



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104248452 B

(45)授权公告日 2016.12.07

(21)申请号 201410293293.7

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2014.06.26

A61B 8/00(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

A61B 5/00(2006.01)

申请公布号 CN 104248452 A

审查员 郑亮

(43)申请公布日 2014.12.31

(30)优先权数据

2013-133533 2013.06.26 JP

(73)专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72)发明人 三桥贤司

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 郑宗玉

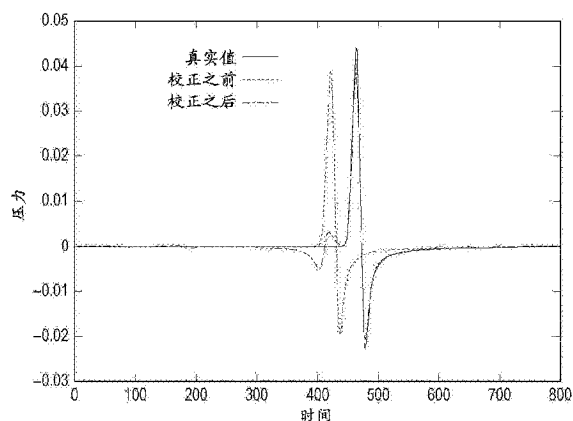
权利要求书3页 说明书14页 附图8页

(54)发明名称

对象信息获得系统和信号处理方法

(57)摘要

本发明涉及一种对象信息获得系统、信号处理方法和非暂态存储介质。本文中所公开的对象信息获得系统包括：保持构件，保持对象；探头，在多个位置处检测声波，并且获得多个时序检测信号，声波在对象内部发生，并且通过保持构件传播；以及信号处理器，基于多个时序检测信号获得第一频率信号，通过对第一频率信号执行由于保持构件而导致的声波的相位调制的校正来获得相位调制被校正的第二频率信号，并且基于相位调制被校正的第二频率信号来获得对象内部的对象信息。



1. 一种对象信息获得系统,包括:

保持构件,所述保持构件被配置为保持对象;

探头,所述探头被配置为在多个位置处检测声波,并且输出多个时序检测信号,所述声波在所述对象的内部发生,并且通过保持构件传播;和

信号处理器,所述信号处理器被配置为基于所述多个时序检测信号获得第一频率信号,被配置为通过对第一频率信号执行由于保持构件而导致的声波的相位调制的校正来获得相位调制被校正的第二频率信号,并且被配置为基于相位调制被校正的第二频率信号来获得所述对象内部的对象信息。

2. 根据权利要求1所述的对象信息获得系统,其中,所述信号处理器被配置为通过将第一频率信号乘以包括表示相位调制的相位因子的复数来获得相位调制被校正的第二频率信号。

3. 根据权利要求2所述的对象信息获得系统,其中,所述信号处理器被配置为基于所述对象内部的声速、保持构件内部的声速以及保持构件的厚度来获得表示相位调制的相位因子。

4. 根据权利要求2所述的对象信息获得系统,

其中,所述信号处理器包括存储有多个相位因子的存储器单元,并且

其中,从存储器单元选择表示相位调制的相位因子。

5. 根据权利要求1所述的对象信息获得系统,

其中,所述信号处理器被配置为通过对第二频率信号执行由于保持构件而导致的声波的波数调制的校正来获得波数调制被校正的第三频率信号,并且

其中,所述信号处理器被配置为基于第三频率信号来获得所述对象信息。

6. 根据权利要求5所述的对象信息获得系统,其中,所述信号处理器被配置为基于探头的检测表面与保持构件之间形成的角度来执行波数调制的校正。

7. 根据权利要求5所述的对象信息获得系统,其中,所述信号处理器被配置为:通过使用第二频率信号作为与在声波通过保持构件传播之前的声波的波数对应的频率信号执行波数调制的校正,获得波数调制被校正的第三频率信号。

8. 一种对象信息获得系统,包括:

探头,所述探头被配置为在多个位置处检测声波,并且输出多个时序检测信号,所述声波在对象的内部发生;和

信号处理器,所述信号处理器被配置为基于所述多个时序检测信号获得第一频率信号,被配置为通过对第一频率信号执行由于声波的传播路径中的声速分布而导致的声波的相位调制的校正来获得相位调制被校正的第二频率信号,并且被配置为基于相位调制被校正的第二频率信号来获得所述对象内部的对象信息。

9. 根据权利要求8所述的对象信息获得系统,

其中,所述信号处理器被配置为通过对第二频率信号执行由于所述声速分布而导致的声波的波数调制的校正来获得波数调制被校正的第三频率信号,并且

其中,所述信号处理器被配置为基于第三频率信号来获得所述对象信息。

10. 根据权利要求8所述的对象信息获得系统,其中,所述信号处理器被配置为基于所述对象内部的结构信息来获得声速分布。

11. 根据权利要求1所述的对象信息获得系统, 其中, 所述信号处理器被配置为通过的时间方向和空间方向上对所述多个时序检测信号执行傅立叶变换来获得第一频率信号。

12. 根据权利要求1所述的对象信息获得系统,

其中, 所述信号处理器被配置为通过对相位调制被校正的第二频率信号执行逆傅立叶变换来获得相位调制被校正的多个时序检测信号, 并且

其中, 所述信号处理器被配置为基于相位调制被校正的所述多个时序检测信号来获得所述对象信息。

13. 一种对象信息获得系统, 包括:

探头, 所述探头被配置为在多个位置处检测声波, 并且输出多个时序检测信号, 所述声波在对象的内部发生; 和

信号处理器, 所述信号处理器被配置为基于所述多个时序检测信号获得第一频率信号, 被配置为通过对第一频率信号执行由于声波的传播路径中的声速分布而导致的声波的波数调制的校正来获得波数调制被校正的第三频率信号, 并且被配置为基于波数调制被校正的第三频率信号来获得所述对象内部的对象信息。

14. 一种用于对信号进行处理以基于通过在多个位置处检测在对象内部发生的声波而获得的多个时序检测信号来获得所述对象内部的对象信息的方法, 所述方法包括以下步骤:

基于所述多个时序检测信号获得第一频率信号;

通过对第一频率信号执行由于声波的传播路径中的声速分布而导致的声波的相位调制的校正来获得相位调制被校正的第二频率信号; 和

基于相位调制被校正的第二频率信号来获得所述对象内部的对象信息。

15. 一种对象信息获得系统, 包括:

信号处理器, 所述信号处理器被配置为基于通过在多个位置处检测声波而获得的多个时序检测信号来获得第一频率信号, 被配置为通过对第一频率信号执行由于声波的传播路径中的声速分布而导致的声波的相位调制的校正来获得相位调制被校正的第二频率信号, 并且被配置为基于相位调制被校正的第二频率信号来获得所述对象内部的对象信息, 所述声波在对象的内部发生。

16. 一种对象信息获得系统, 包括:

信号处理器, 所述信号处理器被配置为基于通过在多个位置处检测声波而获得的多个时序检测信号来获得第一频率信号, 被配置为通过对第一频率信号执行由于声波的传播路径中的声速分布而导致的声波的波数调制的校正来获得波数调制被校正的第三频率信号, 并且被配置为基于波数调制被校正的第三频率信号来获得所述对象内部的对象信息, 所述声波在对象的内部发生。

17. 一种用于对信号进行处理以基于通过在多个位置处检测在对象内部发生的声波而获得的多个时序检测信号来获得所述对象内部的对象信息的方法, 所述方法包括以下步骤:

基于所述多个时序检测信号获得第一频率信号;

通过对第一频率信号执行由于声波的传播路径中的声速分布而导致的声波的波数调制的校正来获得波数调制被校正的第三频率信号; 和

基于波数调制被校正的第三频率信号来获得所述对象内部的对象信息。

对象信息获得系统和信号处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种对象信息获得系统、信号处理方法和非暂态存储介质。

背景技术

[0002] 迄今为止,已经开发了作为用于通过检测声波获得对象(例如活体)内部的信息的技术的对象信息获得系统,例如光声成像装置或超声回声成像装置。

[0003] 然而,在从声波源通过介质传播到探头的声波的声速不恒定的情况下,声波发生折射。折射的声波的检测信号提供低的对象信息的定量性。当将对象信息转换为图像时,图像因此具有畸变或低对比度。

[0004] 为了最小化上述的对象信息的定量性的降低,必须最小化声速不均匀性的影响。在使用声波的成像技术中,包括以下方法作为用于减小声速不均匀性的影响的方法的例子。

[0005] 日本专利特许公开第2010-167258号公开了用于通过根据斯涅尔定律追踪声波的传播路径并且根据声波的传播距离计算到达时间来校正折射的影响的方法。

发明内容

[0006] 日本专利特许公开第2010-167258号中描述的方法涉及根据斯涅尔定律追踪已作为球面波出现的声波的多个声线的传播路径,因此需要大量计算。因此,日本专利特许公开第2010-167258号中描述的方法不适合于加速用于校正折射的影响的计算。

[0007] 鉴于上述问题而提出本发明。本发明提供一种可以以少的计算量减小声速不均匀性的影响的对象信息获得系统。

[0008] 本文中公开的对象信息获得系统包括:保持构件,保持对象;探头,在多个位置处检测声波,并且获得多个时序检测信号,所述声波已在对象内部发生,并且已通过保持构件传播;以及信号处理器,基于所述多个时序检测信号获得第一频率信号,通过对第一频率信号执行由于保持构件而导致的声波的相位调制的校正来获得相位调制被校正的第二频率信号,并且基于相位调制被校正的第二频率信号获得对象内部的对象信息。根据以下对示例性实施例的描述(参照附图),本发明的其他特征将变得清楚。

