅得到裂纹闭口部的图像。在此条件下,表示闭合裂纹的识别性的、分谐波图像 I27 中的 S1 与 S2 的强度比为 7.1。

[0089] 另外,如图 7 和图 10 所示,若由信号处理器 3 的抽取机构根据以不同循环数得到的基波图像 I12 和基波图像 I22、分谐波图像 I13 和分谐波图像 I23 进行乘积运算处理,抽取共同部分,则得到图 13 所示的基波图像 I28 和分谐波图像 I29。由此,在基波图像 I28 中得到共同部分 44、45,共同部分 44 成为裂纹的开口部。在分谐波图像 I29 中,共同部分 46 成为裂纹的闭口部。由此,表示与分谐波图像 I23 相比能够减少图像的伸展,且仅得到裂纹闭口部的图像。在此条件下,与 2 周期的分谐波图像 I13 相比,表示闭合裂纹的识别性的、分谐波图像 I29 中的 S1 与 S2 的强度比提高到 4.0。

[0090] 这样,即使在照射正弦波的循环数不同的 2 个脉冲超声波的情况下,也能够根据本发明实施方式的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置而具有高的频率分辨率和空间分辨率,提高闭合裂纹与张口裂纹的识别性。并且,能够高精度地检测闭合裂纹等缺陷。另外,如图 13 所示,由于抽取长度不同但向同一方向伸展的 2 个图像的共同部分,因此与抽取向不同方向伸展的图像的共同部分的图 12 的方法相比,有时图像变大,空间分辨率降低。

[0091] 另外,在本发明实施方式的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置中,也可以能够切换阵列接收器 2 使用的接收传感元件,通过切换在阵列接收器 2 内使用的接收传感元件来构成第一配置和第二配置。这种情况下,能够在超声波发射器 1 和阵列接收器 2 均不移动的情况下得到 2 个不同的图像,能够容易地得到空间分辨率提高的、闭合裂纹等缺陷的图像。

[0092] 另外,在本发明实施方式的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置中,带通滤波器也可以构成为仅使包含在与施加滤波器的各接收信号对应的脉冲超声波中的、具有正弦波频率的整数倍的频率的高次谐波的频率成分通过。这种情况下,不使用分谐波而使高次谐波,尤其能够高精度地检测闭合裂纹等缺陷,提高频率分辨率。

[0093] 在本发明实施方式的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置中,抽取机构也可以构成为通过进行被数字化的 2 个图像的乘积的平方根运算来抽取各图像的共同部分。另外,抽取机构还可以构成为仅对被二值化的 2 个图像的成为一个部分的部分的共同部施加原来的图像的强度来抽取各图像的共同部分。在这些情况下,也能够使用计算机容易地抽取各图像的共同部分,能够高精度地检测闭合裂纹等缺陷。

[0094] 另外,可知本发明实施方式的气泡或损害部位的成像方法以及气泡或损害部位的成像装置能够通过将本发明实施方式的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置的记述中的“结构物”替换成“组织”、将“缺陷”替换成“气泡或损害部位”,从而能够不仅应用于结构物的缺陷,也同样适用于使用了高次谐波、分谐波的生物体组织的造影剂气泡或损害部位的选择性的提高。

