



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110199194 A

(43)申请公布日 2019.09.03

(21)申请号 201880006531.8

(22)申请日 2018.01.23

(30)优先权数据

1750585 2017.01.25 FR

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.07.10

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/FR2018/050154 2018.01.23

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2018/138430 FR 2018.08.02

(71)申请人 赛峰集团

地址 法国巴黎

申请人 国家科学研究中心

巴黎高等物理化学工业区

(72)发明人 奥雷利安·巴埃尔德

弗雷德里克·詹森

马赛阿斯·芬克 杰罗姆·劳伦特

克莱尔·普拉达

(74)专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270

代理人 张玮 王琳

(51)Int.Cl.

G01N 29/04(2006.01)

G01N 29/11(2006.01)

G01N 29/22(2006.01)

G01N 29/24(2006.01)

G01N 29/265(2006.01)

G01N 29/48(2006.01)

权利要求书2页 说明书10页 附图7页

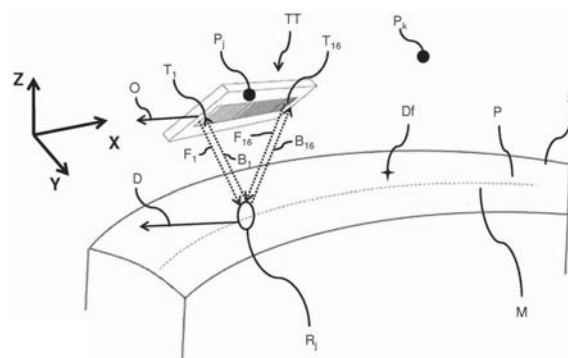
(54)发明名称

使用超声波来检测部件的多元件方法及装置

(57)摘要

本发明涉及一种用于对包括细长微结构(M)的部件(P)进行无损检测的方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:将线性换能器(TT)移动至位于面对所述部件表面(S)的多个位置({P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, ..., P<sub>m</sub>}),所述线性换能器包括沿着主方向(O)对齐的多个换能器元件({T<sub>-1</sub>, T<sub>2</sub>, ..., T<sub>n</sub>});发射多个基本超声波束({F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, ..., F<sub>n</sub>}),由所述多个换能器元件中的每一个在所述表面的方向上发射所述多个基本超声波束中的每一个;测量多个回波信号({E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, ..., E<sub>m</sub>})和多个结构噪声({B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, ..., B<sub>m</sub>}),由所述多个换能器元件中的每一个来测量所述多个回波信号中的每一个和所述多个结构噪声中的每一个,由在该部件表面之下的缺陷(Df)对基本超声波束的反向散射来产生所述回波信号中的每一个,由所述细长微结构对基本超声波束的反向散射来产生所述结构噪声中的每一个;以及当在所述多个位置上多

个所测量的结构噪声中的一个的振幅最小时,确定该细长微结构的伸长方向(D)。本发明还涉及一种用于实现该检测方法的无损检测系统。



1. 一种用于对包括细长微结构 (M) 的部件 (P) 进行无损检测的方法, 其特征在于, 所述方法包括以下步骤:

a) 在位于面对所述部件的表面 (S) 的多个位置 ( $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ ) 上移动线性换能器 (TT), 所述线性换能器包括沿着所述线性换能器的主方向 (O) 对齐的多个换能器元件 ( $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ );

b) 发射多个基本超声波束 ( $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ ), 由所述多个线性换能器元件中的每一个线性换能器元件在所述表面的方向上发射所述多个基本超声波束中的每一个;

c) 测量多个回波信号 ( $\{E_1, E_2, \dots, E_m\}$ ) 和多个结构噪声信号 ( $\{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ ), 由所述多个换能器元件中的每一个换能器元件来测量所述多个回波信号中的每一个回波信号和所述多个结构噪声中的每一个结构噪声, 由在所述部件的所述表面之下的缺陷 (Df) 对基本超声波束的反向散射来产生所述回波信号中的每一个回波信号, 由所述细长微结构对基本超声波束的反向散射来产生所述结构噪声中的每一个结构噪声; 以及

d) 当根据所述多个位置所测量的多个结构噪声中的一个的振幅最小时, 确定所述细长微结构的伸长方向 (D)。

2. 根据权利要求1所述的检测方法, 其特征在于, 在所述多个位置  $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$  中的每一个位置上所发射的所述多个基本超声波束  $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$  被聚焦从而形成聚焦区域  $\{R_1, R_2, \dots, R_m\}$ 。

3. 根据权利要求1或2所述的检测方法, 其特征在于, 沿着平行于所述主方向 (O) 的方向确定所述细长微结构 (M) 的所述伸长方向 (D)。

4. 一种用于对包括细长微结构 (M) 的部件 (P) 进行无损检测的系统, 其特征在于, 所述系统包括:

- 线性换能器 (TT), 所述线性换能器包括沿着所述线性换能器主方向 (O) 对齐的多个换能器元件 ( $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ ), 所述多个换能器元件中的每个换能器元件能够发射超声波束; 以及

- 检测设备, 包括:

- 位于面对所述部件表面 (S) 的多个位置 ( $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ ) 上的所述线性换能器 (TT) 的位移装置 (MA);

- 多个基本超声波束 ( $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ ) 的发射装置 (MB), 所述多个基本超声波束中的每一个基本超声波束由所述多个换能器元件中的每一个换能器元件在所述表面的方向上发射;

- 多个回波信号 ( $\{E_1, E_2, \dots, E_m\}$ ) 和多个结构噪声 ( $\{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ ) 的测量装置 (MC), 所述多个回波信号中的每一个回波信号和所述多个结构噪声中的每一个结构噪声由所述多个换能器元件中的每一个来测量, 由所述部件的所述表面之下的缺陷 (Df) 对所述基本超声波束的反向散射来产生所述回波信号中的每一个回波信号, 由所述细长微结构对所述基本超声波束的反向散射来产生所述结构噪声中的每一个结构噪声; 以及

- 用于当根据所述多个位置所测量的多个所述结构噪声中的一个的振幅最小时确定所述细长微结构的伸长方向 (D) 的装置 (MD)。

5. 根据权利要求4所述的检测系统, 其特征在于, 所述多个换能器元件 ( $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ ) 中的每一个换能器元件具有基本矩形形状, 所述基本矩形形状包括大尺寸 (a) 和小尺寸

(b),所述换能器元件沿着所述大尺寸(a)彼此连续地布置。

6.根据权利要求4或5所述的检测方法,其特征在于,所述发射装置(MB)包括聚焦装置(ME)以使在所述多个位置( $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ )中的每一个位置上所发射的所述多个基本超声波束( $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ )聚焦从而形成聚焦区域( $\{R_1, R_2, \dots, R_m\}$ )。

7.根据权利要求6所述的检测系统,其中,所述多个换能器元件( $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ )中的每一个换能器元件包括沿着所述大尺寸(a)布置的聚焦镜头。