附图说明

[0009] 图1示意性地图示根据实施例的对象信息获得系统。

[0010] 图2图示根据实施例的信号处理器的细节和该信号处理器周围的组件。

[0011] 图3是根据第一实施例的用于获得对象信息的方法的流程图。

[0012] 图4图示根据第一实施例的相位调制校正。

[0013] 图5图示根据第二实施例的波数调制校正。

[0014] 图6是根据第二实施例的用于获得对象信息的方法的流程图。

[0015] 图7图示根据例子的相位调制校正的结果。

[0016] 图8A和图8B图示根据例子的相位调制校正的其他结果。

[0017] 图9A至图9G图示根据例子的相位调制校正的结果和波数调制校正的结果。

具体实施方式

[0018] 第一实施例

[0019] 第一实施例在下面参照附图详细描述作为对象信息获得系统的例子的光声系统。该光声系统是根据由于光声效应而发生的光声波的检测信号获得对象信息的系统。可根据光声波的检测信号获得的对象信息的例子包括光声波的初始声压、光声波的光能量吸收率、光声波的吸收系数、以及构成对象的物质的浓度。这里,物质的浓度的例子包括氧饱和度、氧合血红蛋白浓度、脱氧血红蛋白浓度、以及总血红蛋白浓度。总血红蛋白浓度是氧合血红蛋白浓度和脱氧血红蛋白浓度的总和。在该实施例中,对象信息不必是数值数据,而是可以是对象内部的位置的分布的信息。换句话讲,对象信息也可以包括分布信息,例如吸收系数分布或氧饱和度分布。

[0020] 本发明不仅可应用于光声系统,而且还可应用于通过检测声波的回声获得对象信息的声波回声设备。可根据声波的回声的检测信号获得的对象信息的例子包括亮度模式(B模式)图像,亮度模式图像表示声波的回声的强度的分布。另外,对象信息的例子可以包括多普勒模式图像、弹性成像图像以及散斑图数据,其中,多普勒模式图像表示对象中的结构的速率分布,弹性成像图像表示对象的结构中的弹性分布(畸变因子、畸变波速或杨氏模量),散斑图数据是对象内部的声波的散射所致。

[0021] 对象信息获得系统的配置

[0022] 图1示意性地图示根据实施例的对象信息获得系统。现在,将描述该系统的组件。

[0023] 根据实施例的对象信息获得系统包括光源110、光学系统120、保持构件130、探头140、信号处理器150以及显示单元160,探头140包括多个换能器141,信号处理器150用作计算机。

[0024] 图2示意性地图示信号处理器150的细节和信号处理器150周围的组件。如图2中所示,信号处理器150包括控制器151、计算单元152和存储器单元153。

[0025] 控制器151经由总线200控制构成对象信息获得系统的组件的操作。控制器151还读取存储在存储器单元153中的描述用于获得对象信息的方法(下面将对其进行描述)的程序,以使得对象信息获得系统执行用于获得对象信息的方法。

[0026] 设置在对象100与探头140之间的保持构件130保持对象100。当光源110生成的光束经由光学系统120作为脉冲光束121投射在对象100上时,由于光声效应,在对象100内部发生声波(光声波)。探头140检测通过保持构件130传播的声波,并且获得时序电信号。信号处理器150基于这些时序电信号获得对象信息,并且使显示单元160显示该对象信息。

[0027] 在两个层(例如在其中声波以不同速率行进的对象100和保持构件130)之间的界面存在的情况下,声波在该界面处发生折射。该折射使得探头140检测到的声波的相位变为不同于在不提供保持构件130的情况下探头140将检测到的声波的相位。换句话讲,除非对相位调制进行校正,否则对象信息的可获得的定量性将降低。根据实施例的对象信息获得系统可以通过校正声波的相位调制来最小化对象信息的可获得的定量性的降低。

[0028] 下面,将详细描述根据实施例的对象信息获得系统的组件。

[0029] 对象100和光吸收体101

[0030] 尽管对象100和光吸收体101不构成根据本发明的对象信息获得系统,但是如下描述对象100和光吸收体101。本发明的对象信息获得系统主要用于诊断人类或动物疾病(例如恶性肿瘤或血管疾病)、继而进行化疗或执行其他操作。因此,预期对象是活体,具体地,待检查部分,例如人类或动物的胸部、颈部或腹部。

[0031] 对象内部的预期的光吸收体是对象内部的光吸收系数相对高的部分。例如,在人体是检查对象的情况下,氧合血红蛋白、脱氧血红蛋白、输送大量氧合血红蛋白或脱氧血红蛋白的血管、或含有大量新血管的恶性肿瘤可以用作光吸收体。另外,颈动脉壁上的血小板或其他对象也可以用作光吸收体。

[0032] 光源110

[0033] 光源110可以是可生成几纳秒至几微秒量级的脉冲光束的脉冲光源。具体地,为了高效率地生成光声波,光源110可能生成脉宽为十纳秒量级的光束。光源110可能生成使得光束可以传播到对象中的波长的光束。具体地,在活体用作对象的情况下,适合于活体的波长落在500nm至1200nm范围之内。然而,在获得活体的相对接近活体表面的组织的光学特性分布的情况下,可以使用比上述波长范围更宽的、在例如从400nm至1600nm范围内的波长范围。

[0034] 激光器或发光二极管可以用作光源。激光器的例子包括固态激光器、气体激光器、染料激光器和半导体激光器。例如,本实施例中所使用的激光器包括紫翠宝石激光器、钇铝石榴石激光器和钛蓝宝石激光器。

[0035] 光学系统120

[0036] 从光源110发射的光束通过典型的光学组件(例如透镜和反射镜)在被成形为希望的光分布形状的同时被引导到对象100。替代地,这些光束可以通过诸如光纤的光波导传播。光学组件的例子包括:反射光束的反射镜、使光束集中或扩展或者改变光束的形状的透镜、使光束分散、折射或反射的棱镜、传播光束的光纤、以及使光束漫射的漫射板。光学组件可以是任何组件,只要它们用于将从光源110发射的光束以希望的形状投射在对象上即可。

[0037] 在光源110可以发射光束并且将这些光束以希望的形状引导到对象的情况下,可以省略光学系统120。

[0038] 保持构件130

[0039] 保持构件130是保持对象100的构件。

[0040] 保持构件130不限于实施例中图示的平行板,而是可以具有任何形状,例如半球体,只要构件130可以保持对象100即可。可替代地,可以提供两个平行板作为通过将对象100夹在中间来保持对象100的保持构件。

[0041] 保持构件130可以是膜状构件。具体地,保持构件130可以由比对象100(例如胸部)更软的材料制成。

[0042] 保持构件130可以由在声学上与探头140高度匹配的材料制成。在脉冲光束通过保持构件130投射在对象100上的情况下,保持构件130可以由脉冲光束的透射率高的材料制成。保持构件130的材料的例子包括塑料(例如聚甲基戊烯或丙烯酸树脂)和玻璃。

[0043] 在不必保持对象100的情况下,对象信息获得系统不必包括保持构件130。

[0044] 探头140

[0045] 探头140包括换能器和包围这些换能器的壳体,这些换能器是可以检测声波的元件。

[0046] 换能器检测声波(例如光声波和超声回声),并且将这些声波转换为电信号,这些电信号是模拟信号。换能器可以是可使用例如压电性、光学共振或电容变化来检测声波的任何换能器。

[0047] 典型的光声波是100kHz至100MHz的声波。因此,在检测光声波的情况下,可以检测频率在以上范围内的声波的换能器是适合于使用的。在检测由声波回声设备发送的声波的回声的情况下,与发送的声波的频率匹配的换能器是适合于使用的。典型的声波回声设备发送并接收1MHz至1000MHz的声波。

[0048] 在实施例中,需要在多个位置处检测声波的情况下,探头140可以包括按阵列布置的多个换能器。多个换能器可以布置成一行或布置在平面上。这里,成一行的布置或在平面上的布置包括基本上成一行的布置或基本上在平面上的布置。换句话讲,即使在多个换能器布置成弯曲形状的情况下,如果曲线的曲率半径相对于检测元件之间的距离(间距)足够大,则本发明也可应用于这样的配置。例如,在曲率半径为间距的十倍或更大的情况下,本发明可应用于这样的配置。

[0049] 根据实施例的声波检测表面指的是其上布置有多个换能器141的检测表面的表面。

[0050] 信号处理器150

[0051] 如图2中所示,信号处理器150包括控制器151、计算单元152和存储器单元153。

[0052] 诸如中央处理单元(CPU)的元件通常用作控制器151。

[0053] 诸如CPU、图形处理单元(GPU)或模数(A/D)转换器的元件、或诸如现场可编程门阵列(FPGA)或专用集成电路(ASIC)的电路典型地用作计算单元152。计算单元152可以由多于一个的元件和/或电路构成。元件和电路中的任何一个可以执行用于获得对象信息的方法中包括的每个操作。执行每个操作的设备被统称为根据实施例的计算单元。

[0054] 诸如只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)或硬盘的存储介质典型地用作存储器单元153。存储器单元153可以由多于一个的存储介质构成。

[0055] 信号处理器150可能够同时执行多个信号的流水线处理。这样的信号处理器可以最小化为获得对象信息所花费的时间。

[0056] 用于获得对象信息的方法中包括的操作可以以要被计算单元152执行的程序的形式存储在存储器单元153中。这里,存储程序的存储器单元153是非暂态存储介质。

[0057] 信号处理器和多个换能器可以一起集成在公共壳体中。这里,壳体中的信号处理器可以执行信号处理的一部分,而设置在壳体外部的另一信号处理器可以执行信号处理的其余部分。在这种情况下,设置在壳体内部和外部的信号处理器可被统称为根据实施例的信号处理器。

[0058] 显示单元160

[0059] 显示单元160是显示从信号处理器150输出的对象信息的设备。液晶显示器等典型地用作显示单元160。可替代地,可以使用其他类型的显示器,例如等离子体显示器、有机电致发光显示器或场发射显示器(FED)。

[0060] 显示单元160可以与根据实施例的对象信息获得系统分开提供。用于获得对象信

息的方法

[0061] 现在参照图3,将描述根据实施例的用于获得对象信息的方法的步骤。这些步骤作为控制器151控制对象信息获得系统的每个组件的操作的结果而被执行。具体地,将如下地描述根据实施例的用于操作对象信息获得系统的方法。