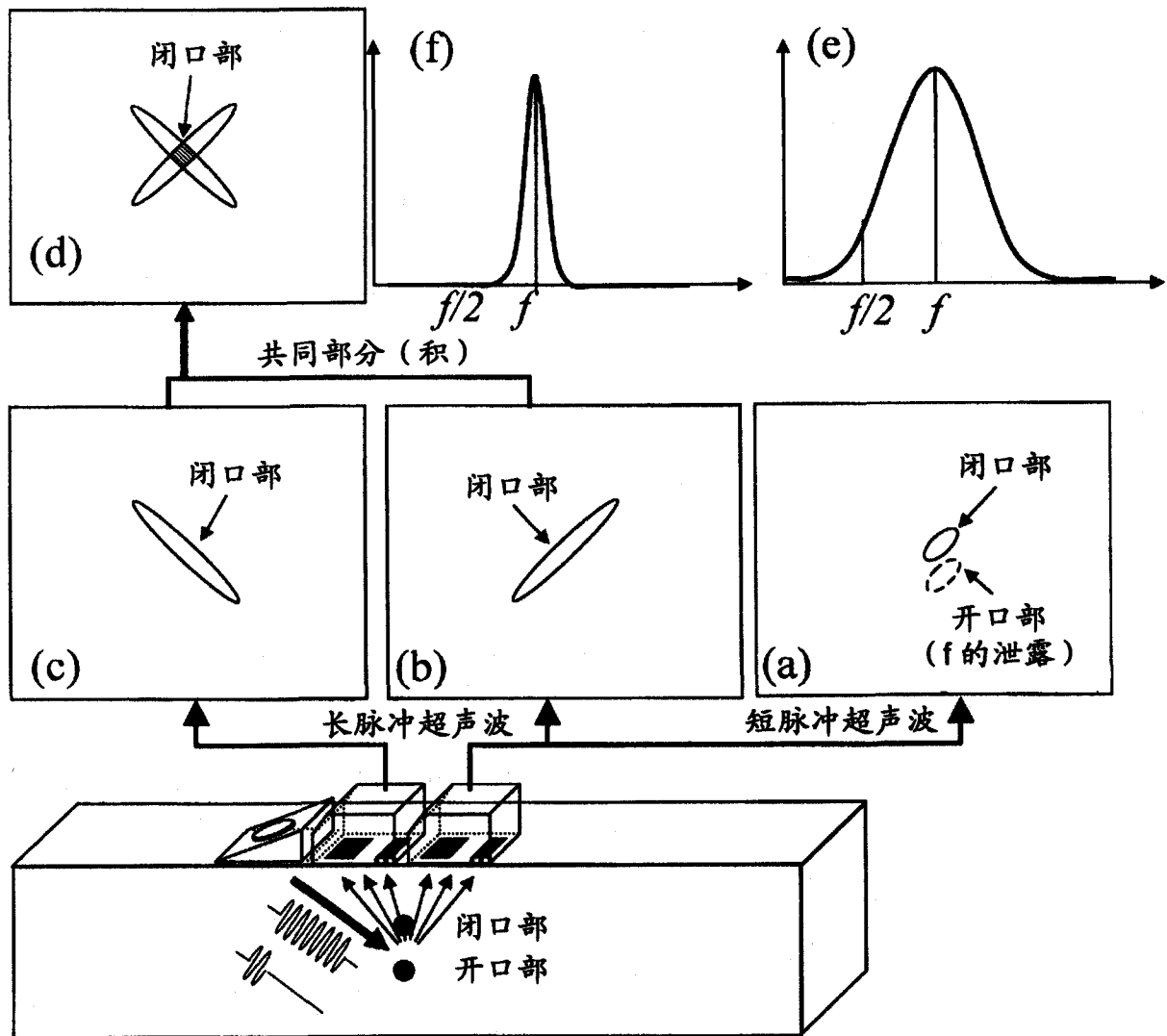


图 1

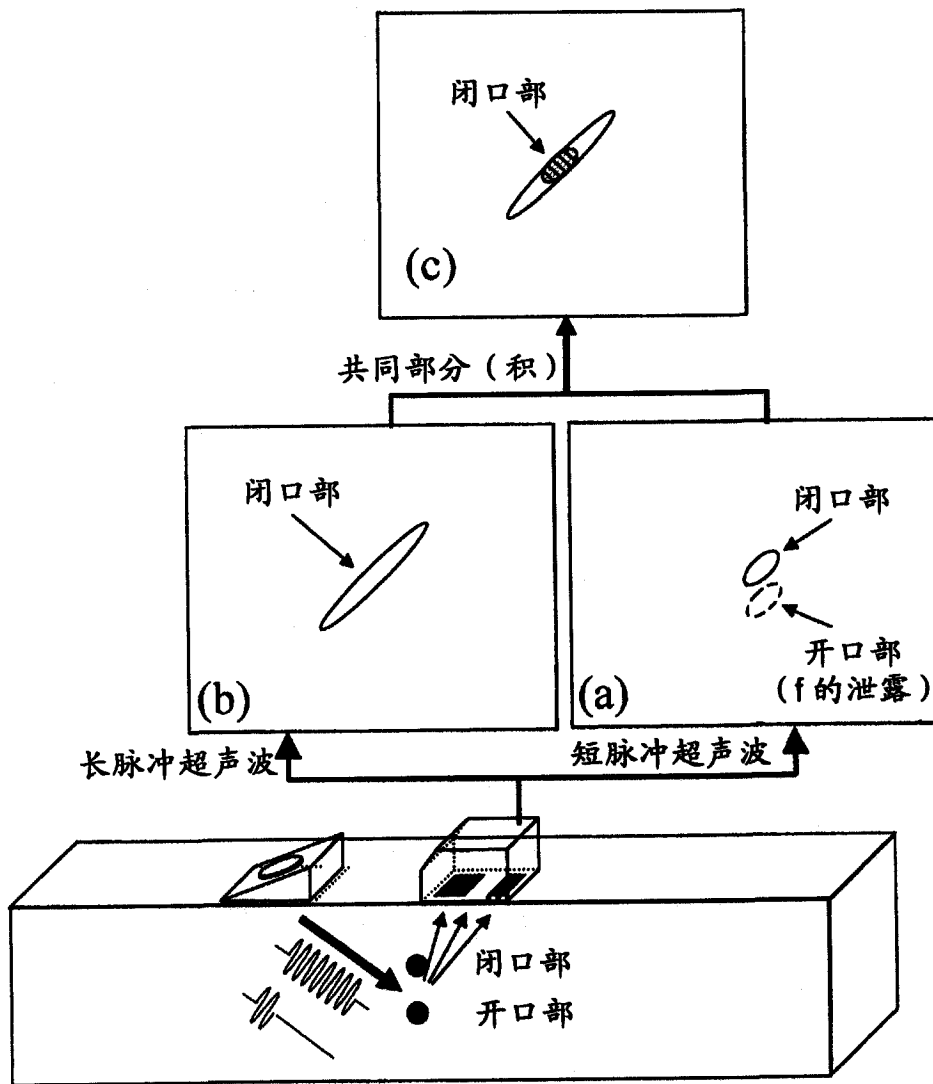


图 2

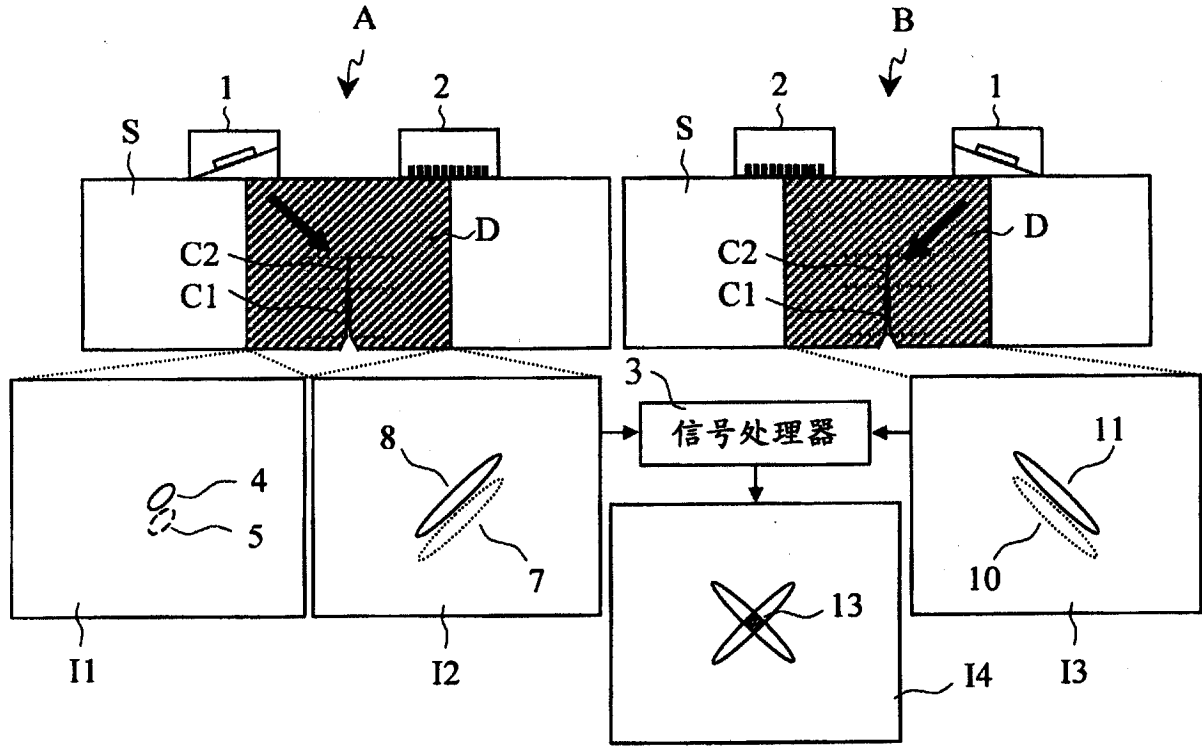


图 3

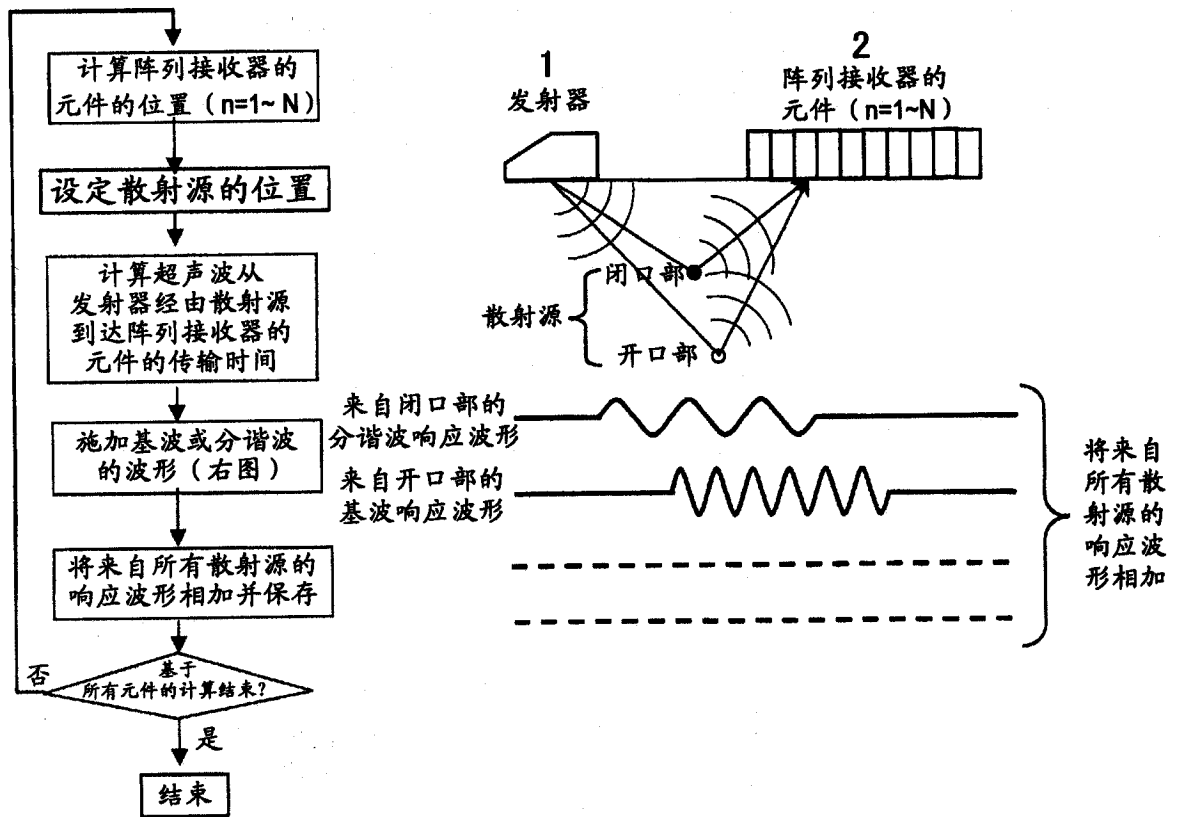


图 4

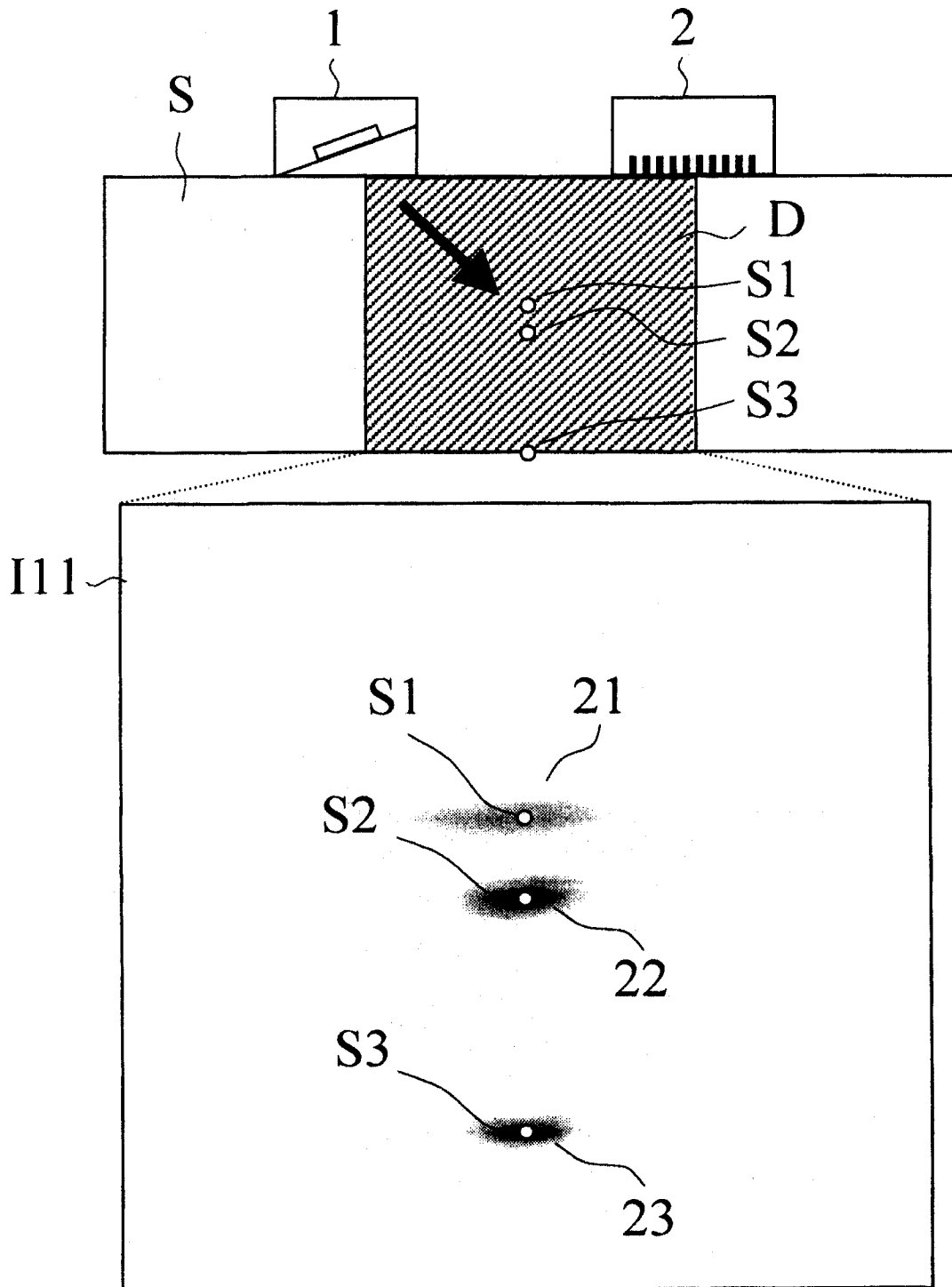