8.根据前述权利要求中任一项所述的检测系统,其特征在于,所述位移装置(MA)被配置为使所述线性换能器(TT)沿着三个正交轴( $\{X, Y, Z\}$ )平移移动,并且围绕三个正交轴( $A\Psi, A\theta, A\phi$ )旋转移动。

9.根据前述权利要求中任一项所述的检测系统,其特征在于,所述多个换能器元件中的每一个换能器元件的频率大于等于1MHz并且小于等于20MHz。

10.根据前述权利要求中任一项所述的检测系统,其特征在于,所述换能器元件的数量选自16、64、96或128。

11.根据前述权利要求中任一项所述的检测系统,其特征在于,所述多个换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 中的每一个换能器元件的所述大尺寸(a)和所述小尺寸(b)分别等于10毫米和0.4毫米。

## 使用超声波来检测部件的多元件方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及具有多元件的超声换能器的一般领域。特别地，本发明应用于对包括细长微结构的部件进行的无损检测。

### 背景技术

[0002] 在航空领域中，检测要安装在航空器中的所有锻件是很重要的。这些部件由例如钛或钛合金的材料构成，该材料包括晶体结构和微结构。根据定义，部件的晶体结构在十分之一纳米左右的尺度下定义该部件的结构。部件的微结构在一纳米到一厘米之间的尺度下定义该部件的结构。

[0003] 通过使用基于电磁波衍射（例如X射线的衍射）的方法来检测部件的晶体结构。通过使用基于声波（例如，超声波）的反射、漫射和/或反向散射的方法来检测部件的微结构。

[0004] 因此，使用超声波来检测部件缺陷的检测方法是已知的。缺陷可以包括，例如，位于形成该部件的两层之间的叠层，或也可以包括所述部件的表面或体积不连续性。这些方法由以下步骤组成：在待检测部件的方向上产生超声波束，以及分析由位于该部件里的缺陷所反射、漫射和反向散射的信号。

[0005] 使用超声波进行检测的已知方法使用多个超声换能器，该超声换能器被配置为检测位于部件的不同深度的缺陷。F. J. Margetan、J. Umbach、R. Roberts等人的文件“钛锻件的检验开发”（NTIS, 2007）从而提出了几种环形或扇形几何形状的超声换能器，该超声换能器可以被放置在待检测部件的表面。

[0006] 文件W02005/06895描述了一种用于通过使用超声波的反射或衍射来检查物体内部材料的方法和器具。

[0007] 文件US9488573B2描述了一种通过使用声电磁波使物体成像以研究物体的物理性质的系统。

[0008] 文件CN104280455A描述了一种通过使用超声波的漫射来检测部件中缺陷的方法。

[0009] 然而，这些方法和设备无法检测到位于待检测部件中的细长微结构。

[0010] 实际上，待检测部件可以包括一个或更多的细长微结构。特别地，针对部件由钛或钛合金的圆柱形坯制成，情况就是这样。在这些部件的生产过程中，例如在锻造的过程中，在这些部件中形成有一个或多个细长微结构。

[0011] 但是，部件包括细长微结构的缺点在于，在使用超声波束检测该部件的过程中，该细长微结构对超声波束的反向散射产生噪声，被称为结构噪声。该结构噪声干扰了来自位于该部件中的缺陷对超声波束的反射、漫射和/或反向散射的信号，并且掩盖了一些在检测该部件的过程中所测量的信号。

[0012] 当待检测部件包括复杂的形状或内部各向异性结构时，该缺点更值得注意。在轴对称形状的部件，或由钛锻造金属或钛合金材料制成的部件的情况下尤其如此。

[0013] 令人惊讶的是，发明人已经证明了结构噪声的振幅取决于被用来检测该部件的超声换能器的相对位置和相对方向。

[0014] 另外,发明人已经证明了已知的超声换能器的几何结构无法精确检测位于待检测部件中的细长微结构的存在。

### 发明内容

[0015] 为克服以上所述的缺点,本发明的目的在于提供一种用于对部件进行超声检测以确定位于部件中的细长微结构的伸长方向的方法。

[0016] 相关地,本发明的另一个目的在于提出一种用于对部件进行超声检测的设备,所述设备被配置为以精确检测和定位位于部件中的缺陷和细长微结构。

[0017] 在本说明书和所附权利要求中,表述“位置”用于同时意指空间中的元件的空间定位和方向。特别地,本领域的技术人员将理解的是,可以使用六个自由度 $(X, Y, Z, \Psi, \theta, \varphi)$ 来定义空间中元素的位置,该三个坐标 $(X, Y, Z)$ 表示在正交坐标系 $(X, Y, Z)$ 中的笛卡尔坐标系的元素的空间定位,三个角度 $(\Psi, \theta, \varphi)$ 表示在角坐标系中元素的方向。

[0018] 因此本发明的一个目的在于提供一种用于对包括细长微结构的部件进行无损检测的方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

[0019] -在位于面对所述部件的表面的多个位置上移动线性换能器,所述线性换能器包括沿着所述线性换能器的主方向对齐的多个换能器元件;

[0020] -发射多个基本超声波束,由所述多个换能器元件中的每一个在所述表面的方向上发射所述多个基本超声波束中的每一个;

[0021] -测量多个回波信号和多个结构噪声,由所述多个换能器元件中的每一个来测量所述多个回波信号中的每一个和所述多个结构噪声中的每一个,所述回波信号中的每一个由在该部件表面以下的缺陷对基本超声波束的反向散射来产生,以及所述结构噪声中的每一个由所述细长微结构对基本超声波束的反向散射来产生;以及

[0022] -当根据所述多个位置所测量的多个结构噪声中的一个的振幅最小时,确定细长微结构的伸长方向。

[0023] 有利地,该检测方法使得能够精确地检测和定位位于部件中的细长微结构。

[0024] 有利地,该检测设备使得能够通过由在部件中因细长微结构对超声波束的反向散射所生成的结构噪声进行最小化以检测部件。

[0025] 有利地,在实施该检测方法之前,该检测方法无需已知该部件的形状。

[0026] 有利地,该检测方法易于实施、有效和经济。

[0027] 在本发明的具体实施例中,在多个位置中的每一个上所发射的所述多个基本超声波束被定位从而形成聚焦区域。

[0028] 在本发明的具体实施例中,沿着平行于所述主方向的方向确定该细长微结构的所述伸长方向。

[0029] 相关地,本发明的目的在于提供一种用于对包括细长微结构的部件进行无损检测的系统,所述系统的特征在于,其包括:

[0030] -线性换能器,所述线性换能器包括沿着所述线性换能器的主方向对齐的多个换能器元件,所述多个换能器元件中的每个换能器元件能够发射超声波束;以及

[0031] -检测设备,包括:

- [0032] • 位于面对所述部件表面的多个位置上的线性换能器的位移装置；
- [0033] • 多个基本超声波束的发射装置,所述多个基本超声波束中的每一个由所述多个换能器元件中的每一个在所述表面的方向上发射;以及
- [0034] • 多个回波信号和多个结构噪声的测量装置,所述多个回波信号中的每一个和所述多个结构噪声中的每一个由所述多个换能器元件中的每一个来测量,由在该部件表面以下的缺陷对基本超声波束的反向散射来产生所述回波信号中的每一个,以及由所述细长微结构对基本超声波束的反向散射来产生所述的结构噪声中的每一个;以及
- [0035] • 用于当根据所述多个位置所测量的多个结构噪声中的一个的振幅最小时确定细长微结构的伸长方向的装置。
- [0036] 有利地,该检测系统使得能够有效且迅速地检测部件,所述部件包括缺陷和细长微结构。
- [0037] 在本发明的具体实施例中,所述多个换能器元件具有基本矩形形状,所述基本矩形形状包括大尺寸和小尺寸,所述换能器元件沿着所述大尺寸彼此连续地布置。
- [0038] 在本发明的具体实施例中,所述发射装置包括聚焦装置以对在所述多个位置中的每一个上所发射的所述多个基本超声波束进行聚焦从而形成聚焦区域。
- [0039] 在本发明的具体实施例中,所述多个换能器元件中的每一个包括沿着所述大尺寸布置的预聚焦镜头。
- [0040] 在本发明的具体实施例中,所述位移装置被配置为沿着三个正交轴平移移动并围绕三个正交轴旋转移动。
- [0041] 在本发明的具体实施例中,所述多个换能器中的每一个的发射频率大于等于1MHz且小于等于20MHz。
- [0042] 在本发明的具体实施例中,换能器元件的数量选自16、64、96或128。
- [0043] 在本发明的具体实施例中,所述多个换能器元件中的每一个的所述大尺寸和所述小尺寸分别等于A毫米和B毫米。

## 附图说明

- [0044] 在以下的说明中,参照在图中表示的三面体(X,Y,Z),根据惯例并以非限制性的方式,采用纵向、横向和垂直方向。所述垂直方向用作为几何参考,和地球引力的方向无关。
- [0045] 通过阅读以下描述,结合若干附图,将最好地理解本发明及其技术特征,该附图表示为:
- [0046] -图1a和图1b分别表示根据本发明实施例的用于对部件进行无损检测的方法的若干剖面示意图;
- [0047] -图2a和图2b分别表示根据本发明实施例的用于对部件进行无损检测的方法的若干透视示意图;
- [0048] -图3以图表的形式,表示根据本发明实施例的用于对部件进行无损检测的方法的步骤的示例;
- [0049] -图4a和图4b分别表示根据本发明实施例的用于通过使用移动至第一位置的线性换能器对部件进行无损检测的方法的示意性俯视图,和由该线性换能器在该第一位置上所测量的结构噪声的振幅的时间演化;

[0050] -图5a和图5b分别表示根据本发明实施例的用于通过使用移动至第二位置的线性换能器对部件进行无损检测的方法的示意性俯视图,和由线性换能器在该第二位置所测量的结构噪声的振幅的时间演化;

[0051] -图6a、图6b和图6c分别表示用于实施本发明实施例的线性换能器在XY平面上的横截面图、在XZ平面上的横截面图和在YZ平面上的横截面图;

[0052] -图7以图表的形式,表示根据本发明实施例的用于实现一种用于对部件进行无损检测的设备的示例;以及

[0053] -图8是用于实施本发明实施例的线性换能器的透视示意图。

[0054] 当然,为满足具体的需求,本领域的技术人员可以在以下描述中应用修改。尽管其涉及不同的实施例,本发明不限于这些具体的实施例,对于相应领域的技术人员来说,可以认为对本发明的应用领域的任何具体修改都是清楚的。

### 具体实施方式

[0055] 在以下的描述中,具有设计或相同的、相似的或可比较功能的元件将由相同的参考标记所指定。

[0056] 图1a、图1b、图2a和图2b表示根据本发明实施例的用于通过使用线性换能器TT对部件P进行无损检测的方法的示意图。在所示的示例中,部件P包括细长微结构M和位于所述部件P的表面S以下的缺陷Df。此外,部件P是圆柱形的钛锻坯,其包括沿着方向D导致细长微结构M的内部各异性结构。

[0057] 以非限制性的方式,部件P可以是任意一种类型的部件、形状和组成。例如,部件P可以是金属部件、包括金属纤维的复合材料部件,或者也可以是包括沿着一个方向取向的单向加固的部件。根据其他示例,部件P可以是轴对称形状的部件、旋转体,或者也可以是对称形状的部件。

[0058] 在图1a和图1b中,部件P浸没于液体L(例如包含于水箱CC中的水)中。该配置使得能够实现一种用于通过使用定位在离部件P一段距离处的线性换能器来超声检测被浸没的部件P的方法。

[0059] 在一种变化形式中,根据本发明的另一个实施例,可以不用液体L来实现检测方法。为了实现一种用于在不浸没的情况下对部件P进行超声检测的方法,线性换能器TT可以被直接放置在部件P的表面S上。

[0060] 在一种变化形式中,线性换能器TT可以经由一个中继物(例如热塑性聚合物或透明聚合物如有机玻璃)被放置在部件P的表面S上。耦合物,例如复合胶体或润滑油,可以被放置在线性换能器TT和部件P的表面S之间以便于线性换能器TT在两个位置之间的移动。

[0061] 在一种变化形式中,在不使用液体L的情况下,线性换能器TT可以被放置和移动至离部件P的表面S一段距离处。对部件P的检测,特别地,在不使用任何耦合物的情况下,可以在空气中实现。

[0062] 根据本发明的实施例,线性换能器是包括多个换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 的声音换能器。线性换能器TT包括总数为n的换能器元件。

[0063] 根据本发明的实施例,换能器元件的数量n选自16、64、96或128。以非限制性的方式,图示出了包括16个换能器元件的线性换能器TT示例,也就是定义n为等于16。

[0064] 换能器元件  $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$  被沿着线性换能器TT的主方向O布置。主方向O的方向在参考系  $(X, Y, Z)$  中定义了所述线性换能器TT的取向方向。

[0065] 根据本发明的实施例,使线性换能器TT适于沿着三个第一正交轴进行平移移动。例如,所述三个正交轴对应于参考系  $(X, Y, Z)$  的方向。此外,使线性换能器TT适于围绕三个其它正交轴进行旋转移动。例如,并以非限制性方式,所述三个其它正交轴平行于所述三个第一正交轴。

[0066] 根据本发明的实施例,线性换能器TT可以沿着纵向方向X、横向方向Y和/或垂直方向Z平移移动。此外,线性换能器TT可以围绕滚动轴  $A\Psi$ 、俯仰轴  $A\theta$  和/或可以平行于方向Z的偏航轴  $A\phi$  旋转移动。在图中,滚动轴  $A\Psi$  和纵轴方向X相同,俯仰轴  $A\theta$  和横轴方向Y相同,偏航轴  $A\phi$  和垂直方向Z相同。

[0067] 根据本发明的实施例,所述换能器元件  $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$  中的每一个包括压电元件,例如压电谐振器,其被放置在线性换能器TT的多个表面之一的内部或其上。

