



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101852773 A

(43) 申请公布日 2010. 10. 06

(21) 申请号 201010154828. 4

(22) 申请日 2010. 03. 30

(30) 优先权数据

081459/2009 2009. 03. 30 JP

(71) 申请人 株式会社东芝

地址 日本东京都

(72) 发明人 唐泽博一

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 许玉顺 胡建新

(51) Int. Cl.

G01N 29/06 (2006. 01)

G01N 29/07 (2006. 01)

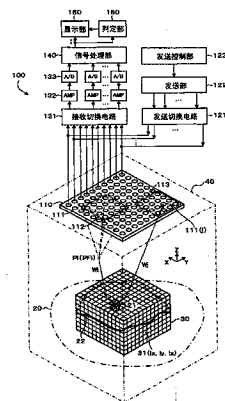
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 7 页

(54) 发明名称

超声波成像装置

(57) 摘要

本发明提供一种无论对于宽指向角还是狭指向角的发送超声波都能够生成有效的图像的超声波成像装置。该超声波成像装置具备：发送控制部，对所述多个第一压电元件各自的发送定时进行控制，以使从多个第一压电元件发送的超声波的合成波与从规定的虚拟发送点发送的超声波对应；信号检测电路，检测与从所述多个第一压电元件发送并被检查对象物反射、然后由多个第二压电元件接收的超声波回波对应的电信号；以及生成部，根据所述电信号，生成与所述检查对象物对应的图像。



1. 一种超声波成像装置,其特征在于,具备:

具有多个压电元件的超声波换能器;

发送控制部,对从所述多个压电元件中选择的多个第一压电元件各自的发送定时进行控制,以使从所述多个第一压电元件发送的超声波的合成波与从规定的虚拟发送点发送的超声波对应;

信号检测电路,检测电信号,该电信号是与从所述多个第一压电元件发送并被检查对象物反射、然后由从所述多个压电元件中选择的多个第二压电元件接收的超声波回波对应的电信号;

第一存储部,对表示发送传播时间的发送时间表进行存储,所述发送传播时间是超声波从所述规定的虚拟发送点开始、到对包含所述检查对象物的空间进行划分的多个空间网目中的每一个为止所传播的时间;

第二存储部,对表示接收传播时间的接收时间表进行存储,所述接收传播时间是超声波从所述多个空间网目的每一个开始传播到所述多个第二压电元件为止的时间;

第三存储部,对补偿时间进行存储,所述补偿时间是超声波从所述多个第一压电元件到所述虚拟发送点之间所传播的时间;

计算部,将所述发送传播时间、所述接收传播时间和所述补偿时间相加,计算出超声波的总传播时间;以及

生成部,根据所述电信号和所述总传播时间,生成与所述检查对象物对应的图像。

2. 根据权利要求1所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述合成波是会聚于一个会聚点的会聚波,该会聚点与所述虚拟发送点相对应。

3. 根据权利要求1所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述合成波是从虚拟的一个发散点发散的发散波,该发散点与所述虚拟发送点相对应。

4. 根据权利要求1所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述发送控制部对所述多个第一压电元件各自的发送定时进行多次控制,以使所述合成波与从多个不同的虚拟发送点发送的超声波相对应,

所述信号检测部检测出与所述多个不同的虚拟发送点分别对应的多个电信号,

所述生成部根据所述多个电信号,生成与所述检查对象物对应的图像。

5. 根据权利要求4所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述多个不同的虚拟发送点在规定的虚拟面上被配置成矩阵状。

6. 根据权利要求1所述的超声波成像装置,其特征在于,

还具备发送选择部,该发送选择部对应于所述多个不同的虚拟发送点中的每一个来选择所述第一压电元件。

7. 根据权利要求1所述的超声波成像装置,其特征在于,

还具备接收选择部,该接收选择部对应于所述多个不同的虚拟发送点中的每一个来选择所述第二压电元件。

8. 根据权利要求1所述的超声波成像装置,其特征在于,

所述计算部计算出仅与所述多个空间网目的一部分对应的发送传播时间所对应的总传播时间。

9. 根据权利要求 1 所述的超声波成像装置,其特征在于,
所述计算部计算出仅与所述多个空间网目的一部分对应的接收传播时间所对应的总传播时间。

10. 根据权利要求 1 所述的超声波成像装置,其特征在于,
由所述信号检测电路检测出的电信号是所述超声波回波的采样数据,
所述生成部具有:
时间差检测部,检测出从所述多个第一压电元件的发送开始到所述采样数据的检测为止的时间差;
判定部,根据所述时间差和所述总传播时间,判定与所述采样数据对应的空间网目;
分配部,对所述被判定的空间网目分配与采样数据对应的值;以及
图像生成部,将分配给所述空间网目的值相加,生成图像数据。

11. 根据权利要求 1 ~ 10 中任一项所述的超声波成像装置,其特征在于,还具备:
深度计测部,根据所述图像数据的深度方向的强度分布,计测所述检查对象的底面或边界面的深度分布;
第四存储部,对表示所述深度与超声波的衰减特性的关系的衰减表进行存储;
生成部,根据所述衰减表和所述深度分布,生成判定表,该判定表具有用于判定所述图像数据的强度的阈值;
导出部,导出所述图像数据的强度分布;以及
检测部,根据所述图像数据的强度分布和所述判定表,对所述图像数据的强度大于判定值的区域进行检测。

超声波成像装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种使用超声波将检查对象物成像的超声波成像装置。

背景技术

[0002] 例如,在医疗领域等所使用的超声波成像装置中,通过对微小压电元件进行二维或三维扫描,来生成笔形波束(pencil beam)(狭指向角的超声波束),从而形成图像。这里,为了生成三维的图像,需要在三维空间中例如进行几百至几千次的非差多次数的扫描。

[0003] 另一方面,正在开发一种通过从配置成矩阵状的压电元件发出宽指向角的超声波,对接收回波信号进行孔径合成(開口合成)处理,从而生成图像的方式。将一个压电元件作为发送点来发送超声波,并由其他的压电元件进行接收。通过变更发送点、进行几十次左右的收发,可以生成立体图像。

[0004] 这里,在从压电元件发送宽指向角的超声波的情况下,超声波图像的分辨率提高存在界限。在孔径合成处理中,超声波的收发指向角越宽广,分辨率越高。为了使指向角更加宽广,需要实现压电元件的小型化。但是,如果使压电元件小型化,则灵敏度降低,反而有可能使超声波图像的分辨率降低。

[0005] 因此,提出了一种通过对来自多个压电元件的超声波的发送定时进行控制,从一个虚拟点音源发送超声波的超声波成像装置(参照专利文献1)。由于即使压电元件小型化,灵敏度也不会降低,所以可实现分辨率的提高。

[0006] 但是,难以使用该超声波成像装置生成狭指向角的超声波束。

[0007] 专利文献1:日本特开2000-28589号公报

发明内容

[0008] 本发明的目的在于,提供一种无论对于宽指向角还是狭指向角的发送超声波都能够生成有效的图像的超声波成像装置。

[0009] 本发明的一个方式涉及的超声波成像装置具备:具有多个压电元件的超声波换能器;发送控制部,对从所述多个压电元件中选择的多个第一压电元件各自的发送定时进行控制,以使从所述多个第一压电元件发送的超声波的合成波与从规定的虚拟发送点发送的超声波对应;信号检测电路,检测电信号,该电信号是与从所述多个第一压电元件发送并被检查对象物反射、然后由从所述多个压电元件中选择的多个第二压电元件接收的超声波回波对应的信号;第一存储部,对表示发送传播时间的发送时间表进行存储,所述发送传播时间是超声波从所述规定的虚拟发送点开始、到对包含所述检查对象物的空间进行划分的多个空间网目中的每一个为止所传播的时间;第二存储部,对表示接收传播时间的接收时间表进行存储,所述接收传播时间是超声波从所述多个空间网目的每一个开始到所述多个第二压电元件为止所传播的时间;第三存储部,对补偿时间进行存储,所述补偿时间是超声波从所述多个第一压电元件传播到所述虚拟发送点的时间;计算部,将所述发送传播时间、所述接收传播时间和所述补偿时间相加,计算出超声波的总传播时间;以及生成部,根据所述