图 5

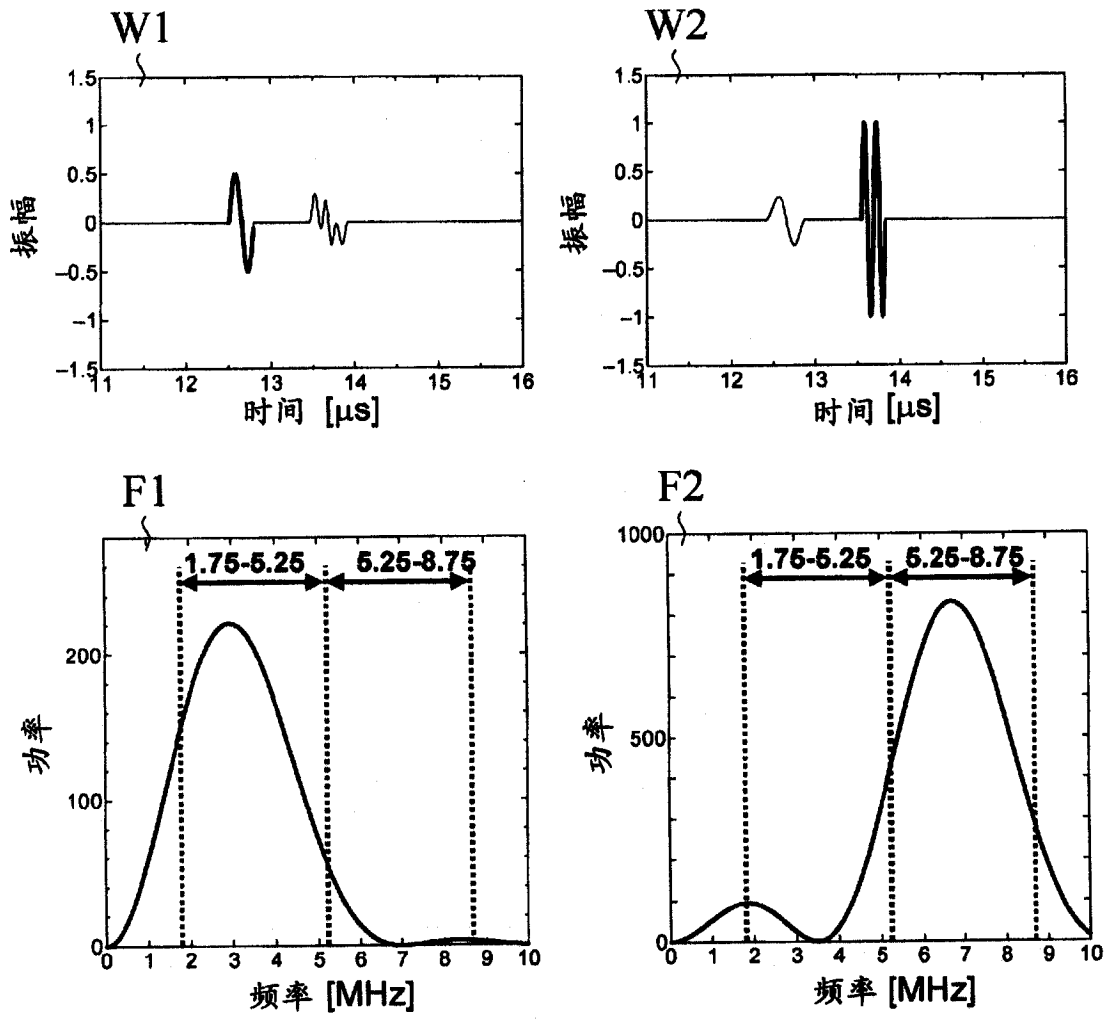


图 6

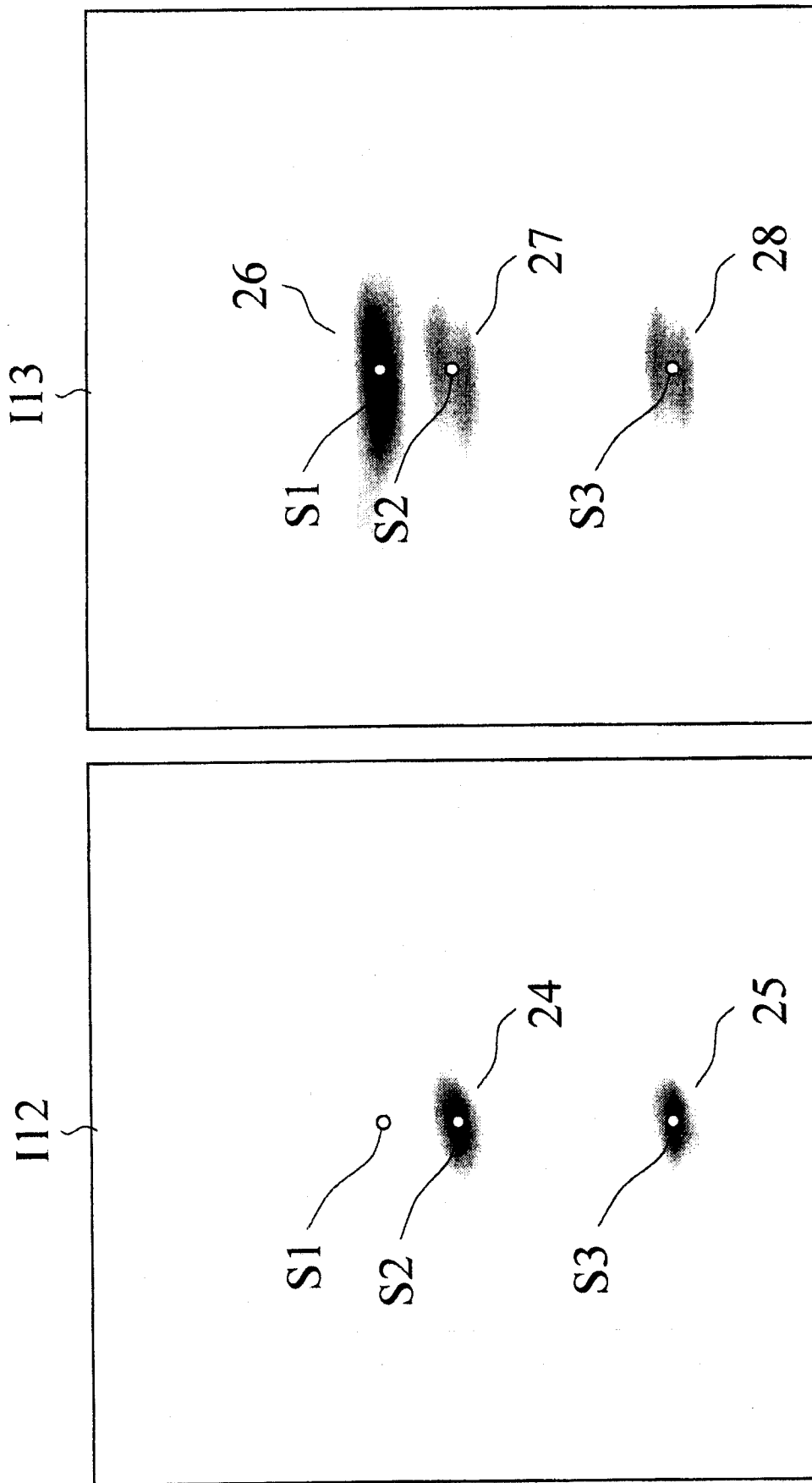


图 7

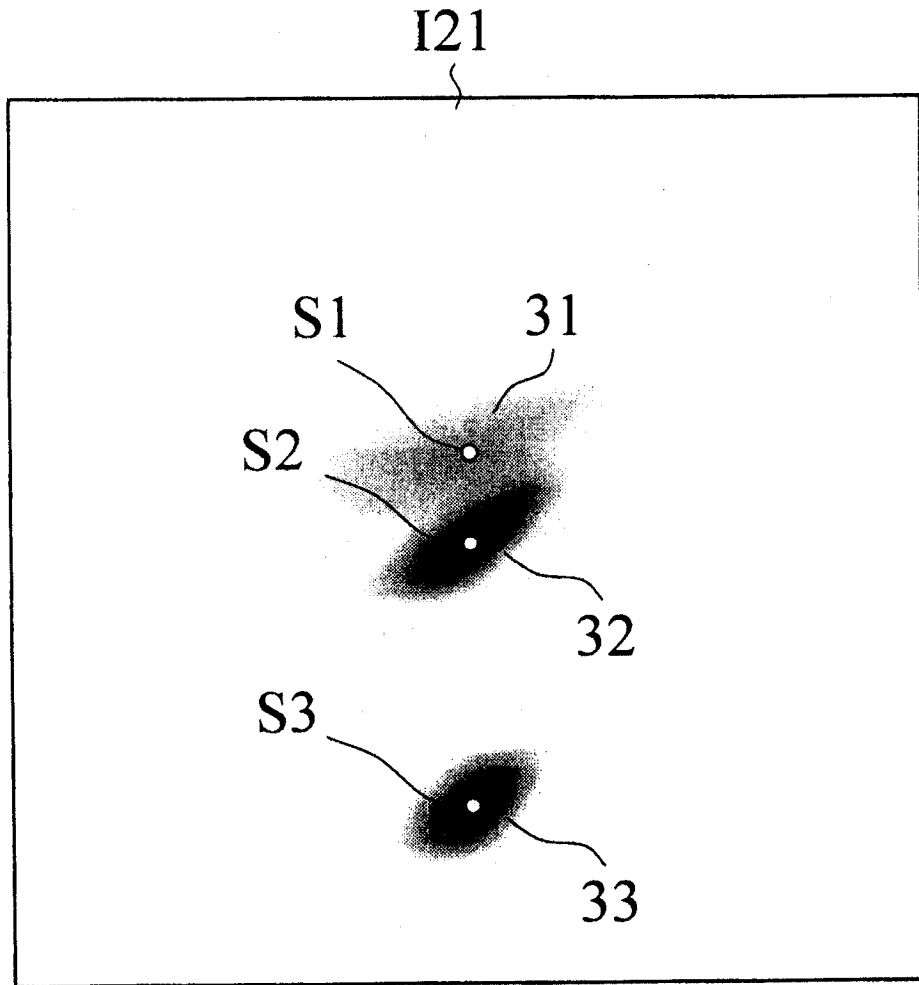


图 8

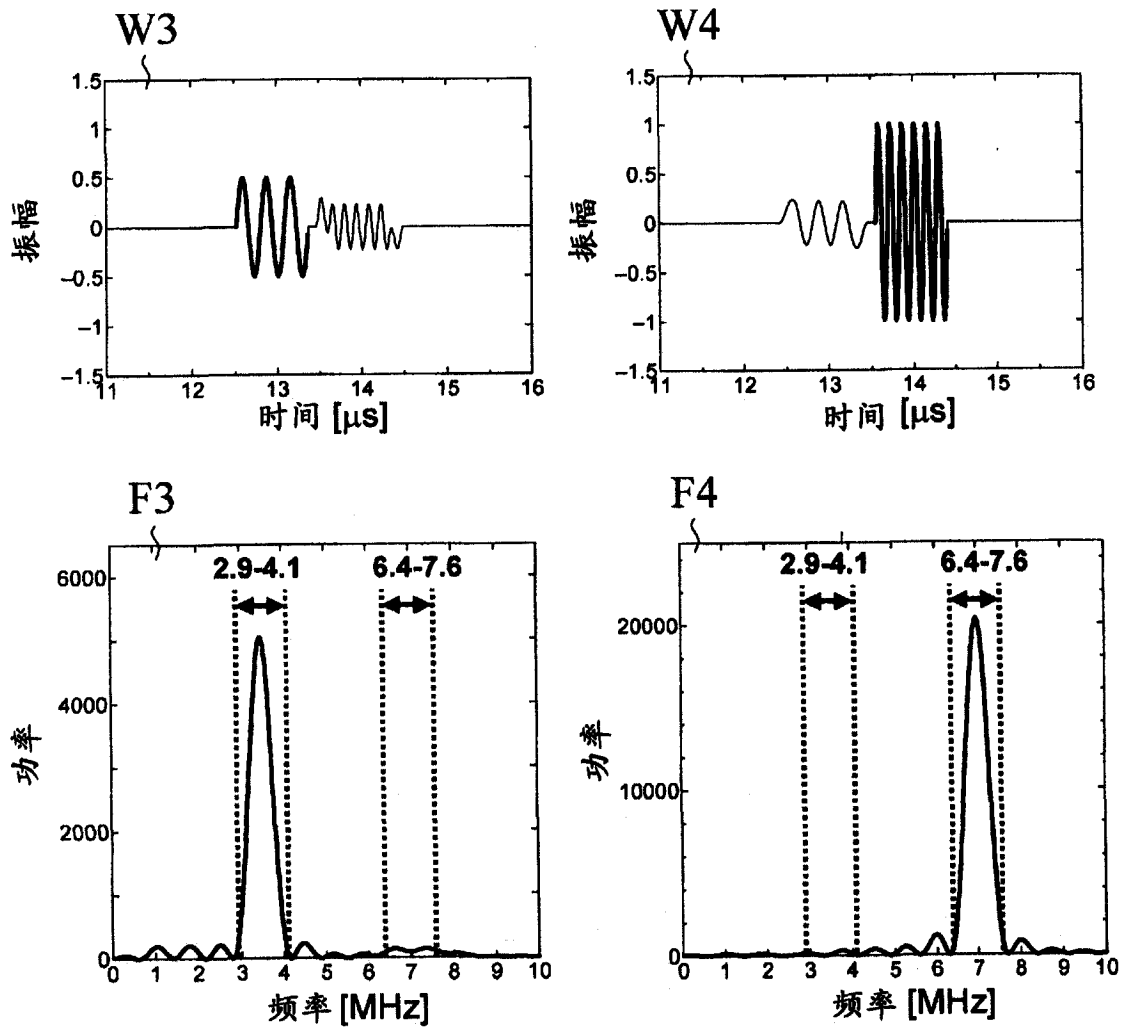


图 9