[0068] 当所述压电元件受电脉冲作用时,换能器元件  $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$  中的每一个能够振动并发射声波,特别是超声波束。因此,线性换能器被配置为从可电激励的换能器元件并彼此独立地生成超声波束。基本超声波束可以包括平波、球面波,或者任何类型的适于使用超声检测部件的波。

[0069] 根据本发明的实施例,所述换能器元件  $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$  中的每一个被配置为在部件P的表面S的方向上发射基本超声波束。因此基本超声波束的发射对应于每个换能器元件。基本超声波束  $F_1$  的发射对应于换能器元件  $T_1$ ,基本超声波束  $F_2$  的发射对应于换能器  $T_2$ ;如此随后基本超声波束  $F_{16}$  对应于最后一个换能器元件  $T_{16}$ 。

[0070] 根据本发明的实施例,发射基本超声波束  $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$  的频率可以在20kHz到20MHz之间的范围内选择。特别地,发射基本超声波束  $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$  的频率可以选择为大于等于1MHz且小于等于20MHz。

[0071] 根据本发明的实施例,多个换能器元件  $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$  中的每一个的发射超声波束  $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$  的频率选自一个范围内,该范围使得能够使由换能器元件所测量的信号具有足够的分辨率。

[0072] 根据本发明的实施例,由换能器元件  $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$  发射的基本波束  $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$  可以被依次或是同时产生。

[0073] 根据本发明的实施例,基本超声波束可以通过使用一个延时规律或若干延时规律而被聚焦。该延时规律或这些延时规律,使得能够将所述基本超声波束  $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$  特定地导向至部件P。

[0074] 特别地,超声波束的动态成型可以通过施加延迟给用于激励每个换能器元件的电信号来实现。选择适合的延迟使得能够修改所发射的超声波束的特性,特别是在该超声波束的方向或者取向上。

[0075] 在图1a中,线性换能器TT被放置在位置  $P_i$  上。位置  $P_i$  是从位于面对部件的表面S的多个位置  $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$  中选择的位置,并且在该位置上可以移动线性换能器TT。

[0076] 在位置  $P_i$  上,线性换能器TT的位置由六个坐标  $(X_i, Y_i, Z_i, \Psi_i, \theta_i, \phi_i)$  所定义,在由正交坐标系  $(X, Y, Z)$  的三个方向所定义的空间中,所述坐标  $X_i, Y_i$  和  $Z_i$  对线性换能器TT的空



间位置 $P_i$ 进行定位,三个角坐标 $\Psi_i$ 、 $\theta_i$ 和 $\Phi_i$ 关于可能与所述正交坐标系 $(X,Y,Z)$ 的方向平行的三个正交方向对线性换能器TT的角度方位进行定位。

[0077] 在图1b中,线性换能器TT被移动至不同于位置 $P_i$ 的另一位置 $P_j$ 。应当理解的是,线性换能器TT可以被移动至多个位置 $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 中的 $m$ 个位置。根据本发明的实施例所构成的应用,位置的数量 $m$ 可以选自1至10000之间,并且优选地 $m$ 等于100。例如,线性换能器TT可以在180度的间隔内旋转移动。因此由对该间隔进行的测量所获得的精度等于180度除以 $m$ 值。

[0078] 根据本发明的实施例,换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 被配置为同时为信号的发射器和接收器。

[0079] 根据本发明的实施例,换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 中的每一个被配置为发射基本波束并接收回波信号或结构噪声。若干线性换能器可以被同时使用。此外,至少一个线性换能器的换能器元件可以用作为发射器,同时至少另一个线性换能器的换能器元件可以用于测量回波信号或结构噪声。

[0080] 在一种变化形式中,以下不同的配置可以被用于实施本发明的实施例:传输配置,其中,发射器换能器和接收器换能器被放置在待检测部件P的任意一侧;串联模式配置,其中,发射器换能器和接收器换能器被放置为一个在另一个的前面,或者另一种配置,其中,发射器线性换能器和接收器线性换能器被侧对侧地布置并面对部件P的表面S。

[0081] 因此,换能器元件可以在选自多个位置 $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 中的位置上测量多个回波信号 $\{E_1, E_2, \dots, E_m\}$ 中的给定回波信号,和/或多个结构噪声 $\{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ 中的一个结构噪声。所测量的回波信号 $\{E_1, E_2, \dots, E_n\}$ 定义了被基本超声波束 $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ 所遇到的缺陷Df的属性。

[0082] 根据本发明的实施例,多个基本超声波束被聚焦从而形成聚焦区域。在图1a中,线性换能器TT被放置在位置 $P_i$ 上,并且所发射的基本超声波束 $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ 被聚焦从而形成聚焦区域 $R_i$ 。在图1b中,线性换能器TT被移动至位置 $P_j$ 上,并且所发射的基本超声波束 $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ 被聚焦从而形成聚焦区域 $R_j$ 。

[0083] 根据本发明的实施例,每个聚焦区域的位置可以通过在聚焦位置上使每个基本波束聚焦并根据一个已选择的方向来修改。为此,相对于其他压电元件,通过施加延迟的电信号给线性换能器TT的每个换能器元件,可以得到基本超声波束 $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ 的特定聚焦。

[0084] 根据本发明的实施例,可以通过修改被施加于换能器元件中的每一个换能器元件的延时规律来修改每个基本超声波束的聚焦。

[0085] 因此,对被施加给换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 的电信号应用不同的延时规律,使得能够深入地检测部件P。超声波束的该动态成型使得能够修改由每个换能器元件所发射的超声波束的特性,并且因此可以具体实现在相对于线性换能器TT的位置 $P_i$ 的聚焦区域 $R_i$ 上对波束的聚焦。

[0086] 通过在多个位置 $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 之间移动线性换能器TT,因此可能形成多个聚焦区域 $\{R_1, R_2, \dots, R_m\}$ ,在聚焦区域中可以确定细长微结构M的存在,或者也可以确定部件P的缺陷Df的存在。

[0087] 在图2a中,包括 $n$ 个换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ (例如包括16个换能器元件)的线性换能器TT被移动至位置 $P_k$ 。基本超声波束 $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ 形成包括位于部件P的表面S之下的

缺陷 $D_f$ 的聚焦区域 $R_k$ 。

[0088] 根据本发明的实施例,换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 中的每一个被配置为接收并测量回波信号,该回波信号是由位于部件P的表面S之下的缺陷 $D_f$ 对基本超声波束的反向散射所产生的。例如,根据超声波束 $F_1$ 的发射,换能器元件 $T_1$ 测量回波信号 $E_1$ ,该回波信号 $E_1$ 是由缺陷 $D_f$ 的基本超声波束的反向散射所产生的。同样地,根据所示出的基本超声波束 $F_{16}$ 的发射,换能器元件 $T_{16}$ 测量由缺陷 $D_f$ 的 $F_{16}$ 的反向散射所产生的回波信号 $E_{16}$ 。

[0089] 在图2b中,线性换能器TT被移动至位置 $P_j$ 。基本超声波束 $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ 形成聚焦区域 $R_j$ ,该聚焦区域 $R_j$ 包括位于部件P的表面S之下的细长微结构的一部分。