电信号和所述总传播时间,生成与所述检查对象物对应的图像。

[0010] 发明效果

[0011] 根据本发明,可以提供一种无论对于宽指向角还是狭指向角的发送超声波都能够生成有效的图像的超声波成像装置。

附图说明

[0012] 图 1 是表示本发明的一个实施方式涉及的超声波成像装置 100 的构成图。

[0013] 图 2A 是表示会聚点(收束点)PF_i 的示意图。

[0014] 图 2B 是表示虚拟点音源 PY_i 的示意图。

[0015] 图 3 是表示多个虚拟发送点 P_i 的例子的示意图。

[0016] 图 4 是表示图像合成处理的步骤的示意图。

[0017] 图 5 是表示检查对象物 20a 的示意图。

[0018] 图 6 是表示异常区域的检测步骤的一例的示意图。

[0019] 图 7 是表示 X 方向上的底面深度分布 D(x)、判定表 Th(x)、强度分布 P(x)、判定图像数据 J(x) 的一例的图。

[0020] 附图标记说明

[0021] 100- 超声波成像装置, 110- 超声波换能器, 111- 压电元件, 112- 发送压电元件组, 113- 接收压电元件组, 121- 发送切换电路, 122- 发送部, 123- 发送控制部, 131- 接收切换电路, 132- 放大器, 133-A/D 转换器, 140- 信号处理部, 150- 显示部, 160- 判定部, 20- 检查对象物, 21- 缺陷, 30- 成像范围, 31- 成像网目(mesh), 40- 声音传播介质, P_i- 虚拟发送点, PF_i- 会聚点, PY_i- 虚拟点音源。

具体实施方式

[0022] 下面参照附图,对本发明的实施方式进行详细说明。图 1 是表示本发明的一个实施方式涉及的超声波成像装置 100 的构成图。

[0023] 超声波成像装置 100 具有:超声波换能器 110、发送切换电路 121、发送部 122、发送控制部 123、接收切换电路 131、放大器 132、A/D 转换器 133、信号处理部 140、显示部 150 和判定部 160。超声波成像装置 100 通过对检查对象物 20 发送超声波,并接收被检查对象物 20 的表面 22 及内部反射的超声波,来使成像范围 30 内(检查对象物 20 的表面 22 及内部(缺陷 21 等))可视化。具体而言,成像范围 30 以成像网目 31 为单位被可视化。结果,可检测出检查对象物 20 内部的缺陷 21。

[0024] 检查对象物 20 被配置在声音传播介质 40 中。声音传播介质 40 为了在超声波换能器 110 与检查对象物 20 之间有效地传播超声波,被配置在它们之间。作为声音传播介质 40,可以使用液体介质(水、油等)、固体介质(树脂等)。

[0025] 成像范围 30 用于表示通过超声波成像装置 100 而被可视化的空间的范围。成像网目 31(i_x, i_y, i_z)例如具有立方体状、长方体状的形状,是将成像范围 30 在不同的方向上(例如 X、Y、Z 方向)分别划分的多个区域。成像网目 31(i_x, i_y, i_z)可以通过与它们的方向分别对应的后缀 i_x, i_y, i_z 来相互识别。这里, $i_x = 1 \sim N_x, i_y = 1 \sim N_y, i_z = 1 \sim N_z$, 数 N_x, N_y, N_z 分别是 X、Y、Z 方向上的成像范围 30 的划分数。成像网目 31 与对包含检

查对象物 20 的空间进行划分的多个空间网目对应。

[0026] 在超声波换能器 110 中多个压电元件 111 配置成矩阵状,或者多个压电元件 1 配置成 1 列。在该实例中,压电元件 111 在 X-Y 方向以矩阵状配置。不过,压电元件 111 的配置方向也可以不是 X-Y 方向。

[0027] 压电元件 111 对检查对象物 20 发送超声波,并且接收被检查对象物 20 内的缺陷 21 等反射的超声波回波(反射波)。压电元件 111 具有压电材料,通过将电信号转换成超声波而发出超声波。另外,压电元件 111 通过将超声波转换成电信号,来接收超声波。可以在发送、接收双方中使用相同的压电元件 111。

[0028] 发送切换电路 121 用于选择发送中使用的压电元件 111。这里,16 个压电元件 111 被选择为发送压电元件组 112。发送切换电路 121 作为“与多个不同的虚拟发送点分别对应,选择第一压电元件的发送选择部”而发挥功能。

[0029] 发送部 122 使属于由发送切换电路 121 选择的发送压电元件组 112 的压电元件 111 发送超声波。发送部 122 通过对压电元件 111 施加单脉冲信号、连续脉冲信号等,使其发出超声波。

[0030] 发送控制部 123 对从发送部 122 输出的电信号的相位(超声波的发送定时)进行控制。即,控制由发送切换电路 121 选择出的规定个数的发送压电元件组 112 内的压电元件 111 的发送定时。结果,从超声波换能器 110 发出的超声波的合成波,与从一个虚拟发送点 P_i (会聚点 P_{Fi} 、虚拟点音源 P_{Yi}) 发送的超声波对应。即,发送控制部 123 对应于“发送控制部,其对从多个压电元件中选择的多个第一压电元件各自的发送定时进行控制,以使从所述多个第一压电元件发送的超声波的合成波与从规定的虚拟发送点发送的超声波对应”。对于该详细内容将在后面叙述。

[0031] 接收切换电路 131 选择在接收时所使用的压电元件 111。这里,选择了 16 个压电元件 111 作为接收压电元件组 113。接收切换电路 131 作为“与多个不同的虚拟发送点中的每一个相对应地选择所述第二压电元件的接收选择部”发挥功能。

[0032] 从发送压电元件组 112 内的压电元件 111 发送的超声波,在经由声音传播介质 40 被检查对象物 20 的表面 22 折射之后,在检查对象物 20 内传播,被缺陷 21 反射。被缺陷 21 反射的超声波回波在检查对象物 20 的表面 22 再次发生折射,经由声音传播介质 40,被接收压电元件组 113 内的压电元件 111 接收。接收压电元件组 113 内的压电元件 111 输出与接收到的超声波回波对应的电信号(超声波回波信号)。

[0033] 放大器 132 对来自属于接收压电元件组 113 的压电元件 111 的超声波回波信号进行放大。

[0034] A/D 转换器 133 对被放大器 132 放大后的超声波回波信号进行 A/D(模拟-数字)转换。A/D 转换器 133 通过对超声波回波信号进行采样,生成后述的采样数据。A/D 转换器 133 对应于“信号检测电路,其检测与从多个第一压电元件发送并被检查对象物反射、然后由从所述多个压电元件选择的多个第二压电元件接收的超声波回波对应的电信号”。

[0035] 信号处理部 140 通过对 A/D 变换后的超声波回波信号进行孔径合成处理,生成包含检查对象物 20 的表面 22、缺陷 21 的图像的图像数据 I。生成的图像数据 I 被发送给显示部 150 及判定部 160。关于孔径合成处理的详细内容将在后面叙述。

[0036] 信号处理部 140 作为下述部件发挥功能。

[0037] 第一存储部,存储对从所述规定的虚拟发送点到划分包含所述检查对象物的空间的多个空间网目的每一个为止进行传播的超声波的发送传播时间进行表示的发送时间表;

[0038] 第二存储部,存储对从所述多个空间网目的每一个到所述多个第二压电元件为止进行传播的超声波的接收传播时间进行表示的接收时间表;

[0039] 第三存储部,存储从多个第一压电元件向所述虚拟发送点传播的超声波的补偿(offset)时间;

[0040] 计算部,将所述发送传播时间、所述接收传播时间和所述补偿时间相加,计算出超声波的总传播时间;

[0041] 生成部,根据电信号和所述总传播时间,生成与所述检查对象物对应的图像。

[0042] 另外,该生成部作为下述部件发挥功能。

[0043] 时间差检测部,对从多个第一压电元件的发送到超声波回波的采样数据的检测为止的时间差进行检测;

[0044] 判定部,根据时间差和所述总传播时间,判定与所述超声波回波的采样数据对应的空间网目;

[0045] 分配部,对所述被判定的空间网目分配与采样数据对应的值;