[0062] S100:在对象内部生成声波的步骤

[0063] 光源110生成的光束经由光学系统120作为脉冲光束121投射在对象100上。然后,对象100吸收脉冲光束121,由此由于光声效应而发生声波(光声波)。

[0064] 这里,声波可以发送到对象100,并且作为发送的声波在对象100内部反射的结果而发生的回声可以用作本发明中的声波。在这种情况下,对象信息获得系统必须包括发送声波的声波发送器。为此,多个换能器141不仅可以用作声波检测器,而且可以用作声波发送器。换言之,声波检测器和声波发送器可以由一个换能器阵列形成。

[0065] S200:检测声波以获得时序检测信号的步骤

[0066] 在这个步骤中,探头140检测通过保持构件130传播的声波,并且输出多个时序检测信号 $p_d(x, y, t)$ 。输出的时序检测信号存储在存储器单元153中。

[0067] 这里,时序检测信号表示声波的压力的实际测量值。根据实施例的所获得的多个时序检测信号必须确定与空间坐标和时间坐标相关的一个压力值。为此,根据这个实施例的探头140包括多个换能器141,以使得可以在多个位置处将声波检测为时序信号。另外,为了在多个位置处检测声波,对象信息获得系统可以包括扫描探头的扫描仪(未示出)。

[0068] 这里,空间坐标是指示进行测量的位置的坐标。换言之,在实施例中,空间坐标是每个换能器的位置坐标。另外,时间坐标是指示每个换能器检测声波的时间的坐标。

[0069] S300:对时序检测信号执行傅立叶变换以获得波数谱的步骤

[0070] 在这个步骤中,计算单元152在空间方向(空间坐标延伸的方向)上以及在时间方向(时间坐标延伸的方向)上对多个时序检测信号执行傅立叶变换以获得频谱 $K_f(k_{x1}, k_{y1}, \omega)$,并且将频谱 K_f 存储在存储器单元153中。

[0071] 例如,基于Journal of Biomedical Optics 15(2),021314(2010年3月/4月),计算单元152根据表达式1对时序检测信号 p_d 执行傅立叶变换,以获得作为包括时间频率的频率信号的频谱 K_f 。

[0072]
$$K_f(k_x, k_y, \omega) = \frac{c_0^2 k_{z1}}{2\omega} F_{x,y,t}\{p_d(x, y, t)\} \quad (\text{表达式 1})$$

[0073] 在表达式1中, k_x 、 k_y 和 k_z 分别表示x、y和z轴方向上的波数(也被称为空间频率)(1/m)。通常,波数是通过将空间频率乘以 2π (rad)而获得的并且以rad/m为单位表达的量。在本发明中,为了方便起见,空间频率被称为波数。另外, ω 表示时间频率(1/s), c_0 表示对象内部的声速,而 $F_{x,y,t}$ 表示傅立叶变换。

[0074] 在这个实施例中,由布置在(x,y)平面中的多个换能器141的检测表面来检测声波。因此,将通过傅立叶变换获得的频谱表达为x轴方向和y轴方向上的波数以及时间频率 ω 的函数。

[0075] 获得作为当 k_x 、 k_y 和 ω 取具体值时获得的复数的集合的频谱。换言之,将与 k_x 、 k_y 和 ω 的每种组合对应的复数存储在存储器单元153中。

[0076] 典型地,基于换能器141的数量来确定 k_x 和 k_y 的数量,并且基于在时间方向上采样

的时序检测信号的数量来确定时间频率 ω 的数量。可以通过多个信号的插值来改变 k_x 和 k_y 以及频率 ω 的数量的上限。可替代地,可以通过将零添加到这些信号(零填充)或删除一些信号来增加或减少 k_x 和 k_y 以及频率 ω 的数量。

[0077] 随后,基于Journal of Biomedical Optics 15(2),021314(2010年3月/4月),计算单元152根据表达式2将存储在存储器单元153中的频谱的时间频率 ω 转换为z轴方向上的波数 k_z ,并且获得仅由波数表达的频率信号的波数谱 $K(k_x, k_y, k_z)$ 。将获得的波数谱(k_x, k_y, k_z)的复数作为测量值存储在存储器单元153中。

[0078] $k_z = \sqrt{(\omega/c)^2 - k_x^2 - k_y^2}$ (表达式 2)

[0079] 在这个实施例中,包括时间频率的谱被称为频谱,而在将时间频率转换为波数之后获得的谱被称为波数谱。

[0080] 计算单元152可以在不获得频谱的情况下基于时序检测信号获得波数谱。换句话说,计算单元152可以使用通过将表达式2代入到表达式1中而获得的表达式,基于时序检测信号获得波数谱。

[0081] 可替代地,为了减少计算,可以通过快速傅立叶变换来执行这个步骤中的傅立叶变换。

[0082] 下面,空间频率的组合(k_x, k_y 和 k_z)被简称为“波数”。在这个实施例中,频率空间中的信号被统称为频率信号。在这个实施例中,计算单元基于多个时序检测信号获得频谱或波数谱作为第一频率信号。

[0083] S400:对波数谱执行声波的相位调制的校正的步骤

[0084] 在这个步骤中,计算单元152对存储在存储器单元153中的波数谱执行声波的相位调制的校正,相位调制是声波在保持构件130处的折射所致。也就是说,计算单元152获得相位调制被校正的第二频率信号。

[0085] 现在参照图4,描述用于校正波数谱中的与波数 $k_d = (k_{dx}, k_{dy}, k_{dz})$ 对应的测量值 K_d 的相位调制的方法,波数谱是与多个波数对应的测量值的集合(复数)。波数 $k_d = (k_{dx}, k_{dy}, k_{dz})$ 是通过保持构件130传播并且被多个换能器141检测到的声波的波数。这里,假定尚未通过保持构件130传播的声波的波数为 $k_0 = (k_{0x}, k_{0y}, k_{0z})$ 。在步骤S300中,假定相对于原点0执行傅立叶变换的情况。可以将原点0确定在声波检测表面(x,y)上的任何位置处。

[0086] 在这个实施例中,声波在对象100与保持构件130之间的界面处发生折射。图4利用声波的振幅的峰值的图示来图示声波的传播。在图4中,实线指示在对象100中发生的声波被折射并且通过保持构件130传播的状态。另一方面,虚线指示不发生折射的假想声波传播的状态。

[0087] 另外, θ_0 表示从对象100进入保持构件130的声波的入射角,而 θ_d 表示在对象100与保持构件130之间的界面处折射的声波的折射角。

[0088] 首先,计算单元152获得入射角 θ_0 和折射角 θ_d 。

[0089] 这里,当确定波数 k_d 时,确定声波通过保持构件130传播的方向。因此, θ_d 也被唯一地确定。根据斯涅尔定律($\sin\theta_0/\sin\theta_d = c_0/c_1$),基于 θ_d 、对象100内部的声速 c_0 以及保持构件130内部的声速 c_1 ,唯一地确定 θ_0 。换句话说,当预先得到对象100内部的声速 c_0 和保持构件130内部的声速 c_1 时,唯一地确定与波数 k_d 对应的 θ_d 和 θ_0 。

[0090] 因此,计算单元152可以根据斯涅尔定律,基于波数 k_d 、对象100内部的声速 c_0 以及

保持构件130内部的声速 c_1 来计算入射角 θ_0 和折射角 θ_d 。

[0091] 计算单元152可以从存储有与多个波数对应的入射角 θ_0 和折射角 θ_d 的存储器单元153中选择与波数 k_d 对应的入射角 θ_0 和折射角 θ_d 。可替代地,可以将与对象100内部的各个声速 c_0 和保持构件130内部的各个声速 c_1 对应的入射角 θ_0 和折射角 θ_d 存储在存储器单元153中。在这种情况下,计算单元152基于对象100内部的声速 c_0 和保持构件130内部的声速 c_1 来选择对应的入射角 θ_0 和对应的折射角 θ_d 。

[0092] 随后,计算单元152基于与波数 k_d 对应的声波的相位 ϕ_d 来获得与在声波没有发生折射的情况下的波数 k_0 对应的声波的相位 ϕ_0 。如图4中所示,相位 ϕ_d 和相位 ϕ_0 中的每个是声波的峰值与原点之间的相位差。

[0093] 现在,描述用于获得相位 ϕ_0 的方法。

[0094] 将对象100与保持构件130之间的界面与z轴交叉的点看作入射点I,并且分别将从入射点I到声波峰值的与波数 k_0 和 k_d 对应的相位看作 ϕ_{0_I} 和 ϕ_{d_I} 。根据图4中所示的几何关系,相位 ϕ_{0_I} 和 ϕ_{d_I} 可以由下面的表达式3表达。

$$[0095] \quad \phi_{0_I} = 2\pi |k_0| L \cos \theta_0 - \phi_0$$

$$[0096] \quad \phi_{d_I} = 2\pi |k_d| L \cos \theta_d - \phi_d \quad (\text{表达式3})$$

[0097] 声波的波前在入射点I处是连续的。因此,从入射点I到声波峰值的相位 ϕ_{0_I} 和 ϕ_{d_I} 是相同的,并且满足以下表达式。

$$[0098] \quad 2\pi |k_0| L \cos \theta_0 - \phi_0 = 2\pi |k_d| L \cos \theta_d - \phi_d \quad (\text{表达式4})$$

[0099] 基于表达式4,如表达式5中所示那样计算相位 ϕ_0 ,相位 ϕ_0 是波数 k_0 的分量。这里,L表示保持构件130的厚度,并且 $n = c_0/c_1$ 。

$$[0100] \quad \phi_0 = \phi_d + 2\pi |k_0| L \cos \theta_0 - 2\pi |k_d| L \cos \theta_d$$

$$[0101] \quad = \phi_d + 2\pi |k_0| L \cos \theta_0 - 2\pi n |k_0| L \cos \theta_d$$

$$[0102] \quad = \phi_d + 2\pi |k_0| L (\cos \theta_0 - n \cos \theta_d) \quad (\text{表达式5})$$