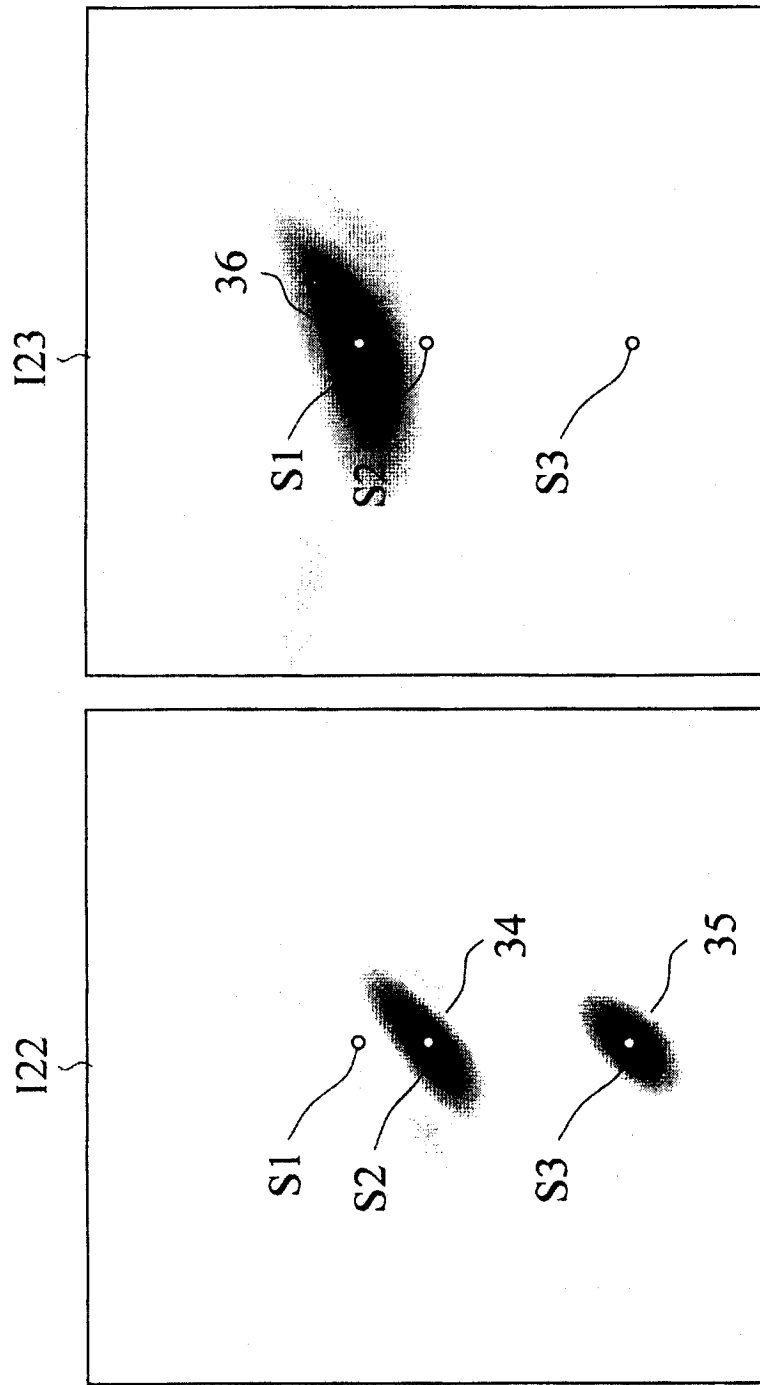


图 10

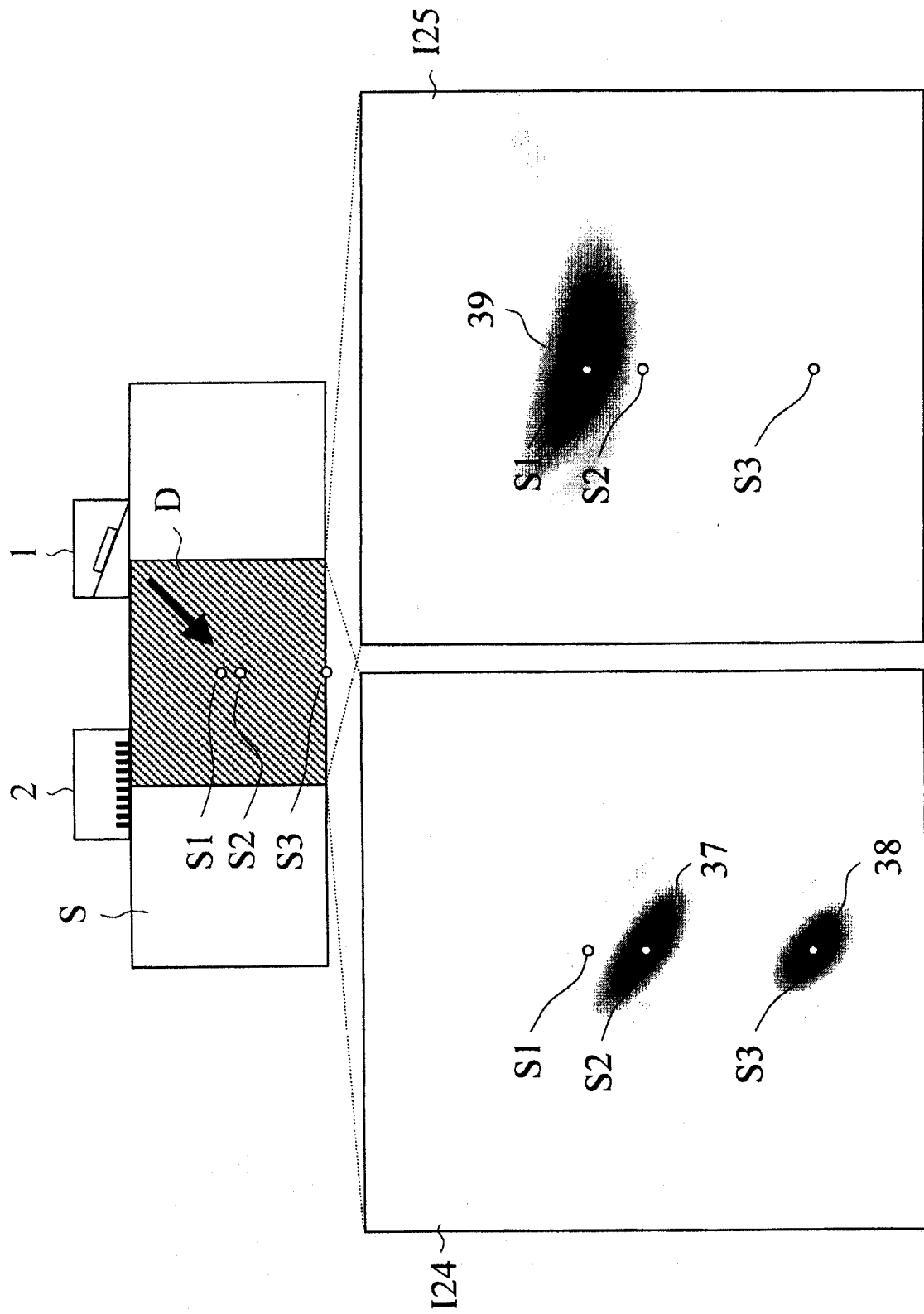


图 11

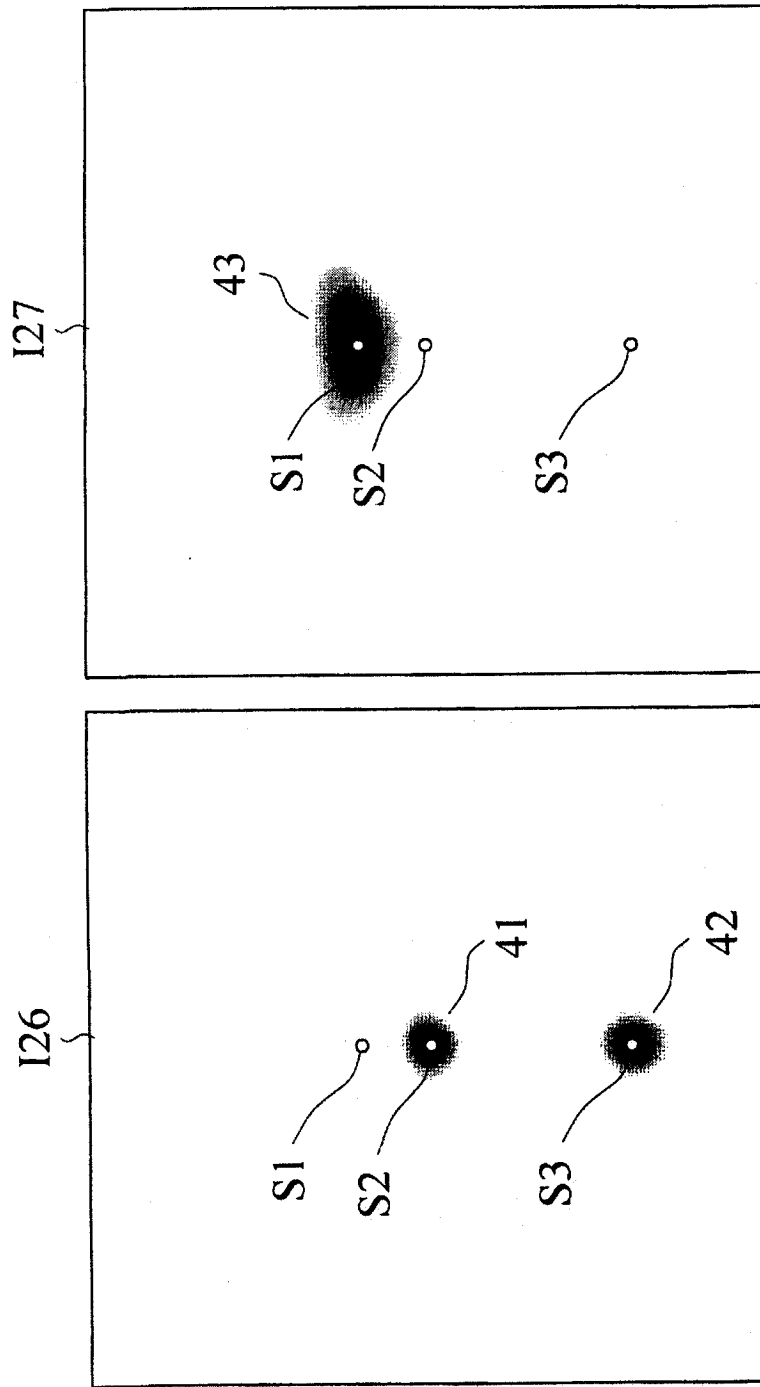


图 12

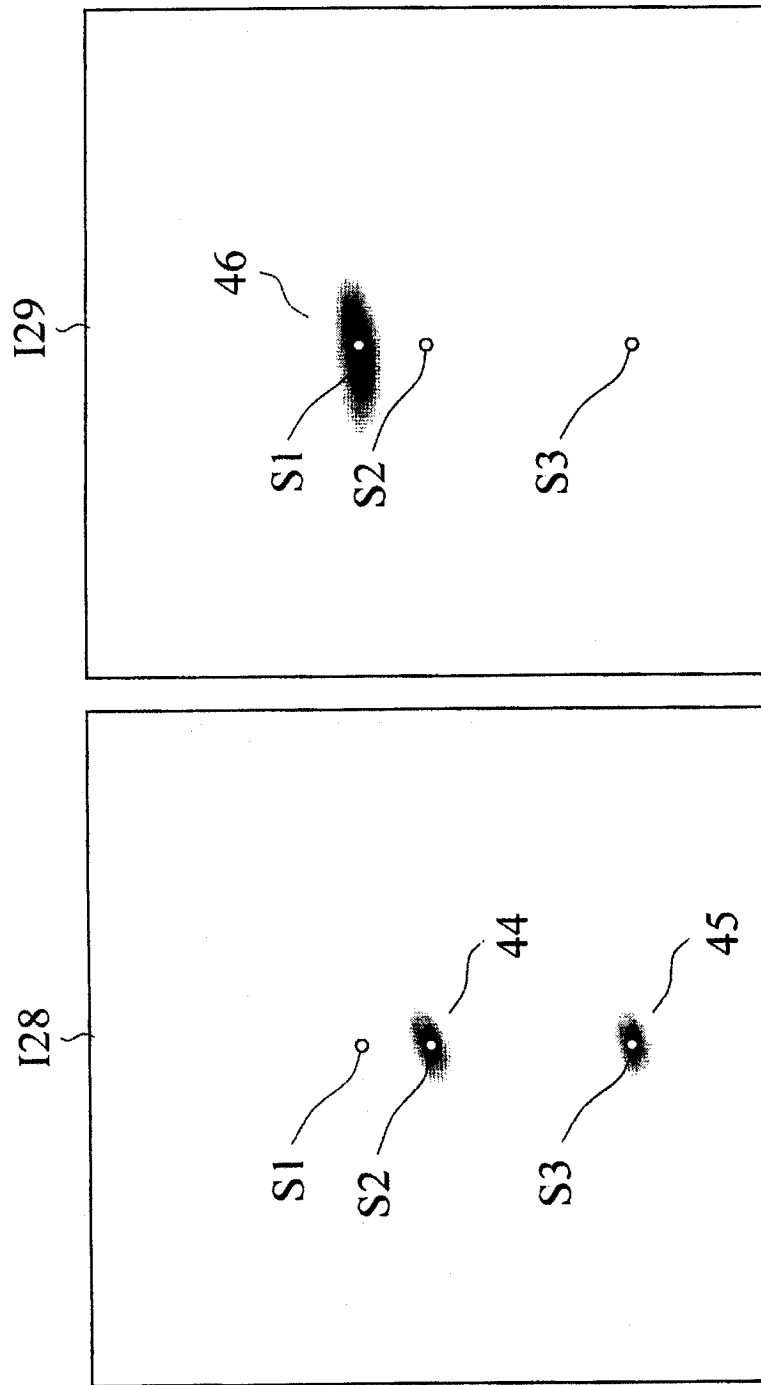


图 13

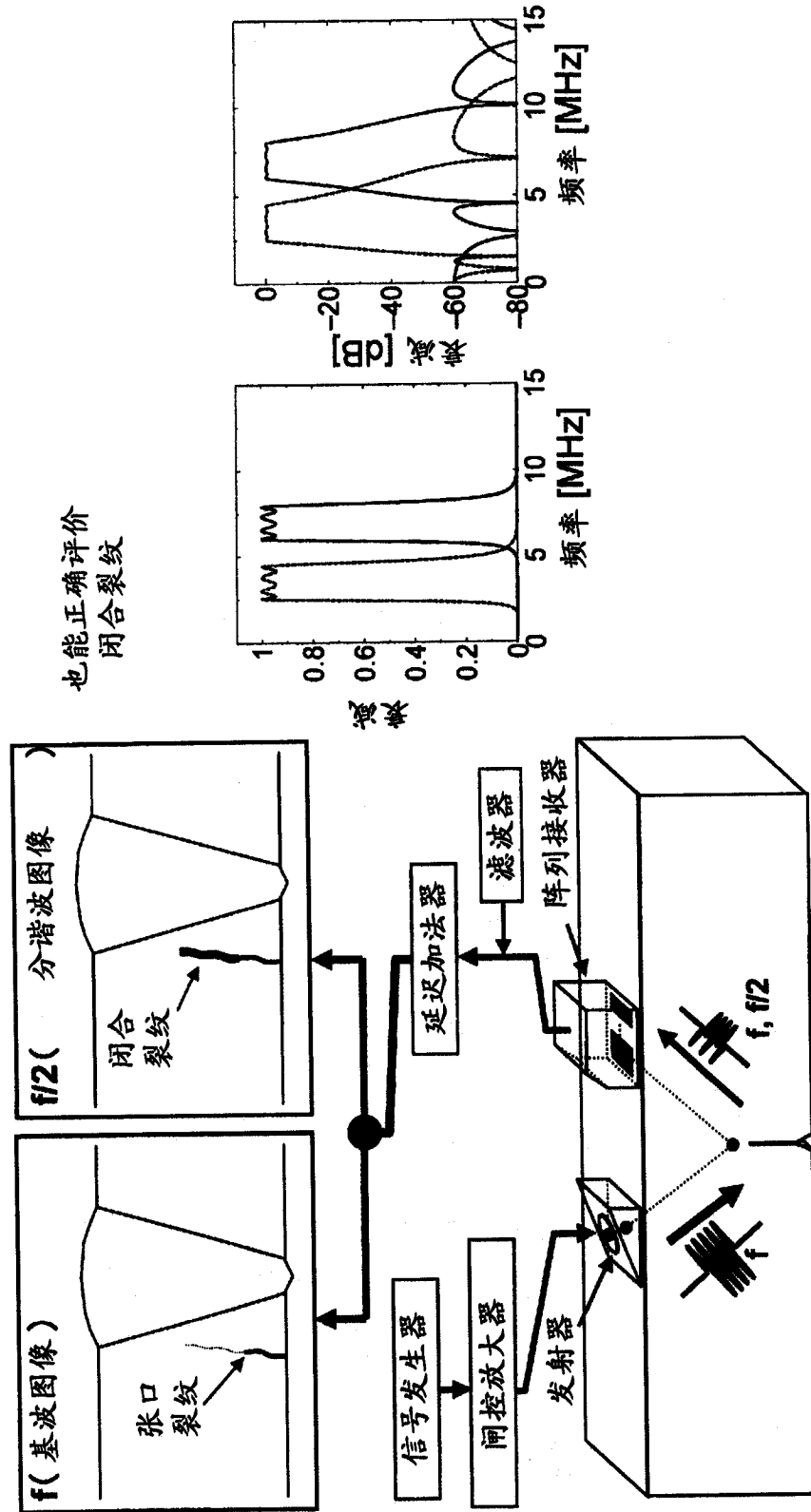