[0046] 图像生成部,将对空间网目分配的值相加,生成图像数据。

[0047] 显示部 150 是使用图像数据 I 显示图像的装置,例如是 CRT、液晶显示器。

[0048] 判定部 160 使用从信号处理部 140 输出的图像数据 I,对检查对象物 20 内的异常区域进行检测。判定部 160 作为下述的部件发挥功能。

[0049] 深度计测部,根据图像数据的深度方向的强度分布,对检查对象的底面或交界面的深度分布进行计测;

[0050] 第四存储部,对表示深度与超声波的衰减特性的关系的衰减表进行存储;

[0051] 生成部,根据衰减表和深度的分布,生成具有用于对图像数据的强度(超声波的强度)进行判定的阈值的判定表;

[0052] 导出部,导出图像数据的强度分布;

[0053] 检测部,根据图像数据的强度分布、和所述判定表,检测出所述图像数据的强度比判定值大的区域。

[0054] 关于该详细内容将在后面叙述。

[0055] (虚拟发送点 P_i 的详细情况)

[0056] 下面,对虚拟发送点 P_i (会聚点 P_{Fi} 、虚拟点音源 P_{Yi}) 的详细情况进行说明。在从发送压电元件组 112 的压电元件 111 发送的超声波的合成波,与从 1 个点 P_i 发送的超声波对应时,将该点 P_i 称作虚拟发送点 P_i 。可以认为虚拟发送点 P_i 有会聚点 P_{Fi} 、虚拟点音源 P_{Yi} 这两种。图 2A、图 2B 分别是表示会聚点 P_{Fi} 、虚拟点音源 P_{Yi} 的示意图。

[0057] 会聚点 P_{Fi} 被配置在超声波换能器 110 的前方(检查对象物 20 一侧),是从属于发送压电元件组 112 的压电元件 111 发送的超声波的合成波会聚的点。即,合成波是会聚于一个会聚点的会聚波,该会聚点对应于虚拟发送点 P_i 。通过了会聚点 P_{Fi} 的超声波直接在声音传播介质 40 内传播。此时,从超声波换能器 110 发送的超声波的合成波,能够作为与从会聚点 P_{Fi} 发送的超声波实质相同的波来进行处理。

[0058] 虚拟点音源 PY_i 被配置在超声波换能器 110 的后方（检查对象物 20 的相反侧）。当从属于发送压电元件组 112 的压电元件 111 发送的超声波的合成波，与从一点 PY_i 发送的超声波对应时，该点 PY_i 成为虚拟点音源 PY_i 。即，合成波是从虚拟的一个发散点（虚拟点音源 PY_i ）发散的波，该发散点对应于虚拟发送点 P_i 。此时，从超声波换能器 110 发送的超声波的合成波，能够作为与从虚拟点音源 PY_i 发送的超声波实质相同的波进行处理。

[0059] 这样，可以使从超声波换能器 110 发送的超声波的合成波，与来自虚拟发送点 P_i （会聚点 PF_i 、虚拟点音源 PY_i ）的超声波对应。由此，能够控制属于发送压电元件组 112 的压电元件 111 各自的发送定时。这里，作为压电元件 111(k)，通过索引（添 λ 字）k 来识别每一个压电元件 111。

[0060] 为了在会聚点 PF_i 处在时刻 t_0 发送超声波，在比时刻 t_0 靠前的时刻 ($t_0 - \Delta t_1(k)$) 由每一个压电元件 111(k) 发送超声波。此时，可以根据从每个压电元件 111(k) 到会聚点 PF_i 的距离 $Li(k)$ ，来控制每个压电元件 111(k) 的发送的超前时间 $\Delta t_1(k)$ 。

$$[0061] \quad \Delta t_1(k) = Li(k)/v \quad \dots\dots\text{式 (1)}$$

[0062] v : 超声波在声音传播介质 40 内的传播速度

[0063] 另一方面，为了在虚拟点音源 PY_i 处在时刻 t_0 发送超声波，在比时刻 t_0 靠后的时刻 ($t_0 + \Delta t_2(k)$) 由每一个压电元件 111(k) 发送超声波。此时，可根据从每一个压电元件 111(k) 到虚拟点音源 PY_i 的距离 $Li(k)$ ，来控制每个压电元件 111(k) 的发送的延迟时间 $\Delta t_2(k)$ 。

$$[0064] \quad \Delta t_2(k) = Li(k)/v \quad \dots\dots\text{式 (2)}$$

[0065] v : 超声波在声音传播介质 40 内的传播速度

[0066] 如上所述，通过错开每个压电元件 111(k) 的超声波的发送定时，可以生成与从虚拟发送点 P_i 发送的超声波对应的合成波。该情况下，理想的状况是该合成波成为以虚拟发送点 P_i 为中心的球面波的一部分。不过，该合成波也可以不是完整的球面波。如上所述，检查对象物 20 的图像以成像网目 31 为单位生成（成像网目 31 程度的分辨能力（分解能））。因此，容许成像网目 31 程度的波阵面偏差。虚拟发送点 P_i 自身也不需要是完整的点，容许某种程度（例如成像网目 31 程度）的扩展（区域）。

[0067] 这里，优选使用多个虚拟发送点 P_i 来生成检查对象物 20 的图像。由此，可提高图像的分辨能力。

[0068] 图 3 是表示多个虚拟发送点 P_i 的例子示意图。虚拟发送点 P_i （虚拟点音源 PY_i ）被配置在与超声波换能器 110 平行的平面 S（X-Y 平面）上。这里，配置虚拟发送点 P_i 的面 S 位于超声波换能器 110 的后方（检查对象物 20 的相反侧）。也可以与之相对地，使配置虚拟发送点 P_i 的面 S 位于超声波换能器 110 的前方（检查对象物 20 一侧）。另外，可以使配置虚拟发送点 P_i 的面 S 成为曲面。

[0069] 这里，考虑使虚拟发送点 P_i 与超声波换能器 110 的距离发生变化的情况。当如图 2A、图 2B 所示那样，减小虚拟发送点 P_i 与超声波换能器 110 的距离时，可以向检查对象物 20 照射宽指向角的超声波。尤其在将虚拟发送点 P_i 设为虚拟点音源 PY_i 时，虚拟发送点 P_i 与检查对象物 20 的距离增大，可向检查对象物 20 的更宽广范围照射超声波，使得可视化变容易。

[0070] 另一方面,若增大虚拟发送点 P_i 与超声波换能器 110 的距离,则可以向检查对象物照射狭指向角的超声波。尤其通过将虚拟发送点 P_i 设为会聚点 P_{Fi} ,将会聚点 P_{Fi} 设置到检查对象物 20 的附近或其内部,容易以高分辨能力使特定的部位可视化。

[0071] 如上所述,通过适当改变虚拟发送点 P_i 与超声波换能器 110 的距离,可以调节向检查对象物 20 照射的超声波的指向性的宽狭。结果,能够有效地使检查对象物 20 整体或其一部分可视化。

[0072] 这里,考虑到存在这样的情况,即,对应于虚拟发送点 P_i ,使由发送切换电路 121 选择的压电元件 111(发送压电元件组 112)发生变化的情况。例如存在对应于图 3 中的虚拟发送点 P_i 来选择接近虚拟发送点 P_i 的发送压电元件组 112(i)的情况。这样,通过选择接近虚拟发送点 P_i 的发送压电元件组 112(i),能够有效地使用比较少的压电元件 111,生成虚拟发送点 P_i 。在该例子中,发送压电元件组 112(i)的一部分会发生重叠。发送压电元件组 112(i)也可以不发生重叠。

[0073] 这里,还能够不对应于虚拟发送点 P_i 变更发送压电元件组 112。例如,可以使用所有的压电元件 111,生成不同的虚拟发送点 P_i ,来改变发送超声波的方向。通过使用多个压电元件 111,能够实现来自虚拟发送点 P_i 的高精度且强力的超声波发送。该情况下,不需要发送切换电路 121。

[0074] 与以上的发送压电元件组 112 相关的讨论,在某种程度上还适用于接收压电元件组 113。即,可以考虑对应于虚拟发送点 P_i ,来改变由接收切换电路 131 选择的压电元件 111(发送压电元件组 113)。通过对应于虚拟发送点 P_i ,选择接收压电元件组 113(i),能够有效地利用比较少的压电元件 111 来接收超声波。另一方面,还能够不对应于虚拟发送点 P_i 来变更接收压电元件组 113。例如,可以使用所有的压电元件 111 来接收超声波回波。通过使用多个压电元件 111,能够从检查对象物 20 接收高精度的超声波。该情况下,不需要接收切换电路 131。