[0090] 根据本发明的实施例,换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 中的每一个被配置为接收和测量结构噪声,该结构噪声是由位于部件P的表面S之下的细长微结构M对基本超声波束的反向散射所产生的。接着基本超声波束 $F_1$ 的发射,换能器元件 $T_1$ 测量由细长微结构M的基本超声波束 $F_1$ 的反向散射所产生的结构噪声 $B_1$ 。同样地,根据如所示出的基本超声波束 $F_{16}$ 的发射,换能器元件 $T_{16}$ 测量由细长微结构M的 $F_{16}$ 的反向散射所产生的结构噪声 $B_{16}$ 。

[0091] 参照图3,此处描述了用于对部件P进行无损检测的方法的步骤,该部件P包括根据本发明实施例的细长微结构M。

[0092] 所述检测方法包括步骤 $EA_i$ ,所述步骤包括将换能器移动至坐标为 $(X_i, Y_i, Z_i, \Psi_i, \theta_i, \phi_i)$ 的位置 $P_i$ ,该位置 $P_i$ 选自线性换能器TT能移动的多个位置 $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 中。

[0093] 当线性换能器TT被移动至位置 $P_i$ 时,该检测方法实现步骤 $EB_i$ ,所述步骤包括在位置 $P_i$ 上发射基本超声波束,在该步骤的过程中,换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 中的每一个在表面S的方向上发射基本超声波束。

[0094] 接着步骤 $EB_i$ ,该检测方法实现步骤 $EC_i$ ,所述步骤包括在位置 $P_i$ 上测量,在该步骤期间,由换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 中的每一个来测量回波信号 $E_i$ 和/或结构噪声 $B_i$ 。

[0095] 接着步骤 $EC_i$ ,该检测方法实现步骤 $EA_j$ ,所述步骤包括移动至位置 $P_j$ ,在该步骤期间,换能器TT被从位置 $P_i$ 移动至坐标为 $(X_j, Y_j, Z_j, \Psi_j, \theta_j, \phi_j)$ 的位置 $P_j$ 。该位置 $P_j$ 选自多个位置 $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 中,并不同于位置 $P_i$ ,在于位置 $P_j$ 的坐标 $(X_j, Y_j, Z_j, \Psi_j, \theta_j, \phi_j)$ 中的至少一者不同于位置 $P_i$ 的坐标 $(X_i, Y_i, Z_i, \Psi_i, \theta_i, \phi_i)$ 中的一个坐标。例如,步骤 $EA_j$ 可以由沿着方向X相对于位置 $P_i$ 移动线性换能器TT组成。在一种变化形式中,所述步骤 $EA_j$ 可以包括相对于在位置 $P_i$ 的线性换能器TT的取向将线性换能器TT旋转角度 $\Psi$ 、 $\theta$ 或 $\phi$ 。

[0096] 当线性换能器TT被移动至位置 $P_j$ 时,该检测方法实现步骤 $EB_j$ ,被称为在位置 $P_j$ 发射的步骤,在该步骤的过程中,所述多个换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 中的每一个再次在表面S的方向上发射基本超声波束。

[0097] 接着步骤 $EB_j$ ,该检测方法实现步骤 $EC_j$ ,被称为在位置 $P_j$ 上测量的步骤,在该步骤期间,由所述多个换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 中的每一个来测量回波信号 $E_j$ 和/或结构噪声 $B_j$ 。

[0098] 在步骤 $EC_j$ 结束时,该检测方法因此已使得能够测量在位置 $P_i$ 上的回波信号 $E_i$ 和/或结构噪声 $B_i$ 以及在位置 $P_j$ 上的回波信号 $E_j$ 和/或结构噪声 $B_j$ 。

[0099] 接着步骤 $EC_j$ ,该检测方法实现步骤 $ED_{ij}$ ,被称为在位置 $P_i$ 和 $P_j$ 之间的比较步骤,以

比较分别在步骤EC<sub>i</sub>和EEC<sub>j</sub>期间所测量的结构噪声B<sub>i</sub>的振幅和结构噪声B<sub>j</sub>的振幅。

[0100] 如果结构噪声B<sub>j</sub>的振幅大于结构噪声B<sub>i</sub>的振幅,那么检测方法再次依次实现步骤EA<sub>j</sub>、EB<sub>j</sub>、EC<sub>j</sub>和ED<sub>i j</sub>。

[0101] 如果结构噪声B<sub>j</sub>的振幅严格小于结构噪声B<sub>i</sub>的振幅,那么检测方法在线性换能器TT的位置上确定细长微结构M的伸长方向D。因此,通过分析由线性换能器TT所接收的信号,该检测方法使得能够通过识别结构噪声的振幅最小的位置来确定部件P中细长微结构M的伸长方向D。

[0102] 根据本发明的具体实施例,在多个位置{P<sub>1</sub>,P<sub>2</sub>,...,P<sub>m</sub>}中的每一个上所发射的多个基本超声波束{F<sub>1</sub>,F<sub>2</sub>,...,F<sub>n</sub>}被聚焦从而形成聚焦区域{R<sub>1</sub>,R<sub>2</sub>,...,R<sub>m</sub>}。

[0103] 令人惊讶的是,发明人已经证明了在部件P中由细长微结构所反向散射的结构噪声是各向异性的。结果是,由线性换能器TT通过在正交于细长微结构M的方向的平面中移动所测量的结构噪声信号的振幅,相比于由该同一线性换能器TT通过在包含细长微结构M的所述方向的平面中移动所测量的结构噪声信号的振幅,具有更大的波动。

[0104] 因此,当在所述线性换能器TT所移动的所有位置{P<sub>1</sub>,P<sub>2</sub>,...,P<sub>m</sub>}中结构噪声信号的振幅最小时,细长微结构M的伸长方向D的最佳近似值被确定为平行于该线性换能器TT的主方向O。根据本发明的实施例,主方向O可以和参考系(X,Y,Z)的纵轴方向X平行,线性换能器TT位于该参考系(X,Y,Z)的原点处。

[0105] 图4a、图4b、图5a和图5b示出了步骤ED<sub>i j</sub>的实现以确定在部件P中的细长微结构M的伸长方向D。当在多个位置{P<sub>1</sub>,P<sub>2</sub>,...,P<sub>m</sub>}中的一个位置上,所测量的多个结构噪声{B<sub>1</sub>,B<sub>2</sub>,...,B<sub>m</sub>}中的一个结构噪声的振幅最小时,确定伸长方向D。通过在多个位置{P<sub>1</sub>,P<sub>2</sub>,...,P<sub>m</sub>}上移动线性换能器TT根据需要多次实现步骤EA<sub>j</sub>、EB<sub>j</sub>、EC<sub>j</sub>和ED<sub>i j</sub>,可以近似地或也可以迭代地确定所述伸长方向D。