[0103] 随后,如表达式7中所示,计算单元152根据测量值 K_d ,通过使用相位差 $i \Delta \phi$ 作为相位因子对相位调制进行校正来计算复数值 K_d' 。这里, $\Delta \phi$ 是相位 ϕ_0 与 ϕ_d 之间的差值。测量值 K_d 由表达式6表达,其中,A表示振幅,而 $i \phi_d$ 表示相位因子。

$$[0104] \quad K_d = A \cdot e^{i\phi_d} \quad (\text{表达式6})$$

$$K_d' = A \cdot e^{i\phi_0} \\ = A \cdot e^{i[\phi_d + 2\pi |k_0| L (\cos \theta_0 - n \cos \theta_d)]}$$

$$[0105] \quad = K_d \cdot e^{i2\pi |k_0| L (\cos \theta_0 - n \cos \theta_d)} \\ = K_d \cdot e^{i\Delta \phi}$$

(表达式7)

[0106] 如根据表达式7将理解的,可以通过将与波数 k_d 对应的测量值 K_d 乘以具有表达式8中所包括的相位因子的复数来获得复数值 K_d' ,在复数值 K_d' 中,与波数 k_d 对应的相位调制被校正。在表达式8中, $\text{sgn}(k_{0z})$ 是当 k_{0z} 大于或等于零时取+1并且当 k_{0z} 为负数时取-1的符号函数。到目前为止,已描述了 k_{0z} 为正数的情况。另外,在 k_{0z} 为负数的情况下,作为与上述过程相同的过程的结果,发现当 $\text{sgn}(k_{0z})$ 为-1时的表达式8用作相位因子。

$$[0107] \quad i \Delta \phi = \text{sgn}(k_{0z}) i |k_0| L (\cos \theta_0 - n \cos \theta_d) \quad (\text{表达式8})$$

[0108] 在预先得到对象100内部的声速 c_0 、保持构件130内部的声速 c_1 以及保持构件130的厚度 L 的情况下,作为目标波数 k_d 的确定结果,唯一地确定表达式8中所示的相位因子。换言之讲,计算单元152可以从预先存储有与多个波数对应的相位因子的存储器单元153中选择与任何波数 k_d 对应的相位因子。

[0109] 在这个实施例中,描述声波的振幅的峰值在原点前面的情况,即,相位 ϕ_0 和 ϕ_d 为负数的情况。然而,表达式7和表达式8可应用于不管 ϕ_0 和 ϕ_d 具有什么符号的情况。

[0110] 随后,计算单元152可以通过对波数谱 K 中的对应波数的测量值执行上述相位调制校正,获得相位调制被校正的波数谱 K' 作为第二频率信号。将相位调制被校正的波数谱 K' 中的与波数对应的复数值存储在存储器单元153中。

[0111] 在这个实施例中,描述了用于校正由保持构件130引起的相位调制的方法。然而,可以被校正的相位调制不限于由保持构件130引起的相位调制。根据实施例的相位调制校正可应用于声速分布存在于声波的传播路径上的情况。

[0112] 例如,本发明可应用于在声音以不同速率行进的结构之间在界面存在于对象100内部的情况下发生的相位调制。在这种情况下,必须在执行步骤S400之前掌握对象100内部的结构信息,并且必须根据该结构信息掌握对象100内部的声速分布。为此,结构信息获得单元(例如磁共振成像器(MRI)、漫射光学断层摄像装置或超声回声装置)可以在执行步骤S400之前获得对象100内部的结构信息。结构信息获得单元可以包括在对象信息获得系统中或者作为单独的单元被提供。通过将根据实施例的光源110应用于漫射光学断层摄像装置的光源,可以在最小化该装置的大小增大的同时获得对象100内部的结构信息。在对象100内部的结构信息可推测的情况下,可以使用所推测的结构信息。可替代地,信号处理器150可以基于以上述方式获得的结构信息来获得声速分布。

[0113] 本发明还可应用于由设置在对象100外部的除了保持构件130之外的构件引起的相位调制。

[0114] 另外,在存在声音以不同速率行进的三个层的情况下,可以通过对这些层执行与上述操作相同的操作来校正相位调制。

[0115] S500:基于相位调制已被校正的波数谱来获得对象信息的步骤

[0116] 在这个步骤中,计算单元152基于在步骤S400中获得的经校正的波数谱来获得对象信息。

[0117] 例如,如表达式9中所示,计算单元152对在步骤S400中获得的并且相位调制已被校正的波数谱 K' 执行逆傅立叶变换,从而获得对象100内部的初始声压分布 $p_0(x, y, z)$ 。

[0118] $p_0(x, y, z) = F_{x, y, z}^{-1}(K')$ (表达式 9)

[0119] 通过使用经由校正由保持构件130处的折射引起的相位调制而获得的复数值来获得初始声压分布。因此,由于相位调制而导致的定量性的降低被最小化。

[0120] 计算单元152可以通过按与表达式1和表达式2中所示的操作的次序相反的次序对在步骤S400中获得的相位调制被校正的波数谱执行操作来恢复相位调制被校正的时序检测信号。在这种情况下,计算单元152可以通过对相位调制被校正的时序检测信号执行适当的重构来获得初始声压分布。该方法使得能够通过执行适当的重构、而不是执行逆傅立叶变换进行重构来获得初始声压分布。适当重构的例子包括时域反投影方法和基于模型的方法。

[0121] 这里,计算单元152可以基于所获得的初始声压分布和投影在对象100上的光在对象100内部的光量分布来获得对象100内部的吸收系数分布。可替代地,可以对具有多个不同波长的光束各自进行步骤S100至S500,以使得可以获得与多个波长对应的对象信息。另外,可以使用与多个波长对应的对象信息来获得对象内部的物质的浓度。另外,在如此获得的各种类型的对象信息中,由于相位调制而导致的定量性的降低被最小化。

[0122] S600:显示对象信息的步骤

[0123] 在这个步骤中,在显示单元160上显示在步骤S500中获得的对象信息的图像。计算单元152对步骤S500中获得的对象信息执行诸如照度转换的操作以便对象信息可显示在显示单元160上,产生与该对象信息对应的图像数据,并且将该图像数据输出到显示单元160。因为显示在显示单元160上的对象信息是由于相位调制而导致的定量性的降低被最小化的信息,所以该对象信息适合于可由从业者(例如医生)用来进行诊断。

[0124] 上述根据实施例的用于获得对象信息的方法使得能够获得由保持构件等的声速分布引起的声波的相位调制被校正的对象信息。因此,可以最小化如此获得的对象信息的定量性的降低。

[0125] 在这个实施例中,可以通过对频率信号执行相位调制校正来执行通过根据斯涅尔定律计算与平面波对应的一个声线的传播路径而执行的相位调制校正。换言之讲,与日本专利特许公开第2010-167258号中所公开的用于校正相位调制的方法(在该方法中,根据斯涅尔定律计算作为球面波发生的声波的多个声线的传播路径)相比,根据实施例的用于校正相位调制的方法涉及更少的计算。

[0126] 第二实施例

[0127] 如图5中所示,第二实施例描述在声音以不同速率行进的物质之间的界面相对于声波检测表面成角度 α 倾斜的情况。换言之讲,第二实施例描述多个换能器141的检测表面和对象100与保持构件130之间的界面围绕y轴成角度 α 设置的情况。在这个实施例中,角度 α 是由多个换能器141的检测表面和保持构件130的一个表面形成的角度。

[0128] 在声速不同的两个层之间的界面的前面或后面,平行于该界面的方向上的波数守恒。换言之讲,在第一实施例中,波数 k_0 在x轴方向和y轴方向上的波数分别与波数 k_d 在x轴方向和y轴方向上的波数相同,因为对象100与保持构件130之间的界面平行于声波检测表面(x-y平面)。

[0129] 然而,在第二实施例中,因为该界面围绕y轴旋转,所以该界面前面或后面的x轴方向上的波数不守恒。另一方面,平行于该界面的 x' 方向上的波数守恒。因此,波数 k_0 在x轴方向上的波数不同于波数 k_d 在x轴方向上的波数。换言之讲,如果在假定在声波通过保持构件130传播之前声波在x轴方向上的波数为 k_{dx} (其应该是 k_{0x})的情况下执行步骤S400中描述的相位调制校正,则最小化对象信息的定量性的降低的效果变得不足。

[0130] 鉴于此,与第一实施例中不同,在第二实施例中,在执行声波的相位调制的校正之前,对波数谱执行由在声音以不同速率行进的物质之间的界面的倾斜引起的声波的波数调制的校正。

[0131] 下面,沿着图6中的流程图描述根据实施例的用于操作对象信息获得系统的方法。与图3中所示的步骤相同的步骤用相同的参考符号表示,并且不对其进行描述。与第一实施例中所描述的组件相同的组件通常用相同的参考符号表示,并且不对其进行描述。

[0132] S700:校正波数谱中的声波的波数调制的步骤

[0133] 如上所述,在这个实施例中,该界面前面或后面的x轴方向上的波数不守恒。另一方面,该界面前面或后面的平行于该界面的分量(这里,x'轴方向)的波数守恒。这里,该界面前面或后面的y轴方向上的波数守恒。

[0134] 在步骤S700中,作为计算单元152把与探头140的检测表面上的坐标系(x,y,z)中的波数 $k_d=(k_{dx},k_{dy},k_{dz})$ 对应的测量值 K_d 与该检测表面的坐标系中的波数 $k_0=(k_{0x},k_{0y},k_{0z})$ 相关联的结果,校正波数调制。也就是说,计算单元152获得波数调制被校正的第三频率信号。

[0135] 例如,计算单元152基于从仿射变换和斯涅尔定律推导出的表达式10,根据波数 k_d (k_{dx} 和 k_{dz})获得波数 k_0 (k_{0x} 和 k_{0z})。