[0075] 如上所述,在图 1 中,利用发送切换电路 121 选择了发送压电元件组 112 的共计 16 个压电元件 111。该情况下,从发送部 122 输出 16 个脉冲状或连续波的电压信号。这里,从发送部 122 发送的电压信号的发送定时由发送控制部 123 控制。结果,发送压电元件组 112 的各个发送超声波的合成波,与从虚拟发送点 P_i 发送的超声波的波阵面对应。

[0076] 这里,从发送部 122 输出的脉冲状或连续波的电压信号可以全都是同一形状(同一电压)。为了使从发送点 P 发送的超声波的波阵面接近于球面波(减小方向依赖性),优选根据虚拟发送点 P_i 与压电元件 111(k) 的距离 $L(k)$,使压电元件 111(k) 的超声波的发送强度不同。但是,由于即便使压电元件 111(k) 的发送强度不同,方向依赖性也不会大幅改变,所以,可以使来自各个压电元件 111(k) 的超声波的发送强度相同。

[0077] 这样发送的超声波,作为从虚拟发送点 P_i 发送的扩散波 W_i 进行传播,在检查对象物 20 的表面 22 上发生了折射之后,在检查对象物 20 内传播。进而,该超声波被缺陷 21 反射,由超声波换能器 110 内的压电元件 111 接收。即,通过由接收切换电路 131 选择的接收压电元件组 113 内的压电元件 111 接收到的超声波回波,被 16 个电路的放大器 132 同时放大,进而在由 16 个电路的 A/D 转换器 133 同时转换成数字信号之后,被读入到信号处理部 140。

[0078] 反复进行以上的处理步骤。即,每当利用发送切换电路 121 进行了选择切换时,便

反复执行通过变更发送部 122 的输出电压信号的发送定时而实现的虚拟发送点 P_i 的位置变更。由此,从多个虚拟发送点 P_i 发送超声波 W_i ,并被缺陷 21 反射,由信号处理部 140 收集该被反射的超声波回波的数字信号。

[0079] (孔径合成处理的详细内容)

[0080] 下面,对信号处理部 140 执行的孔径合成处理的详细内容进行说明。

[0081] 在信号处理部 140 中,通过对以数字方式收集到的超声波回波进行孔径合成,从而生成成像范围 30 内的超声波图像。即,对成像范围 30 内的成像网目 31 分配了以数字方式收集到的超声波回波的数据。

[0082] 这里,考虑从虚拟发送点 P_i 虚拟发送的超声波 W_i 被缺陷 21 反射,作为超声波回波 W_j ,由接收压电元件组 113 内的压电元件 111(j) 接收的情况。

[0083] 图 4 是表示图像合成处理的步骤的示意图。信号处理部 140 存储发送时间表组 T 及接收时间表组 R。

[0084] 发送时间表组 T 包含对与虚拟发送点 P_i 及所有的成像网目 31(i_x, i_y, i_z) 对应的发送超声波传播时间 $t_i(i_x, i_y, i_z)$ 进行表示的发送时间表 T_i 。接收时间表组 R 包含对被所有的成像网目 31(i_x, i_y, i_z) 反射、并由压电元件 111(j) 接收为止的接收超声波传播时间 $r_j(i_x, i_y, i_z)$ 进行表示的接收时间表 R_j 。

[0085] 发送超声波传播时间 $t_i(i_x, i_y, i_z)$ 表示从虚拟发送点 P_i 向成像范围 30 内的成像网目 31(i_x, i_y, i_z) 传播的超声波传播时间。接收超声波传播时间 $r_j(i_x, i_y, i_z)$ 表示从成像范围 30 内的成像网目 31(i_x, i_y, i_z) 到压电元件 111(j) 为止的超声波传播时间。

[0086] 大致而言,发送超声波传播时间 t_i 、接收超声波传播时间 r_j 分别由从虚拟发送点 P_i 到成像网目 31(i_x, i_y, i_z) 的距离 $L_1(i_x, i_y, i_z)$ 、从成像网目 31(i_x, i_y, i_z) 到压电元件 111(j) 的距离 $L_2(i_x, i_y, i_z)$ 规定。通过将这些距离 L_1 、 L_2 除以超声波的速度,可以近似计算出发送超声波传播时间 t_i 、接收超声波传播时间 r_j 。

[0087] 如上所述,超声波在检查对象物 20 的表面 22 发生折射。因此,为了准确地求出发送超声波传播时间 t_i 、接收超声波传播时间 r_j ,需要预先求出检查对象物 20 的外形。若判断检查对象物 20 的外形,则可以考虑斯涅耳定律来计算出发送超声波传播时间 t_i 、接收超声波传播时间 r_j 。在该计算中可以利用各种数值模拟(simulation)。

[0088] 另外,在不判定检查对象物 20 的外形的情况下,也可以使用超声波成像装置 100 对检查对象物 20 的外形的成像结果,来求出检查对象物 20 的外形。

[0089] 图 4 中的图像合成的处理步骤表示了对来自虚拟发送点 P_i 的超声波被压电元件 111(j) 接收后的接收波形数据 $D_{ij}(t)$ 进行处理的情况。

[0090] (1) 总传播时间 t_{ij} 的计算

[0091] 计算出从超声波换能器 110 发送的超声波被压电元件 111(j) 接收到的时间(总传播时间) t_{ij} 。

[0092] 通过将发送超声波传播时间 t_i 、接收超声波传播时间 r_j 和补偿时间 T_{0i} 相加,计算出总传播时间 t_{ij} 。

[0093] $t_{ij} = t_i + r_j + T_{0i}$ ……式(3)

[0094] 补偿时间 T_{0i} 是从超声波换能器 110(发送压电元件组 112) 发送的超声波到达虚拟发送点 P_i 为止的超声波传播时间。如上所述,属于发送压电元件组 112 的压电元件

111(k) 的发送定时一般不一致。只要从属于发送压电元件组 112 的压电元件 111(k) 中确定代表点（代表电压元件），并以该代表的压电元件 111(k) 为基准，规定补偿时间 T_{0i} 即可。确定代表点（代表压电元件）使其与接收波形数据 $D_{ij}(t)$ 的的时刻的基准点 0 对应。

[0095] 补偿时间 T_{0i} 的绝对值与上述的超前时间 $\Delta t_1(k)$ 、延迟时间 $\Delta t_2(k)$ 对应。在虚拟发送点 P_i 是会聚点 P_{Fi} 的情况下，补偿时间 T_{0i} 具有正的值。与之相对，在虚拟发送点 P_i 是虚拟点音源 P_{Yi} 的情况下，补偿时间 T_{0i} 具有负的值。

[0096] 可以如上所述那样，针对所有的成像网目 $31(ix, iy, iz)$ 计算出总传播时间 t_{ij} 。

[0097] 这里，可以对计算出总传播时间 t_{ij} 的成像网目 $31(ix, iy, iz)$ 的范围进行限制。

[0098] 在图 4 中的发送时间表 T_i 、接收时间表 R_j 中，作为成像（孔径合成）的有效区域，设定了发送区域 L_{ti} 、接收区域 L_{rj} 。在该有效区域中限制了总传播时间 t_{ij} 的计算范围（孔径合成处理的范围）。通过限制计算范围，可实现处理的高速化及高精度化。

[0099] 发送区域 L_{ti} 根据虚拟发送点 P_i 的位置、及从虚拟发送点 P_i 发送的超声波的轮廓（指向性）而设定。由于从虚拟发送点 P_i 发送的超声波具有某种程度的指向性，所以，可以根据虚拟发送点 P_i ，规定成像范围 30 中的超声波的强度分布。事实上可以忽视来自虚拟发送点 P_i 的超声波的强度弱的、来在成像网目 31 的超声波回波 W_j 。在忽视的情况下，后述的接收波形数据 $D_{ij}(t)$ 分配的精度会提高。

[0100] 接收区域 L_{rj} 根据接收用压电元件 111(j) 的位置及接收轮廓（指向性）而设定。压电元件 111(j) 具有来自正面方向的超声波的接收灵敏度高、来自斜向的超声波的接收灵敏度低的倾向。因此，根据与接收用压电元件 111(j) 的关系，事实上可以忽视来自位于灵敏度低的方向的成像网目 31 的超声波回波 W_j 。在忽视的情况下，后述的接收波形数据 $D_{ij}(t)$ 分配的精度会提高。另外，接收的指向性的宽窄与压电元件 111 的尺寸对应。压电元件 111 的尺寸越大，越成为宽指向性，尺寸越小，越成为狭指向性。