[0106] 图4a表示根据本发明实施例的被移动至第一位置P<sub>i</sub>的线性换能器TT。特别地,线性换能器TT和多个换能器元件{T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>,...,T<sub>n</sub>}被移动至平行于XY平面并穿过第一位置P<sub>i</sub>的平面。该第一位置P<sub>i</sub>位于部件P中细长微结构M的垂直方向上。所述线性换能器TT的主方向O不平行于在第一位置P<sub>i</sub>上的细长微结构M的伸长方向D。因此,定义为在主方向O和在第一位置P<sub>i</sub>上的伸长方向D之间的角度的角θ<sub>i</sub>是非零值。

[0107] 图4b表示第一结构噪声B<sub>i</sub>的振幅A随时间T的演化,当线性换能器TT被移动至所述第一位置P<sub>i</sub>时,所述第一结构噪声是由多个换能器元件{T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>,...,T<sub>n</sub>}中的每一个所测量的结构噪声的总和。所测量的所述第一结构噪声B<sub>i</sub>的振幅等于A<sub>i</sub>。

[0108] 图5a表示根据本发明实施例的线性换能器TT被移动至第二位置P<sub>j</sub>。特别地,线性换能器TT被移动至平行于XY平面并穿过第二位置P<sub>j</sub>的平面。该第二位置P<sub>j</sub>位于部件P中细长微结构M的垂直方向上。当所述线性换能器TT被移动至第一位置P<sub>i</sub>时,在位置P<sub>j</sub>上,该线性换能器TT的主方向O不平行于细长微结构M的伸长方向D。定义为所述主方向O和在第二位置P<sub>j</sub>的所述伸长方向D之间的角度的角θ<sub>j</sub>是非零值,且该角θ<sub>j</sub>小于角θ<sub>i</sub>。

[0109] 结果,所述线性换能器TT的主方向O在第二位置P<sub>j</sub>比在第一位置P<sub>i</sub>,与细长微结构M的伸长方向D具有更大的平行度。

[0110] 图5b表示第二结构噪声B<sub>j</sub>的振幅A随时间T的演化,当线性换能器TT被移动至第二位置P<sub>j</sub>时,所述第一结构噪声B<sub>j</sub>是由多个换能器元件{T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>,...,T<sub>n</sub>}中的每一个所测量的结

构噪声的总和。所测量的所述第二结构噪声 $B_j$ 的振幅等于 $A_i$ 。

[0111] 当实现步骤 $ED_{ij}$ 时,根据本发明实施例的该检测方法对比了两个振幅 $A_i$ 和 $A_j$ 。通过与图4b进行对比,所述振幅 $A_j$ 小于所测量的第一结构噪声 $B_i$ 的振幅 $A_i$ 。

[0112] 对应于图4a、图4b、图5a和图5b所示的情形,在结构噪声 $B_j$ 的振幅 $A_j$ 大于或等于结构噪声 $B_i$ 的振幅 $A_i$ 的情况下,移动至第二位置 $P_j$ 的线性换能器TT的主方向 $O$ ,相对于当所述线性换能器TT被移动至第一位置 $P_i$ 时,具有更小的平行度。在这种情况下,通过重复连续的步骤 $EA_j$ 、 $EB_j$ 、 $EC_j$ 和 $ED_{ij}$ ,将换能器移动至多个位置 $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 中的新位置。

[0113] 如果结构噪声 $B_j$ 的振幅 $A_j$ 小于结构噪声 $B_i$ 的振幅 $A_i$ ,结果是第二位置 $P_j$ 的线性换能器TT的主方向 $O$ ,相对于当所述线性换能器TT移动至第一位置 $P_i$ 时,具有更大的平行度。在这种情况下,线性换能器TT的主方向 $O$ 提供了细长微结构M的伸长方向D的良好近似值。

[0114] 基于步骤 $ED_{ij}$ 的实施,将线性换能器TT移动至一个位置,在该位置上所测量的多个结构噪声 $\{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ 中的一个的振幅最小,这样使得能够将所述线性换能器TT的主方向 $O$ 和细长微结构M的伸长方向D对齐。已知所述线性换能器TT的主方向 $O$ 使得能够推导出细长微结构M的伸长方向D。

[0115] 根据本发明的实施例,根据选自多个位置 $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 中的若干位置,仅将线性换能器TT平移移动至最优位置,在该位置上所测量的多个结构噪声 $\{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ 中的一个的振幅最小。然后仅旋转移移动该线性换能器TT(例如以180度的间隔),直到所测量的结构噪声的振幅最小。

[0116] 图6a、图6b和图6c表示用于实现本发明实施例的线性换能器TT的横截面图。

[0117] 图6a是所述线性换能器TT在XY平面上的横截面图。该线性换能器TT可以被用在检测设备中以实现本发明,并且该线性换能器TT包括,例如,沿主方向 $O$ 布置的16个换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_{16}\}$ 。

[0118] 根据本发明的具体实施例,换能器元件中的每一个具有基本矩形形状,所述基本矩形形状包括大尺寸 $a$ 和小尺寸 $b$ ,所述换能器元件沿着大尺寸 $a$ 彼此连续地布置。

[0119] 在图6a中,大尺寸 $a$ 和小尺寸 $b$ 分别是每个换能器元件在XY平面上的长度和宽度。因此包括16个换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_{16}\}$ 的线性换能器TT也为矩形,其长度为 $L_a$ ,宽度为 $L_b$ 。特别地,长度 $L_a$ 是线性换能器TT在XY平面上最大侧的长度,宽度 $L_b$ 是线性换能器TT在XY平面上最小侧的长度。

[0120] 根据本发明的实施例,所述多个换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 中的每一个的大尺寸 $a$ 和小尺寸 $b$ 分别等于10毫米和0.4毫米。

[0121] 非矩形设备,例如,圆形设备或环形设备,或也可以是包括单个换能器元件的单元件设备,不具有主方向。因此这样的设备不同于具有主方向 $O$ 的矩形线性换能器TT的情况。非矩形设备或单元件设备使得无法确定在部件P中细长微结构M的方向。

[0122] 图6b是线性换能器TT在XZ平面上的横截面图。图6c是该线性换能器TT在YZ平面上的横截面图,其中,仅换能器元件 $T_{16}$ 和与换能器元件 $T_{16}$ 接触的预聚焦镜头 $L_{16}$ 是可见的。

[0123] 根据本发明的实施例,换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_{16}\}$ 中的每一个包括沿着大尺寸 $a$ 布置的预聚焦镜头。应当理解,因此在多个换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_{16}\}$ 中的每一个换能器元件之下布置有多个预聚焦镜头 $\{L_1, L_2, \dots, L_{16}\}$ 中的预聚焦镜头。

[0124] 根据实施例,每个预聚焦镜头使得能够使所述多个基本超声波束 $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ 中

的基本超声波束聚焦从而形成位于部件P的表面S之下的聚焦区域 $\{R_1, R_2, \dots, R_m\}$ 。

[0125] 参照图7,本发明的目的还在于提供一种用于对包括有细长微结构M的部件P进行无损检测的设备DD。

[0126] 根据本发明的实施例,设备DD包括:

[0127] -位移装置MA,例如包括机械臂或移动支撑,线性换能器TT被布置在该机械臂或移动支撑上,且该位移装置MA被配置为以实现步骤EA<sub>i</sub>和EA<sub>j</sub>;