[0136]

$$\begin{bmatrix} k_{0x} \\ k_{0z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \frac{\cos \theta_d'}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_d'}} \sin \alpha \cos \alpha \left(1 - \frac{\cos \theta_d'}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_d'}} \right) \\ \sin \alpha \cos \alpha \left(1 - \frac{\cos \theta_d'}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_d'}} \right) \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \frac{\cos \theta_d'}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_d'}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{dx} \\ k_{dz} \end{bmatrix}$$

(表达式 10)

[0137] 然后,计算单元152将已存储在波数 k_d 对应的地址中的测量值 K_d 存储在与通过表达式10计算出的波数 k_0 对应的地址中。

[0138] 这里,通过将折射角 θ_d 和角度 α 相加来计算 θ_d' 。如上所述,根据波数 k_d 唯一地确定折射角 θ_d 。换句话说,计算单元152可以基于由多个换能器141的检测表面和保持构件130形成的角度 α 的信息来计算波数 k_0 。在预先没有得到角度 α 的情况下,可以根据图像(例如可以由诸如电荷耦合器件(CCD)的测量单元拍摄的图像)获得角度 α 。

[0139] 用于校正波数调制的方法不限于以上方法,只要该方法使得能够根据检测表面的坐标系中的波数 k_d 获得在声音以不同速率行进的物质之间的界面的坐标系中的波数 k_0 即可。例如,计算单元152首先通过仿射变换,根据检测表面上的坐标系中的波数 k_d 获得对象100与保持构件130之间的界面处的坐标系(x',y',z')中的波数 k_d ,并且将该界面处的坐标系(x',y',z')中的波数 k_d 存储在存储器单元153中。随后,计算单元152通过斯涅尔定律,根据存储在存储器单元153中的该界面处的坐标系中的波数 k_d 获得该界面处的坐标系中的波数 k_0 ,并且将波数 k_0 存储在存储器单元153中。随后,计算单元152通过仿射变换,根据存储在存储器单元153中的该界面处的坐标系中的波数 k_0 获得检测表面上的坐标系中的波数 k_0 ,并且将检测表面上的坐标系中的波数 k_0 存储在存储器单元153中。可以以这种方式根据检测表面上的坐标系中的波数 k_d 获得检测表面上的坐标系中的波数 k_0 。

[0140] 在这个步骤中,可以通过对波数谱中的每个波数执行上述处理来获得波数调制已被校正的波数谱。

[0141] 在存储测量值 K_d 之前获得要存储测量值 K_d 的地址的情况下,可以根据存储在存储器单元153中的多个时序检测信号获得测量值 K_d ,并且可以直接将测量值 K_d 存储到与波数 k_0 对应的地址。

[0142] 在这个步骤中,可以在不获得波数调制被校正的波数谱的情况下,在下述步骤

S800中通过使用测量值 K_d 作为与波数 k_0 对应的测量值来执行相位调制校正。在这个实施例中,这样的情况也可被认为是涉及波数调制校正的情况。

[0143] 如在第一实施例的情况下那样,在这个实施例中,可校正的波数调制不限于由保持构件130的倾斜引起的波数调制。根据实施例的波数调制校正可应用于这样的情况,其中,在声音以不同速率行进的两个层之间的界面在声波的传播路径中相对于声波检测表面成特定角度设置。而且,即使在存在声音以不同声速行进的两个层的情况下,也可以通过每个层执行相同的处理来校正波数调制。

[0144] 这个实施例描述了在y轴方向上不存在倾斜的情况。在y轴方向上存在倾斜的情况下,可以通过将表达式10扩展为典型的三维仿射变换来容易地校正波数调制,其中表达式10是二维仿射变换。

[0145] 在这个实施例中,使用仿射变换来变换坐标系,但是还可以使用其他旋转变换。例如,可以使用欧拉变换或其他类型的变换。

[0146] S800:校正波数调制被校正的波数谱中的声波的相位调制的步骤

[0147] 在步骤S800中,对在步骤S700中获得的并且波数调制已被校正的波数谱执行相位调制校正。步骤S800对应于根据第一实施例的步骤S400。另外,在步骤S800中,执行与步骤S400中执行的校正相同的校正使得能够校正由在声音以不同速率行进的两个层之间的界面引起的声波的波数调制和相位调制。因此,可以改进在步骤S500的后续步骤中可获得的对象信息的定量性。

[0148] 如上所述,可以通过使用例如步骤S300中获得的与波数 k_d 对应的测量值 K_d 作为与波数 k_0 对应的测量值来执行相位调制校正。该方法还使得能够校正由在声音以不同速率行进的两个层之间的界面引起的声波的波数调制和相位调制。

[0149] 如上所述,根据实施例的用于获得对象信息的方法使得能够获得对象信息,在该对象信息中,除了由保持构件等中的声速分布引起的声波的相位调制被校正之外,波数调制也被校正。因此,可以最小化对象信息的可获得性的降低。

[0150] 例子

[0151] 下面,描述执行根据第一或第二实施例的用于获得对象信息的方法的仿真的结果。

[0152] 在以下描述中,未附有单位的物理量表示该物理量用适当的常数进行了标准化。在以下描述中,将坐标原点定义在计算空间的一个顶点处,并且计算空间的每侧具有从零延伸到最大正数值的坐标。

[0153] 在这个例子中,通过仿真来计算以下四条测量数据(多个时序信号)。

[0154] 首先,以以下方式计算第一测量数据块。计算空间是宽度(x)为120mm、长度(y)为46mm并且高度(z)为60mm的三维空间。将三维空间划分为立方体单元,每个立方体单元的边均为0.5mm。在计算空间中在宽度上按5mm的间隔并且在高度上按5mm的间隔设置九个直径为1mm、长度为46mm并且固定内压为1的线形数字幻像。作为如此获得的计算空间内部的初始压力分布和向外球面波(其为自由空间中的波动方程的基本解)的卷积的结果,获得任意时间的压力分布。然而,在具有不同声学特性的区域之间的界面处,外向球面波根据斯涅尔定律发生折射。平行于z轴的一个界面将计算空间内部的声学特性划分为两个区域。划分的位置为 $z = 10\text{mm}$,并且划分区域按z坐标的降序次序被称为第一区域和第二区域。如下定义

每个区域中的声学特性。第一区域的密度为1并且弹性模量为1,而第二区域的密度为0.833并且弹性模量为1.8。计算空间的底面($z=0\text{mm}$)被视为探头的检测表面,并且被划分为正方形单元,每个正方形单元的边均为2mm。按时间先后顺序记录每个单元中的平均压力分布,并且所获得的结果是第一测量数据块。

[0155] 以以下方式计算第二测量数据块。计算空间是宽度(x)为30mm并且长度(y)为60mm的二维空间。将该二维空间划分为正方形单元,每个正方形单元的边均为50 μm 。将最大压力为1并且标准差为0.5mm的一个高斯分布数字幻像设置在计算空间的位置($x=15\text{mm}$, $y=15\text{mm}$)处。通过使用在上述方法中获得的计算空间内部的初始压力分布作为初始值的通用声学有限差分时域(FDTD)方法来计算任意时间的压力分布。平行于 x 轴的两个界面将计算空间内部的声学特性划分为三个区域。划分的位置为 $y=30\text{mm}$ 和 $y=40\text{mm}$,并且划分区域按 y 坐标的升序次序被称为第一区域、第二区域和第三区域。如下定义每个区域中的声学特性。第一区域的密度为1并且弹性模量为1,第二区域的密度为0.833并且弹性模量为1.8,而第三区域的密度为0.91并且弹性模量为0.9。在计算空间内部($y=50\text{mm}$)绘制了平行于 x 轴并且长度为27mm的直线,并且该直线被视为探头的检测表面。将该直线划分为多个部分,每个部分的长度均为45 μm 。按时间先后顺序记录在每个部分的中心处估计的压力分布,并且所获得的结果是第二测量数据块。

[0156] 以以下方式计算第三测量数据块。除了针对探头的条件之外,所有的条件与被设置为获得第二测量数据块的那些条件相同。在计算空间内部绘制长度为27mm、相对于 x 轴形成15度角并且通过 $x=15\text{mm}$ 和 $y=50\text{mm}$ 的点的直线,并且该直线被视为探头的检测表面。将该直线划分为多个部分,每个部分的长度均为45 μm 。按时间先后顺序记录在每个部分的中心处评估的压力分布,并且所获得的结果是第三测量数据块。就声学特性彼此不同的分离的区域之间的界面不平行于检测表面而言,第三测量数据块不同于第二测量数据块。

[0157] 以以下方式计算第四测量数据块。除了声学特性分布之外,所有的条件与被设置为获得第二测量数据块的那些条件相同。半径不同并且在 $x=15\text{mm}$ 和 $y=-70\text{mm}$ 的点处彼此同心的、用作界面的两个弧将计算空间内部的声学特性划分为三个区域。第一个弧的直径为100mm,而第二个弧的直径为110mm。划分区域被称为与第二测量数据块的情况下的名称相同的名称,并且以与第二测量数据块的情况下的方式相同的方式定义每个区域中的声学特性。通过以与第二测量数据块的情况下的方式类似的方式提供检测表面,按时间先后顺序记录压力分布,并且使用所获得的结果作为第四测量数据块。就声学特性彼此不同的分离的区域之间的界面是曲率半径大的弧而言,第四测量数据块不同于第二测量数据块。

[0158] 在第一和第二测量数据块的情况下,检测表面平行于在声音以不同速率行进的区域之间的界面。因此,不执行第二实施例中所描述的波数调制校正。

[0159] 使用斯涅尔定律来执行傅立叶变换中的平面波的传播路径的所有计算。具体地,假定在每个界面处满足斯涅尔定律,使用已知的入射角来计算出射角。顺序地重复该计算,并且获得每个区域中的平面波的波数。然后,基于如此获得的传播路径的几何长度和每个区域中的声速来计算平面波的传播时间。