[0101] 通过上述处理，在图像合成的处理步骤中，可以将图像合成处理只限制在发送区域 L_{ti} 和接收区域 L_{rj} 的重复部 O_{ij} ，而回避限制区域以外的图像合成步骤。结果，不仅可以降低图像合成处理的负担、实现高速化，而且通过降低多余的图像合成噪声，能够实现高精度化。

[0102] (2) 接收波形数据 $D_{ij}(t)$ 的采样数据的延迟时间的检测

[0103] 检测接收波形数据 $D_{ij}(t)$ 上的采样数据 $A_1 \cdots A_n$ 。并且，检测出从超声波的发送到这些采样数据 A_n 的延迟时间 t_n 。这些采样数据 A_n 与从成像网目 $31(ix, iy, iz)$ 的任意一个反射的超声波回波 W_j 对应。如上所述，采样数据 A_n 由 A/D 转换器 133 生成，通过例如以规定时间间隔对接收波形数据 $D_{ij}(t)$ （超声波回波）进行采样而获得。

[0104] (3) 数据向成像网目 31 的分配

[0105] 可以根据总传播时间 t_{ij} ，对成像网目 $31(ix, iy, iz)$ 分配接收波形数据 $D_{ij}(t)$ 。

[0106] 即，通过求出与延迟时间 t_n 对应的总传播时间 t_{ij} ，可以检测出该采样数据 A_n 与哪个成像网目 $31(ix, iy, iz)$ 对应。并对检测出的成像网目 $31(ix, iy, iz)$ 分配值。例如，按照下述公式那样赋予采样数据的值 A_n 。

[0107] $I(ix, iy, iz) = I(ix, iy, iz) + A_n \cdots \cdots$ 式 (4)

[0108] 这里，图像数据 $I(ix, iy, iz)$ 表示来自成像网目 $31(ix, iy, iz)$ 的超声波回波 W_j 的强度的累计值（稜算值）。即，图像数据 I 表示三维下的超声波回波 W_j 的强度分布。

[0109] 这里,与延迟时间 t_n 对应的总传播时间 t_{ij} (成像网目 31(i_x, i_y, i_z)) 一般存在多个。该情况下,将与一个采样数据 A_n 对应的值分配给多个成像网目 31(i_x, i_y, i_z)。例如,将除以了所述多个成像网目 31 的个数 m 而得到的量 A_n/m , 分配给各个成像网目 31 ($I = I + A_n/m$)。该分配成为噪声的原因。但是,通过叠加多个数据,事实上能够消除噪声成分。

[0110] 如上所述,可以将计算出总传播时间 t_{ij} 的成像网目 31 限制在范围 O_{ij} 中。由此,限制了向多个成像网目 31 分配无用的值,可降低多余的图像合成噪声。

[0111] 通过对虚拟发送点 P_i 和压电元件 111(j) 反复进行该 (2)、(3) 的步骤,可以生成检查对象物 20 整体的三维图像(孔径合成处理)。

[0112] (4) 图像的显示

[0113] 通过对应于该图像数据 I 来改变显示部 150 上的亮度,可以在显示部 150 上显示检查对象物 20 的表面 22、缺陷 21 的图像。

[0114] (异常区域的检测)

[0115] 下面,说明判定部 160 对异常区域的检测。

[0116] 这里,说明对具有厚度为 D 的分布的检查对象物 20a 中的异常区域 H_p 进行检测的步骤。图 5 是表示检查对象物 20a 的示意图。成像范围 30a 被设定成包括检查对象物 20a 的底面部或边界部。

[0117] 图 6 是表示异常区域的检测步骤的一个例子的示意图。该示意图包括底面深度分布 $D(i_x, i_y)$ 、深度衰减特性 $G(D)$ 、判定表 $Th(i_x, i_y)$ 、强度分布 $P(i_x, i_y)$ 、判定图像数据 $J(i_x, i_y)$ 。图 7 是表示与底面深度分布 $D(i_x, i_y)$ 、深度衰减特性 $G(D)$ 、判定表 $Th(i_x, i_y)$ 、强度分布 $P(i_x, i_y)$ 、判定图像数据 $J(i_x, i_y)$ 各自对应的曲线图 $D(x)$ 、 $Th(x)$ 、 $P(x)$ 、 $J(x)$ 的图。这些曲线表示底面深度分布 $D(i_x, i_y)$ 等在 x 轴方向(图 6 的 x_1-x_2) 的变化。

[0118] (1) 检查对象物 20a 的底面部或边界部的深度 d 的计测

[0119] 通过在成像范围 30 中,检测出深度方向的图像数据 I 的峰值位置,可以计测检查对象物 20 的底面部或边界部的深度 D (参照图 6(A) 及图 7(A))。具体而言,使图像数据 $I(i_x, i_y, i_z)$ 中的索引 i_x, i_y 一定,让索引 i_z 变化,来求出图像数据 I 为极大的 i_z 。

[0120] 在图 5 中,成像范围 30a 中只包含检查对象物 20a 的底面(不包含上面)。该情况下,可认为图像数据 $I(i_x, i_y, i_z)$ 在深度方向的最大峰值与检查对象物 20a 的底面对应。

[0121] 与之相对,在成像范围 30a 中包含检查对象物 20a 的上面和底面双方的情况下,出现与上面和底面分别对应的峰值(图像数据 I 的极大点 i_z 存在多个)。该情况下,可以根据图像数据 I 的峰值及此时的 i_z (深度),检测出与底面部对应的峰值。由于来自检查对象物 20a 的表面及底面的超声波回波一般很大,所以,大的两个峰值中的较深的是与底面部对应的峰值。

[0122] 这样,针对 (i_x, i_y) ,可以计测检查对象物 20 的底面部的深度 D 、即深度分布 $D(D(i_x, i_y), D(x))$ 。

[0123] (2) 判定表 Th 的生成

[0124] 根据底面深度分布 $D(i_x, i_y)$ 和通常化后的深度衰减特性 $G(D)$ (图 6(B)),对应深度生成判定表 $Th(i_x, i_y)$ (图 6(C)、图 7(B))。

[0125] 判定表 $Th(i_x, i_y)$ 表示用于对异常区域的有无进行判定的基准强度 Th 的分布。如后所述,如果强度分布 $P(i_x, i_y)$ 中的强度 P 比判定表 $Th(i_x, i_y)$ 中的基准强度 Th 大,则

被判定为异常区域。

[0126] 深度衰减特性 $G(D)$ 表示深度 D 与超声波的衰减量 G 的关系。深度 D 越大, 超声波的衰减量 $G(D)$ 越大, 超声波回波的强度越小。因此, 通过将深度衰减特性 $F(D)$ 代入到底面深度分布 $D(ix, iy)$ 中, 可以求出衰减量分布 $G(ix, iy)$ 。可根据该衰减量分布 $G(ix, iy)$, 生成判定表 $Th(ix, iy)$ 。

[0127] (3) 强度分布 $P(ix, iy)$ 的计测

[0128] 通过在成像范围 30a 中检测深度方向的数据的峰值电平, 来计测底面部或边界部处的反射强度, 并根据其结果生成强度分布 $P(ix, iy)$ (图 6(D)、图 7(B))。

[0129] 强度分布 $P(ix, iy)$ 可以采用在深度 D (与 D 对应的 iz) 中对成像网目 $31(ix, iy, iz)$ 分配的值 $I(ix, iy, iz)$ 。

[0130] (4) 异常区域 H_p 的检测

[0131] 通过将该强度分布 $P(ix, iy)$ 与判定表 $Th(ix, iy)$ 比较, 来显示判定图像 $J(ix, iy)$, 可以根据其结果检测出异常区域 H_p 。如图 7 所示, 由于在 $X3, X4$ 的范围中, 强度 $P(ix, iy)$ 比判定值 $Th(ix, iy)$ 大, 所以, 可判定为该范围是异常区域 H_p 。