[0128] -多个基本超声波束 $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ 的发射装置MB,例如包括换能器元件或压电传感器,且该发射装置MB被配置为实现步骤EB<sub>i</sub>和EB<sub>j</sub>;

[0129] -回波信号E<sub>i</sub>和/或结构噪声B<sub>i</sub>的测量装置MC,例如包括发射装置MB的所述换能器元件或所述压电传感器,且该测量装置MC被配置为实现步骤EC<sub>i</sub>和步骤EC<sub>j</sub>;以及

[0130] -用于确定细长微结构M的伸长方向D的装置MD,例如包括信息处理系统、外围设备、微型计算机、工作站或也可以是移动电信终端,且该装置MD被配置为实现步骤ED<sub>i j</sub>。

[0131] 根据本发明的实施例,确定装置MD被配置为处理由换能器元件 $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ 中的每一个所检测的信号,并将这些所检测的信号和其他信号、或参考信号进行比较。

[0132] 根据本发明的实施例,设备DD还包括聚焦装置ME,例如包括多个预聚焦镜头以使多个基本超声波束 $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ 进行聚焦。由换能器元件 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 在多个位置 $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 中的每一个上发射所述基本超声波束。

[0133] 根据本发明的实施例,所述预聚焦装置ME被配置为在部件P的表面S之下形成聚焦区域 $\{R_1, R_2, \dots, R_m\}$ 。

[0134] 图8为用于实现本发明实施例的线性换能器TT的透视示意图。可以通过使用位移装置MA(例如移动支撑或机械臂)来移动所述线性换能器TT至部件P周围的空间。

[0135] 根据本发明的实施例,所述位移装置MA被配置为使线性换能器TT沿着三个正交轴X、Y、Z平移移动,并围绕三个正交轴A $\Psi$ 、A $\theta$ 和A $\phi$ 旋转移动。应当理解,正交轴X、Y、Z可以对应于参考系(X、Y、Z)的方向,该线性换能器TT位于该参考系(X、Y、Z)的原点上。

[0136] 根据本发明的实施例,三个正交轴A $\Psi$ 、A $\theta$ 和A $\phi$ 平行于三个正交轴X、Y和Z。

[0137] 根据本发明的实施例,位移装置MA可以包括用于在笛卡尔坐标、极坐标和/或球面坐标中编码的装置。

[0138] 以非限制性的方式,本领域的技术人员可以理解,本发明的实施例也可以被应用在医疗领域以检测器官或组织,例如软组织,将该软组织等同于包括细长微结构M的部件P。