[0160] 图7图示在对第二测量数据块执行相位调制校正之后获得的信号(校正之后的信号)、第二测量数据块(校正之前的信号)、以及在声速均匀的情况下获得的信号(真实值信号)。

[0161] 这里,相位调制校正之后的信号是通过对波数谱执行逆傅立叶变换而获得的实际时间的时序信号,其中,对波数谱中的第二测量数据块执行相位调制校正,并且波数谱是通过执行根据第一实施例的步骤S300和S400而获得的。这里,这些信号表示在探头的中心处测量的值。在图7中,垂直轴表示压力,而水平轴表示标准化时间。

[0162] 如从图7中发现的,相位调制校正之后的信号比校正之前的信号更接近于真实值信号。

[0163] 图8A图示在未对第一测量数据块执行相位调制校正的情况下重构的初始声压分布,而图8B图示在对第一测量数据块执行相位调制校正之后重构的初始声压分布。具体地,图8B图示通过经由k空间方法重构波数谱而获得的结果,该波数谱是通过执行根据第一实施例的步骤S300和S400而获得的,并且在该波数谱中,对第一测量数据块执行相位调制校正,在Journal of Biomedical Optics 15 (2),021314(2010年3月/4月)中举例说明了k空间方法。

[0164] 如图8A中所示,在校正之前,线的截面形状弯曲成与原始形状不同的弓,以及这些线移位并且具有低对比度。另一方面,在校正之后,如图8B中所示,线的截面形状恢复,以及线返回到原始位置并且具有更高对比度。

[0165] 计算图8B中所示的分布所花费的时间为3.7秒,包括在1.4GFLOPS的计算器的环境下使用k空间方法执行重构所需的时间、以及输入和输出数据所需的时间。另一方面,在不执行校正的情况下使用k空间方法执行重构所花费的时间为3.1秒。换句话讲,由减法得到的差值0.6秒是执行相位调制校正所花费的时间。

[0166] 另一方面,当类似地测量执行日本专利特许公开第2010-167258号中所描述的方法所花费的时间时,执行包括校正的操作花费877秒,而执行没有校正的操作花费137秒。因此,由减法得到的差值740秒是执行相位调制校正所花费的时间。这里,因为反投影方法是日本专利特许公开第2010-167258号中所描述的方法中可行的唯一重构方法,所以使用反投影方法作为该测量中的重构方法。

[0167] 这些结果表明,与根据现有技术的校正方法相比,根据实施例的校正方法使得能够减少相位调制校正所花费的时间。换句话讲,根据实施例的校正方法所涉及的计算比现有校正方法的情况下所涉及的计算更少。

[0168] 图9A至图9G图示在对第二测量数据块执行相位调制校正并且对第三和第四测量数据块执行相位调制校正和波数调制校正之后的重构结果。这里,为了说明根据实施例的方法可应用于除了k空间方法之外的重构方法,通过反投影方法来执行图9中所示的计算中的重构。

[0169] 上部的图9A、图9B和图9C图示在没有校正的情况下第二、第三和第四测量数据块的重构结果。下部的图9D、图9E和图9F图示在校正之后的第二、第三和第四测量数据块的重构结果。为了参考的目的,下部的图9G图示在声速均匀的情况下(在探头的条件类似于第二测量数据块的情况时)的重构结果。

[0170] 如从图9A至图9G中所示的图像发现的,在下列情况下成功地通过校正来最小化对象信息的定量性的降低:存在声音以不同速率行进的三个或更多个区域的情况、界面不平行于检测表面的情况、以及界面是曲率半径大的弯曲表面的情况。

[0171] 例子表明,根据本发明的用于获得对象信息的方法使得能够获得如下对象信息,

在该对象信息中,不仅由声速分布引起的声波的相位调制被校正,而且波数调制也被校正。例子还表明,可以通过比现有方法的情况更少的计算来执行校正。

[0172] 其他实施例

[0173] 本发明的实施例还可以由系统或装置的计算机实现,该计算机读取并执行记录在存储介质(例如,非暂态计算机可读存储介质)上的计算机可执行指令以执行本发明的上述实施例中的一个或多个的功能,并且本发明的实施例还可以用方法来实现,该方法由系统或装置的计算机通过例如从存储介质读出并执行计算机可执行指令以执行上述实施例中的一个或多个的功能来执行。计算机可以包括中央处理单元(CPU)、微处理单元(MPU)或其他电路中的一个或多个,并且可以包括分离的计算机或分离的计算机处理器的网络。计算机可执行指令可以例如从网络或存储介质提供给计算机。存储介质可以包括,例如,下列存储介质中的一个或多个:硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、分布式计算系统的存储器、光盘(例如紧凑盘(CD)、数字多功能盘(DVD)或蓝光盘(BD)TM)、闪存装置、存储卡等。尽管已经参照示例性实施例描述了本发明,但是要理解本发明不限于所公开的示例性实施例。要给予下面的权利要求的范围最广泛的解释,以便包含所有这样的修改以及等同的结构和功能。