[0132] 当在检查对象物 20a 内存在超声波的衰减少的区域时, 在该区域通过的超声波经过检查对象物 20a 的底面部或边界部时的反射强度增大。即, 该超声波的衰减少的区域对应于异常区域 H_p 。

[0133] 如果在该异常区域 H_p 的边界超声波被反射, 则与该边界对应会出现接收波形数据 $Di_j(t)$ 的峰值, 从而检测出异常区域 H_p 。但是, 如果异常区域 H_p 的边界处的超声波的反射强度小, 则难以使用接收波形数据 $Di_j(t)$ 的峰值检测出异常区域 H_p 。

[0134] 对此, 通过本实施方式, 即使在来自异常区域 H_p 的边界的反射弱的情况 (或不具有明确的边界的情况) 下, 也能够根据来自检查对象物 20a 的底面等的反射强度, 检测出异常区域 H_p (超声波的衰减少的区域)。

[0135] 判定图像 $J(ix, iy)$ 可以利用在强度分布 $P(ix, iy)$ 中将强度 P 小于判定值 Th 的范围设为“0”的强度分布。

[0136] 如上所述, 根据本实施方式, 通过对超声波换能器 110 内的多个压电元件 111 的发送定时进行控制, 能够在以电子方式控制发送超声波的扩散与会聚的同时, 扫描发送波束。作为扫描的结果, 为了根据接收到的多个超声波回波数据进行三维成像, 使用事先计算出的发送时间表 T 和接收时间表 R 中存储的超声波传播时间。另外, 通过将超声波的收发指向性反映到发送时间表 T 、接收时间表 R 中, 可以实现高速、高精度地合成、显示三维图像的三维超声波图像。

[0137] (其他的实施方式)

[0138] 本发明的实施方式不限于上述的实施方式, 可以进行扩展、变更, 扩展、变更得到的实施方式也包含在本发明的技术范围内。

[0139] 在上述实施方式中, 将压电元件 111 配置成矩阵状。对此, 也能够将压电元件配置成线状 (一列)。例如, 在检查对象物 20 在纵深方向 (Y 方向) 较薄的情况可以考虑这种方式。这样的情况下, 只要将压电元件 111 在 X 方向配置成线状, 能够生成 $X-Z$ 方向的平面图像即可。此时, 通过将虚拟发送点 P_i 在 X 方向配置成线状, 并进行孔径合成, 能够生成 $X-Z$ 方向的平面图像。