图 14

专利名称(译)	结构缺陷的成像方法、结构缺陷的成像装置、气泡或损害部位的成像方法以及气泡或损害部位的成像装置		
公开(公告)号	<a href="#">CN102099675A</a>	公开(公告)日	2011-06-15
申请号	CN200980128195.5	申请日	2009-05-19
申请(专利权)人(译)	国立大学法人东北大学		
当前申请(专利权)人(译)	国立大学法人东北大学		
[标]发明人	山中一司 小原良和 新宅洋平		
发明人	山中一司 小原良和 新宅洋平		
IPC分类号	G01N29/44 A61B8/00 G01B17/06		
CPC分类号	A61B8/0833 G01N29/42 G01S7/52038 G01N29/069 G01S15/00 G01N29/0654 A61B8/00 G01N2291/106 G01S15/8913 G01N29/36 G01N29/343		
代理人(译)	王茂华		
优先权	2008187578 2008-07-18 JP		
其他公开文献	CN102099675B		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明提供具有高的频率分辨率和空间分辨率的、能够提高闭合裂纹与张口裂纹的识别性的结构缺陷的成像方法和结构缺陷的成像装置。另外，本发明还提供具有高频率分辨率和高空间分辨率的、能够提高组织与气泡或损害部位的识别性的气泡或损害部位的成像方法以及气泡或损害部位的成像装置。对于超声波发射器和阵列接收器针对缺陷而不同的2个配置，由阵列接收器接收超声波发射器向结构物照射的脉冲超声波在缺陷上产生的散射波来得到接收信号。对该接收信号施加使特定频率成分通过的带通滤波器，并在使其偏移根据阵列接收器的各接收传感元件的位置而不同的时间之后，对其进行相加而得到处理信号。根据该处理信号分别得到缺陷的图像。抽取所获得的2个图像的共同部分。