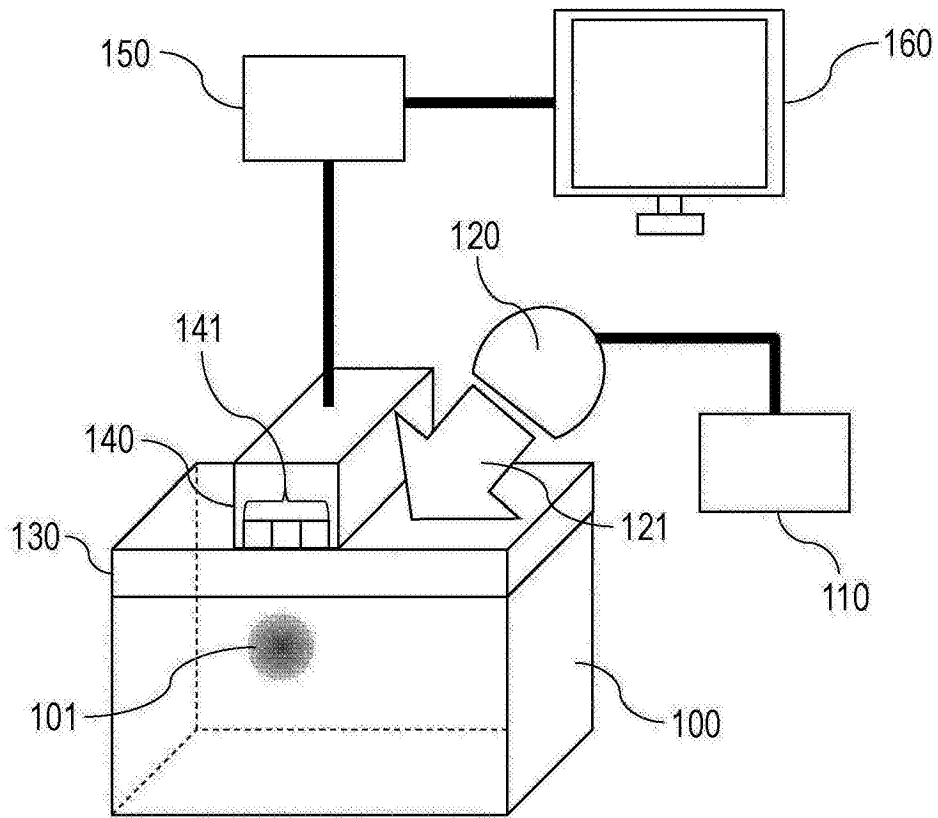


图1

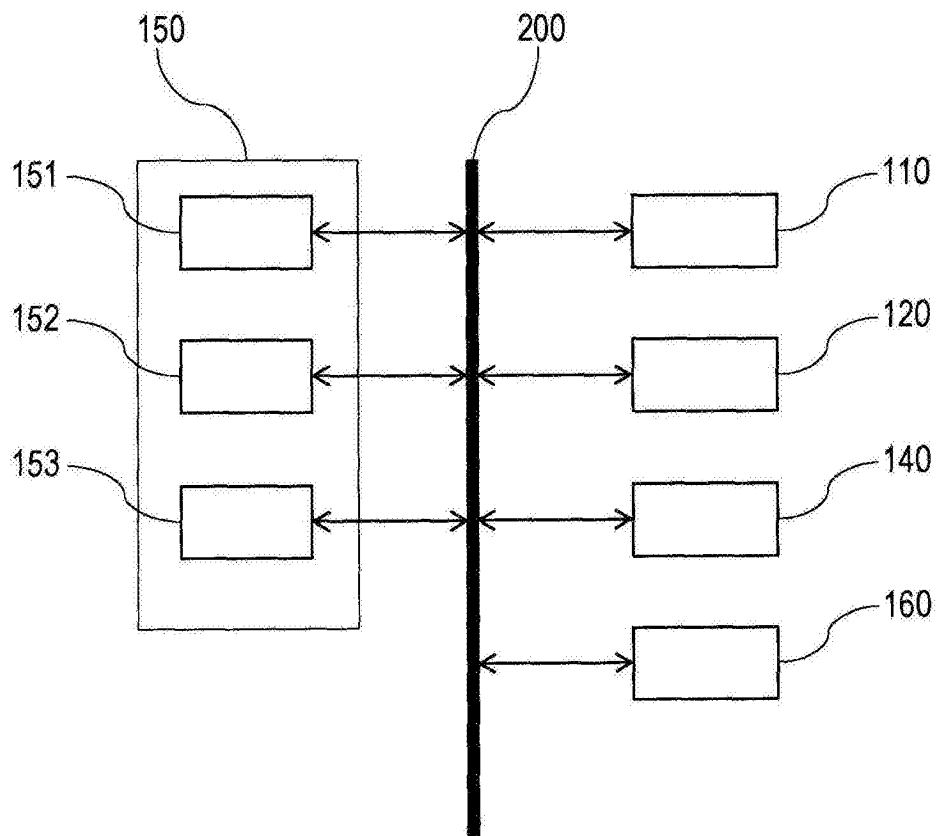


图2

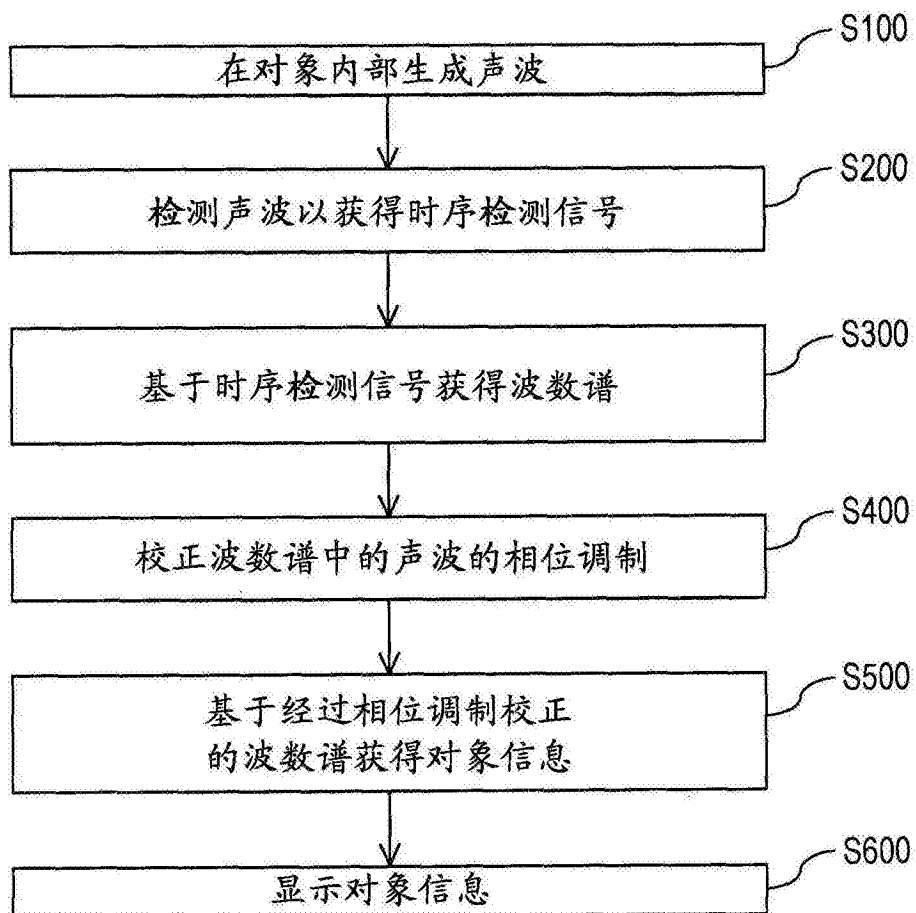


图3

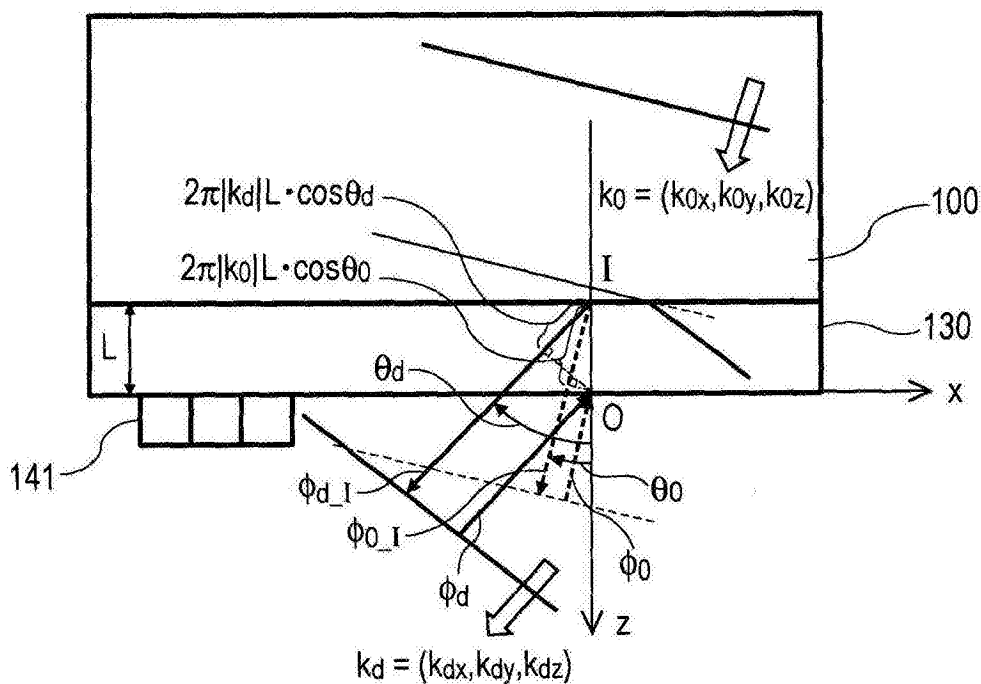


图4

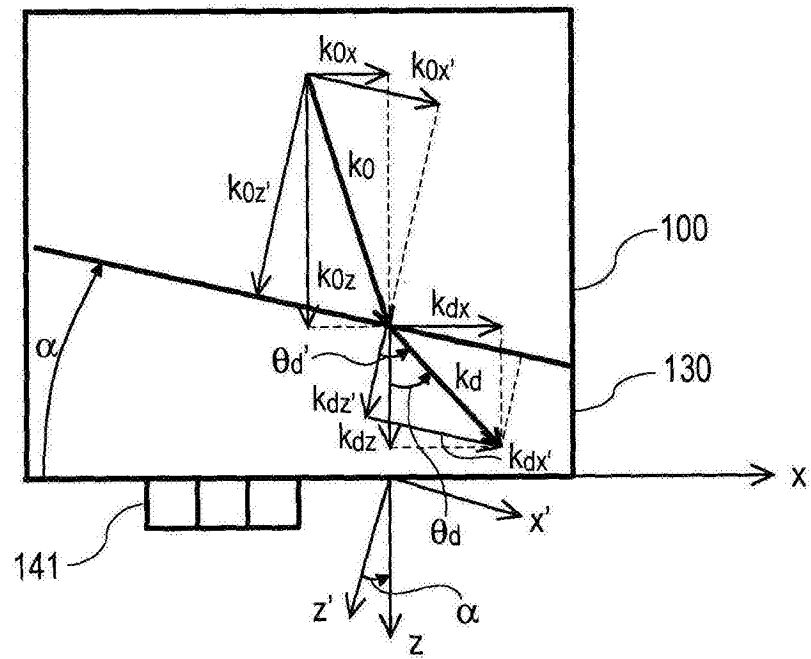


图5

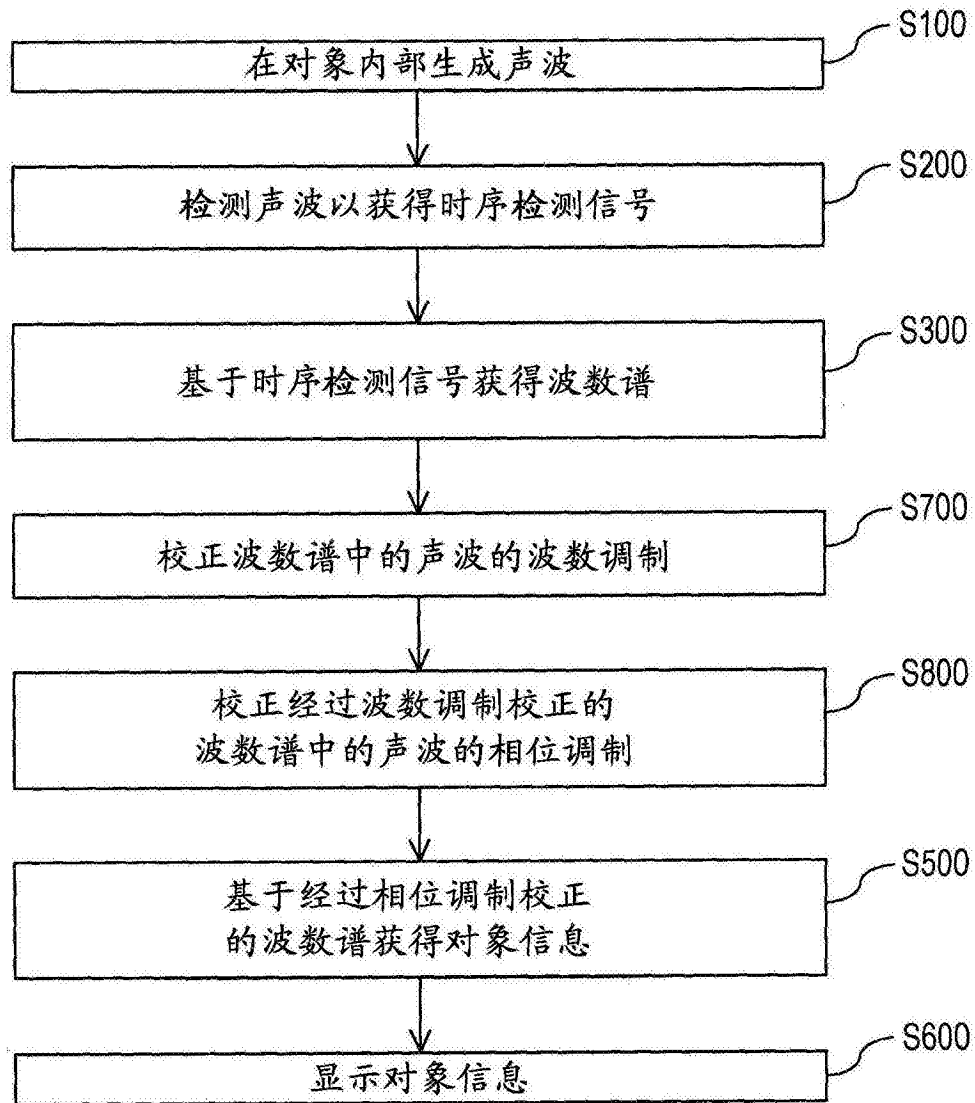


图6

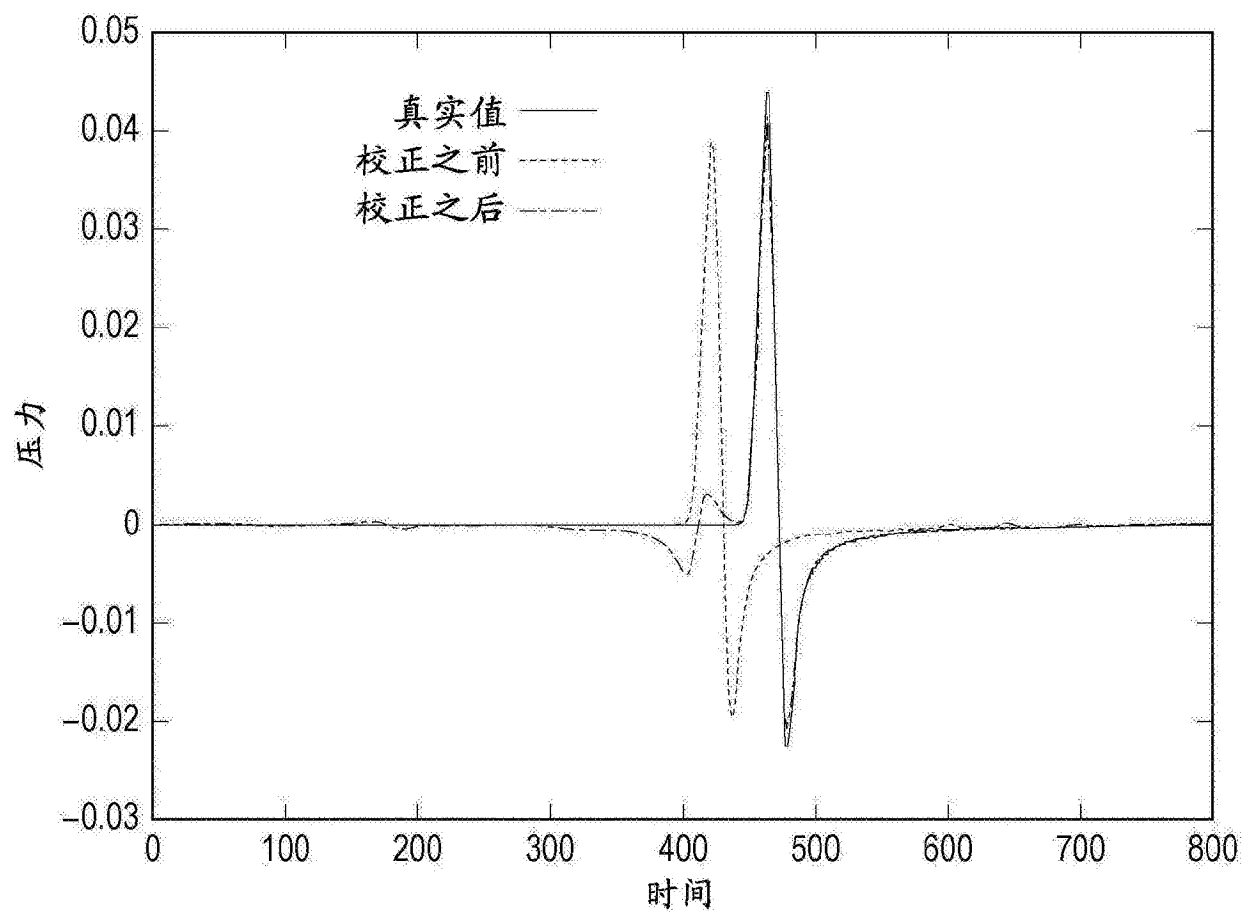


图7

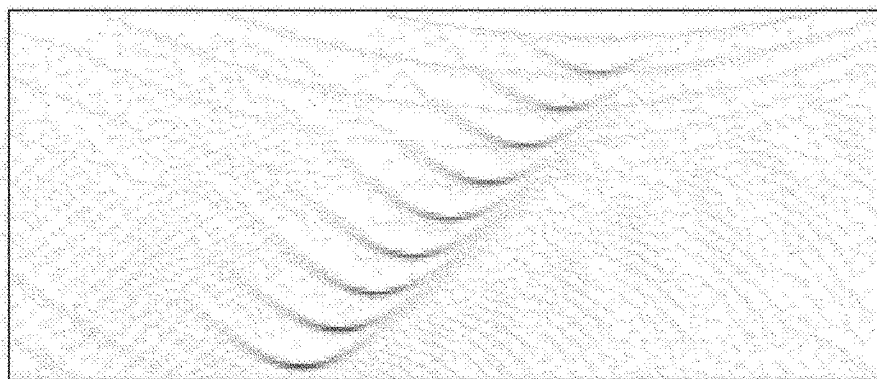