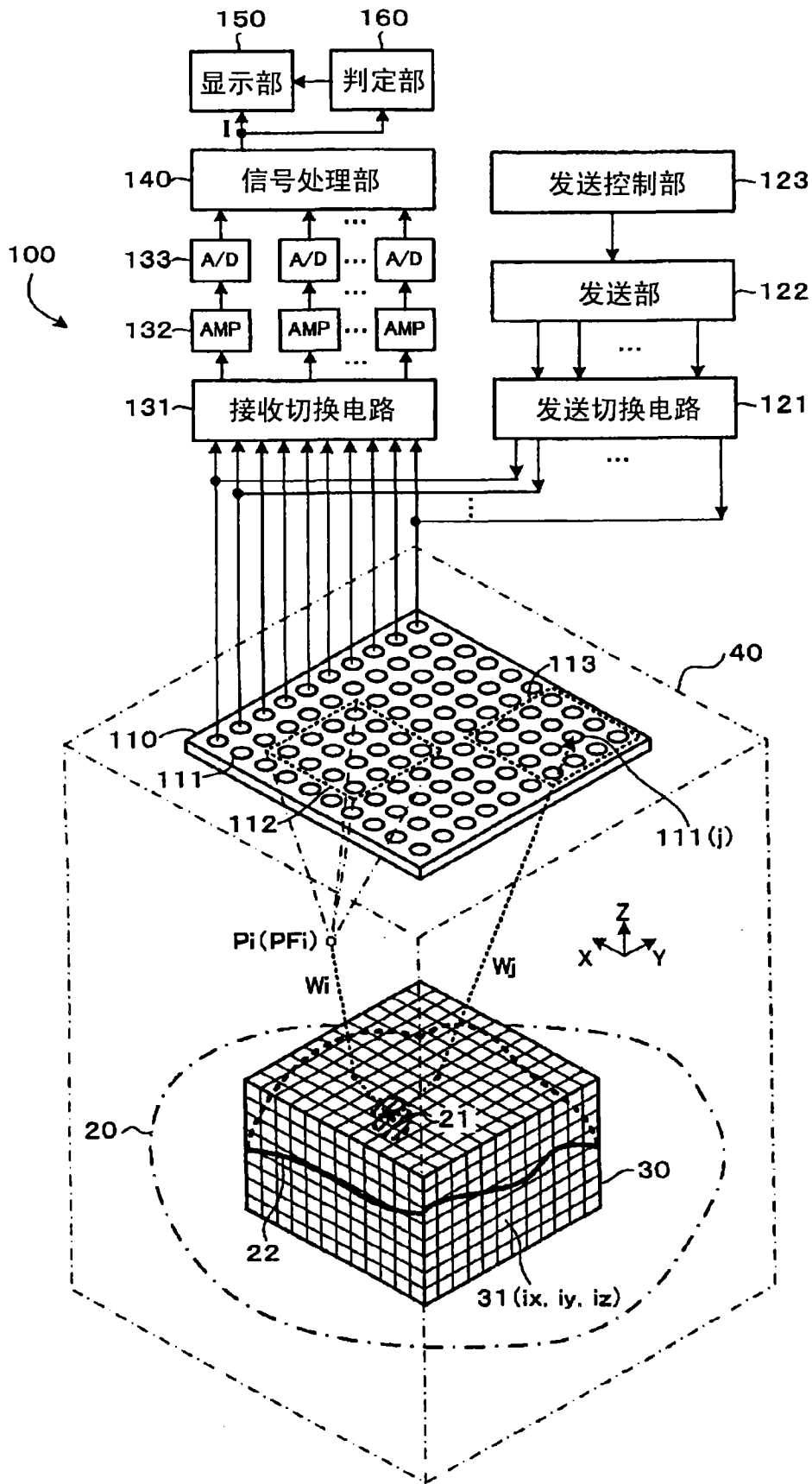


图 1

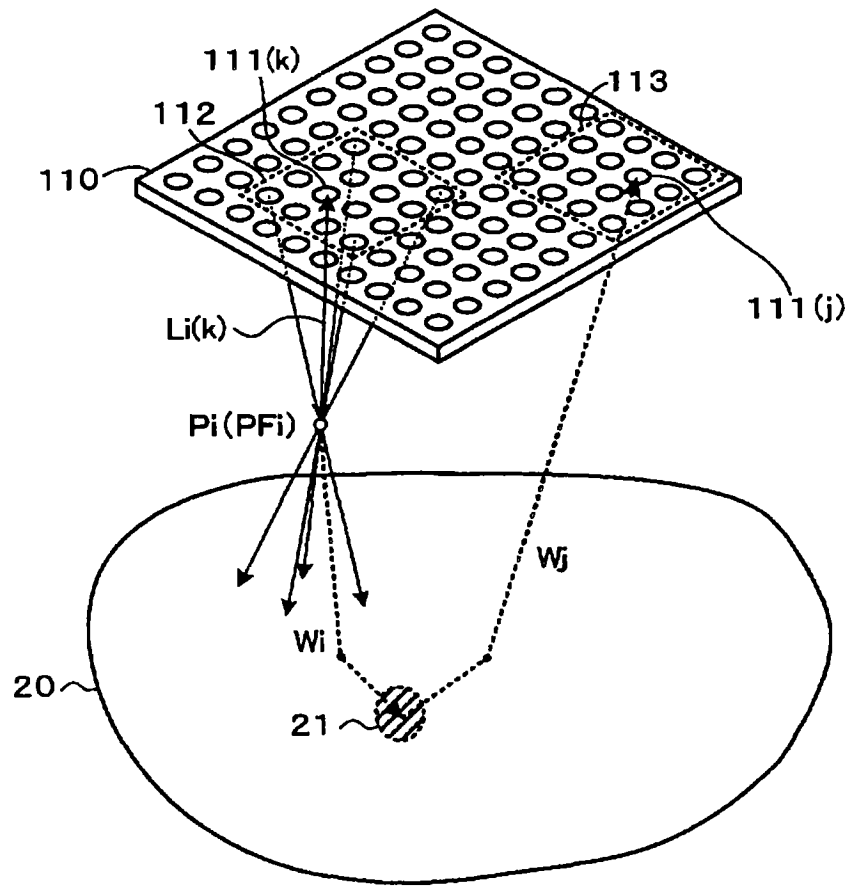


图 2A

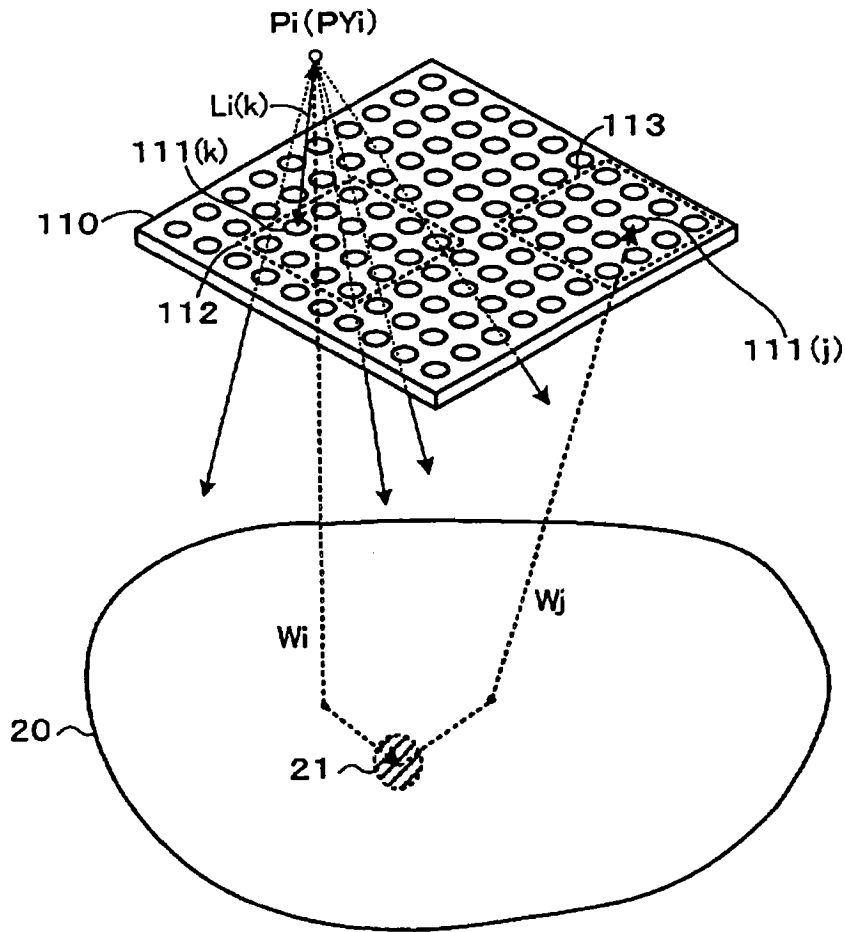


图 2B

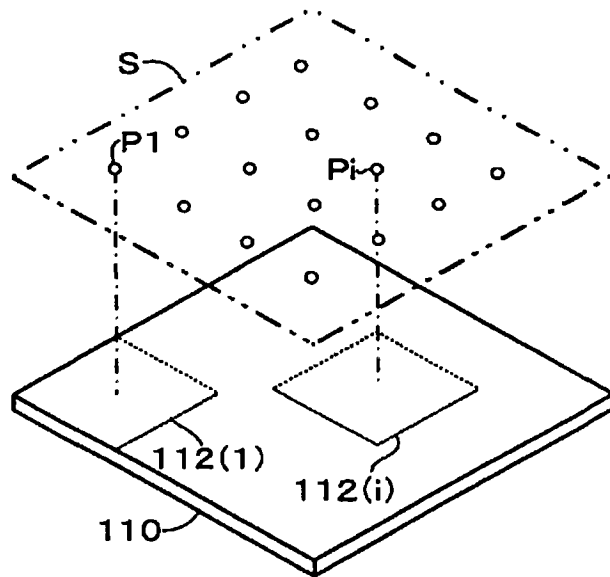


图 3