图8A

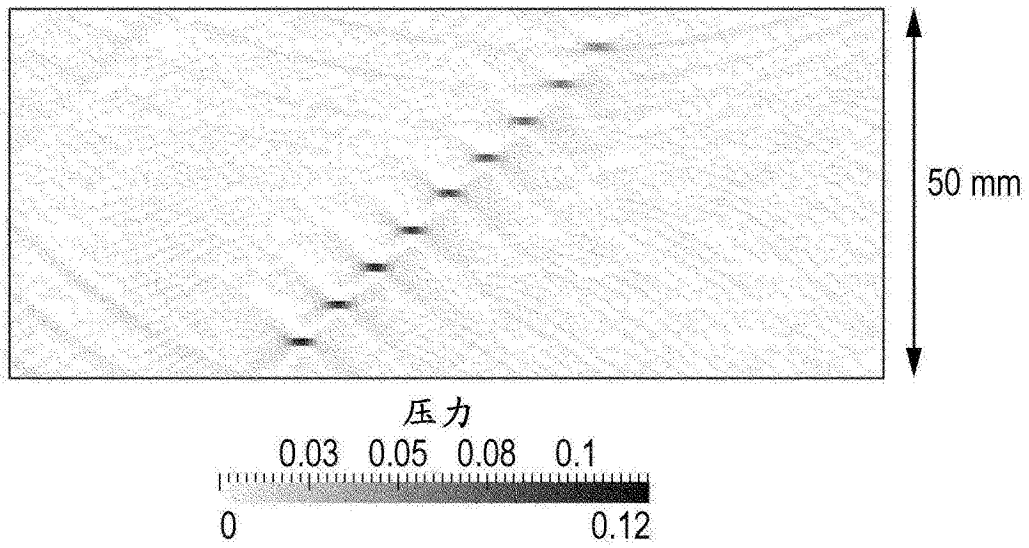


图8B

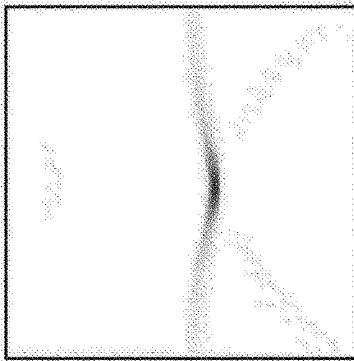


图9A

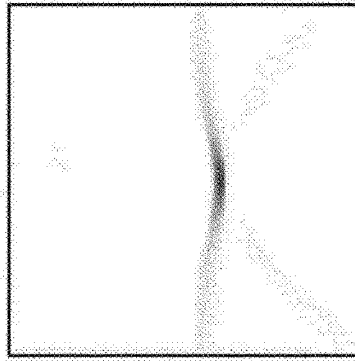


图9B

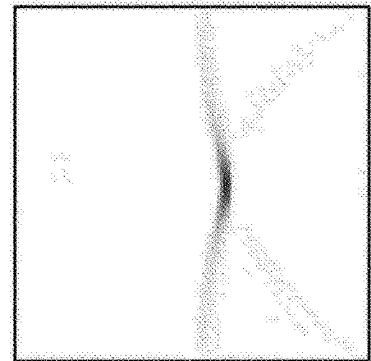


图9C

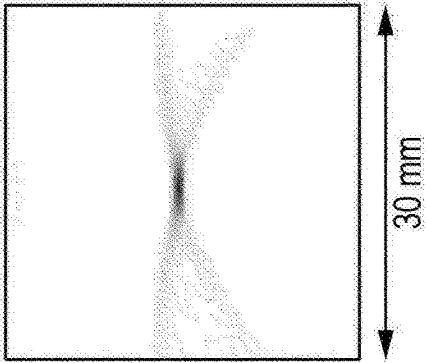


图9D

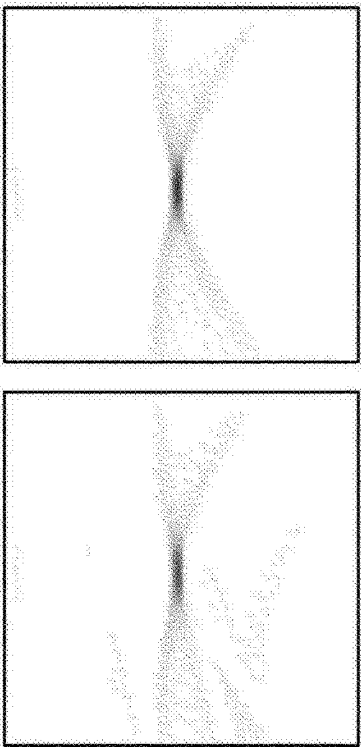


图9F

图9E

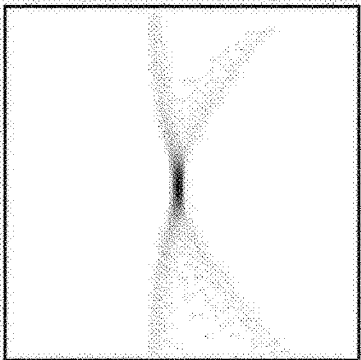


图9G