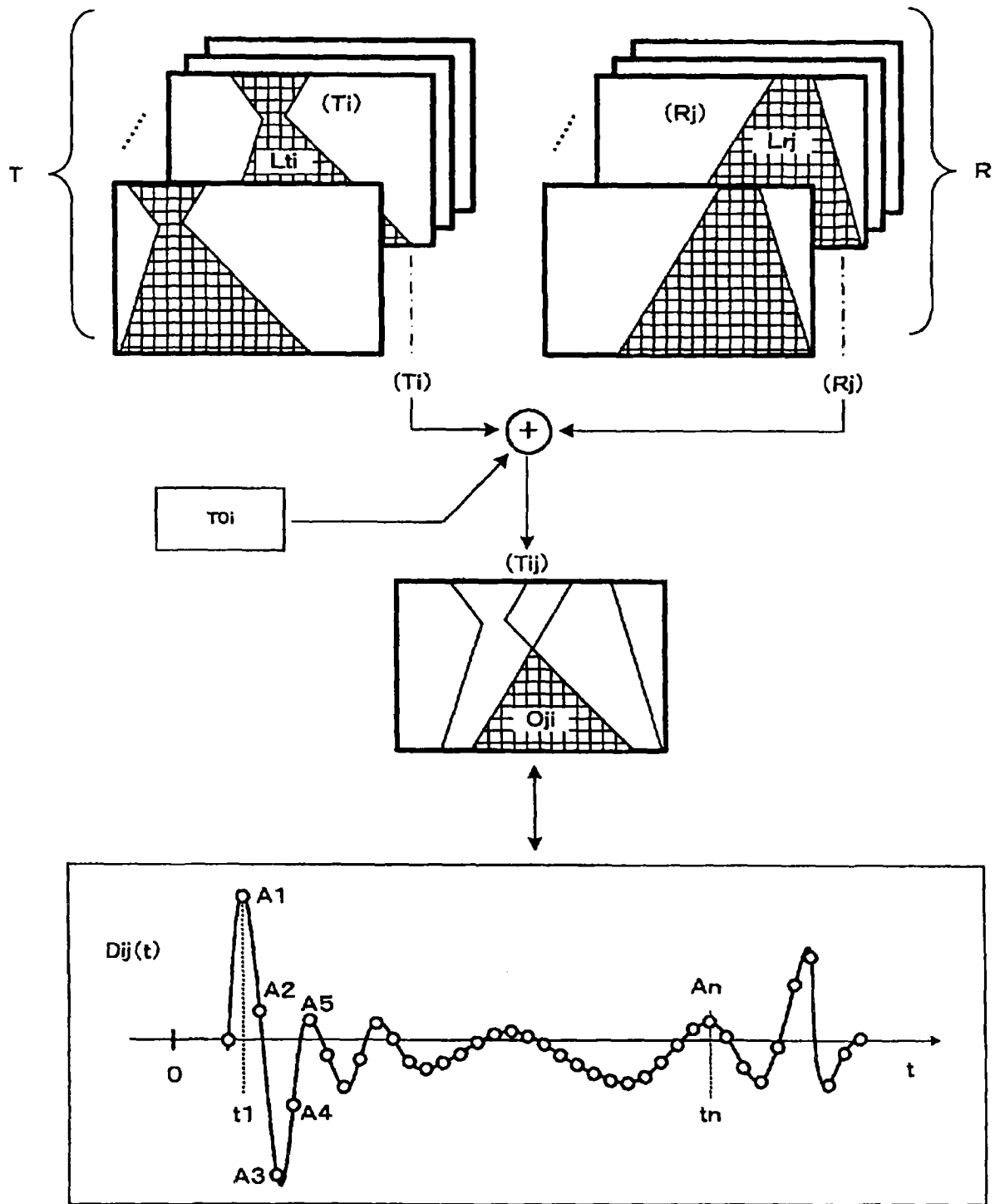


图 4

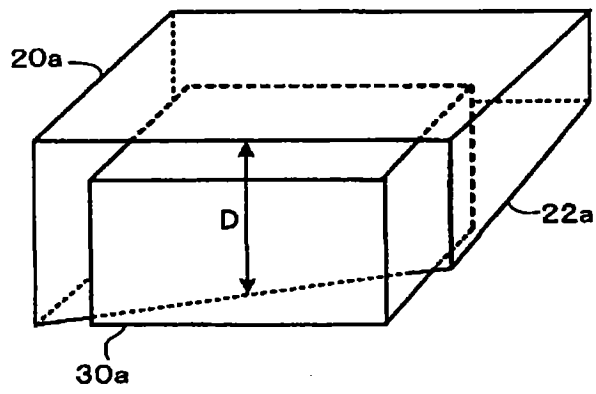


图 5

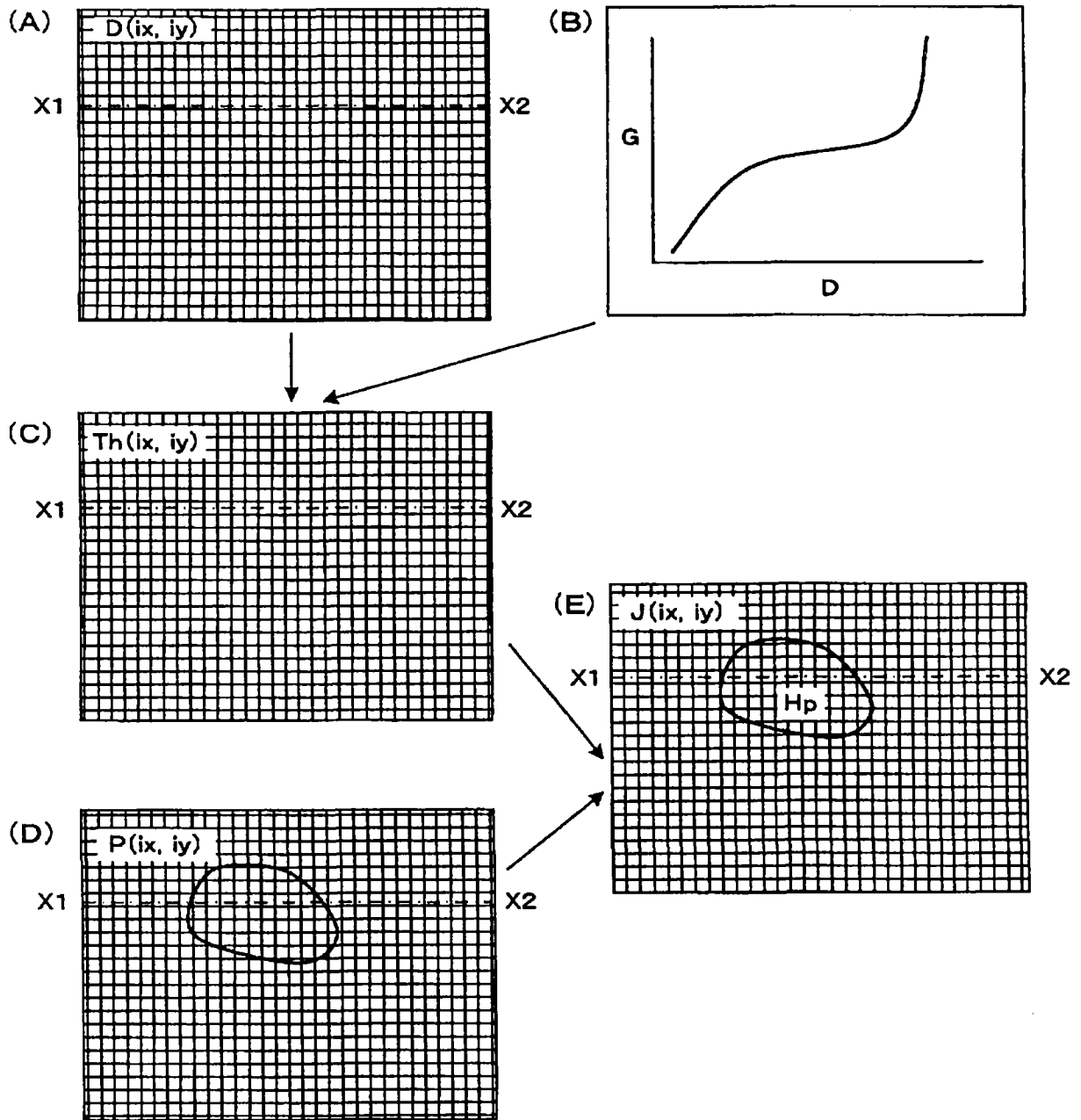


图 6

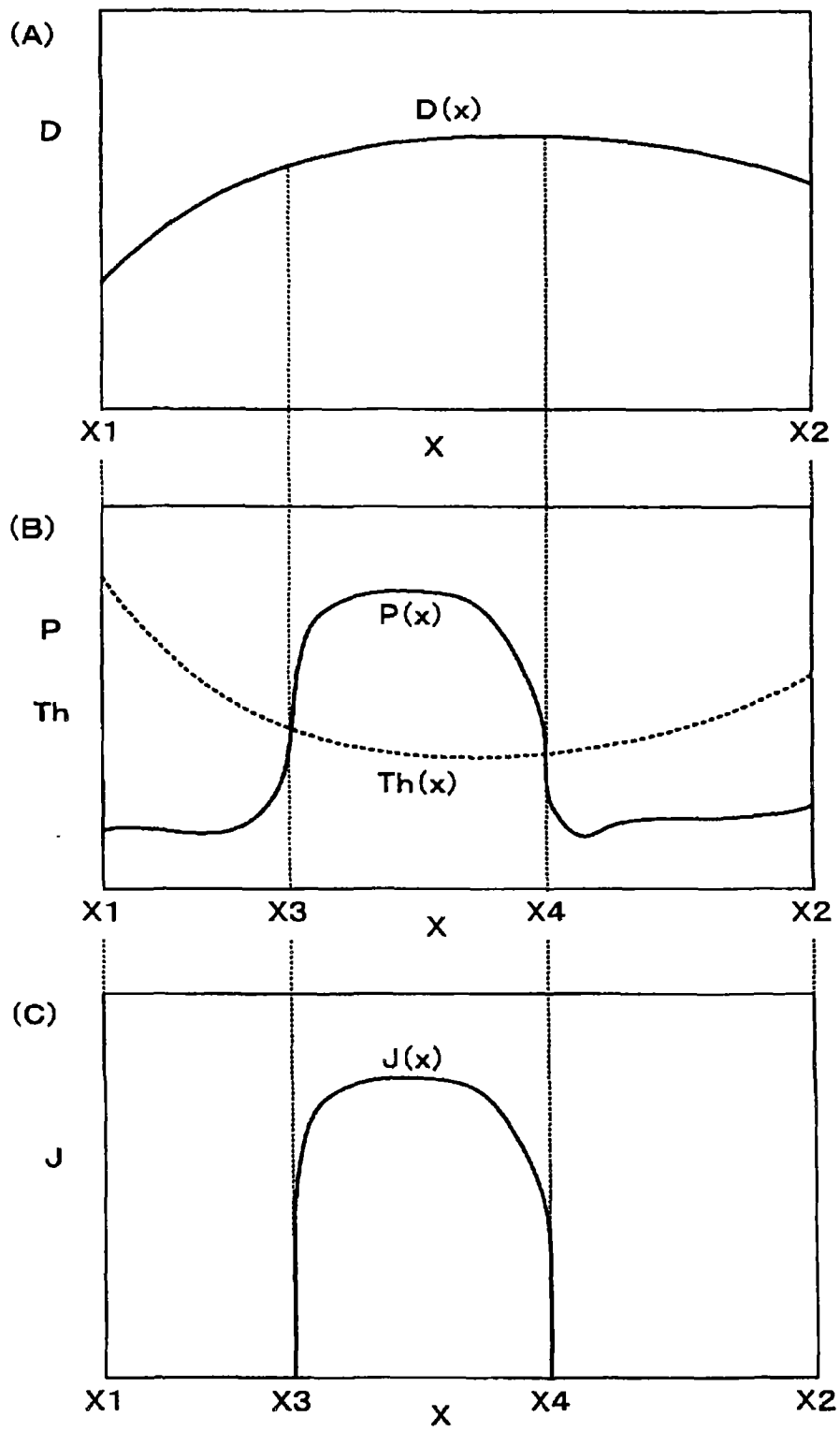


图 7