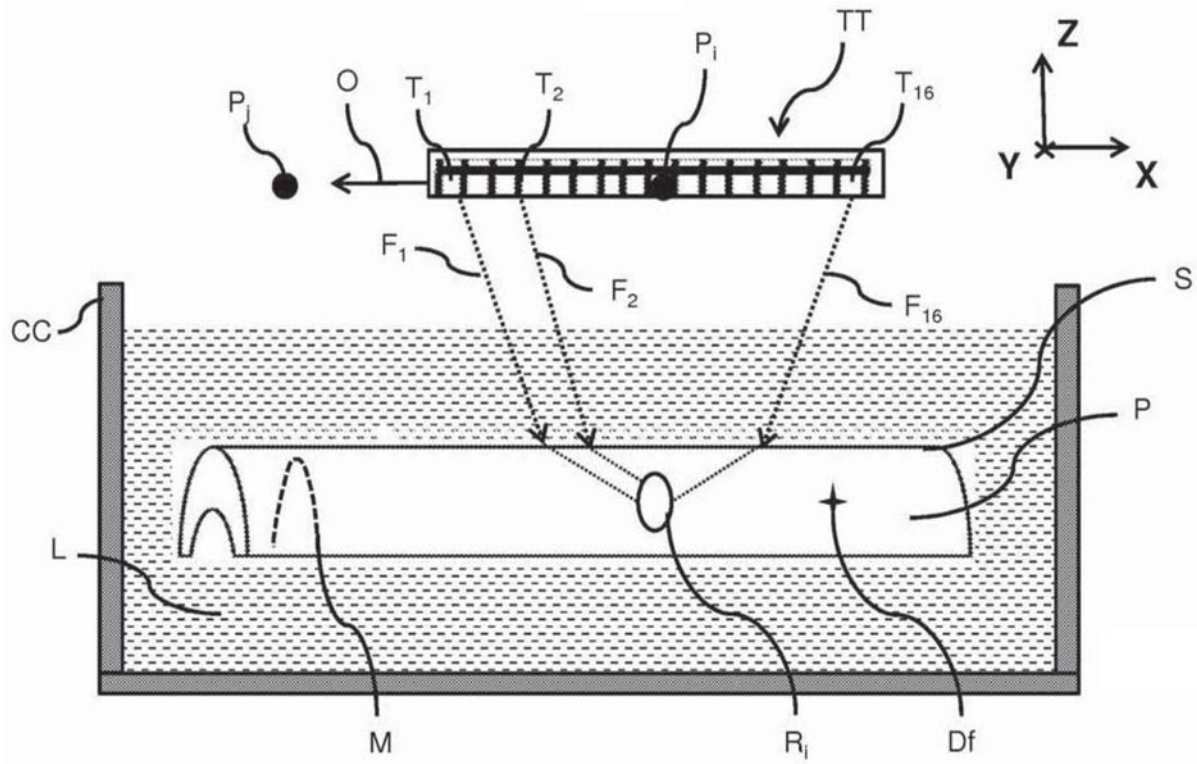


图1a

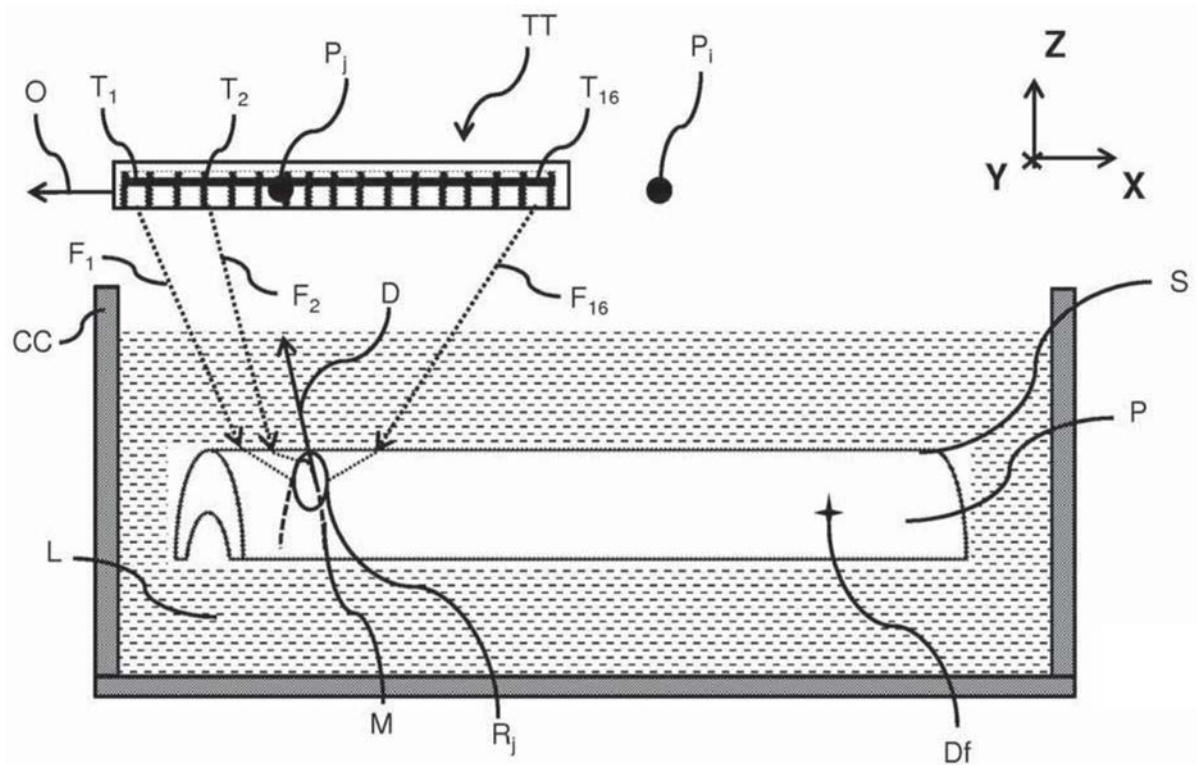


图1b

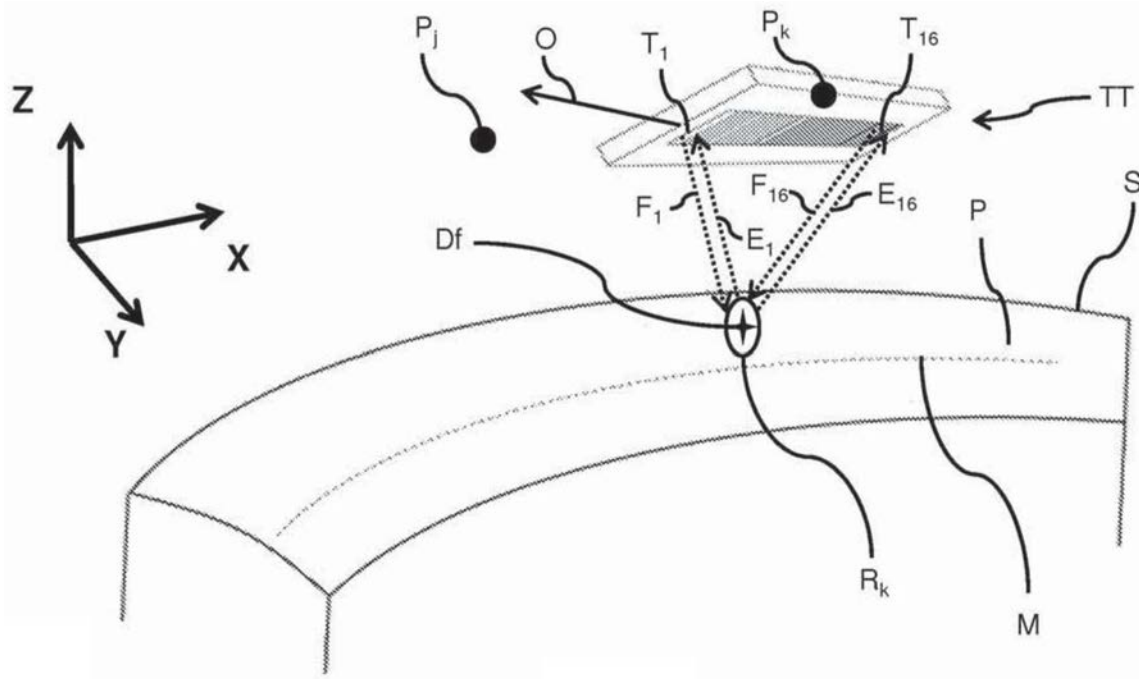


图2a

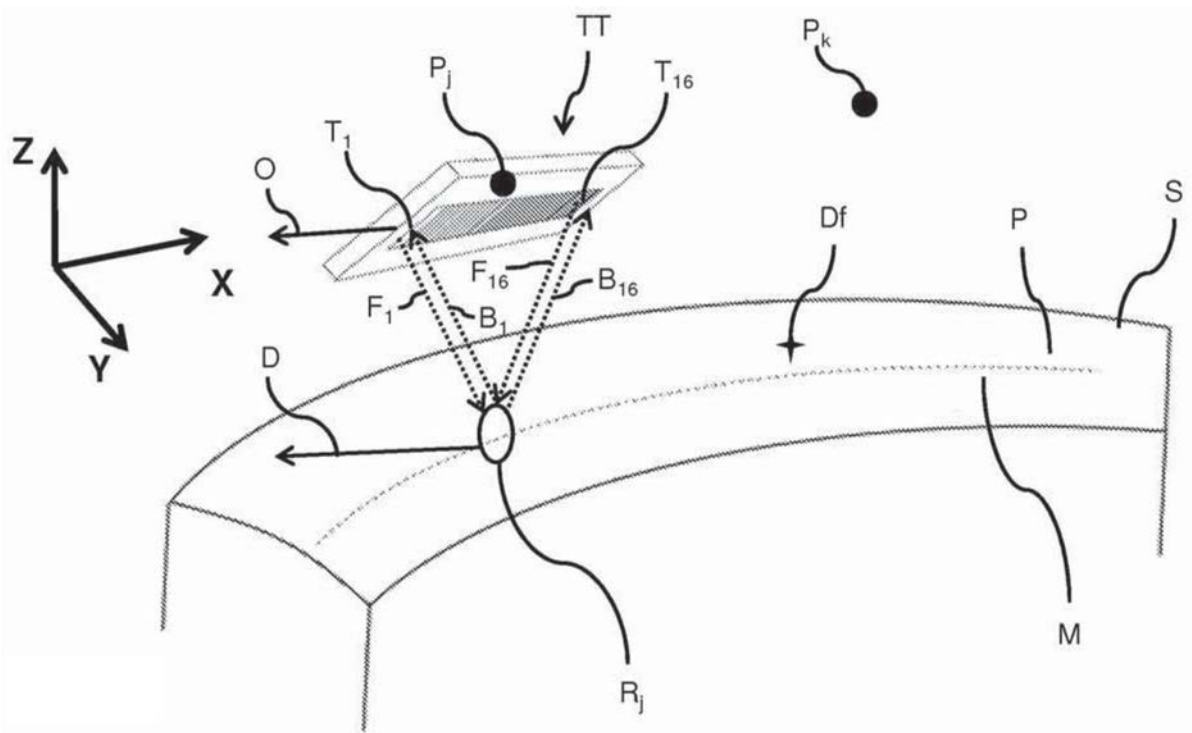


图2b

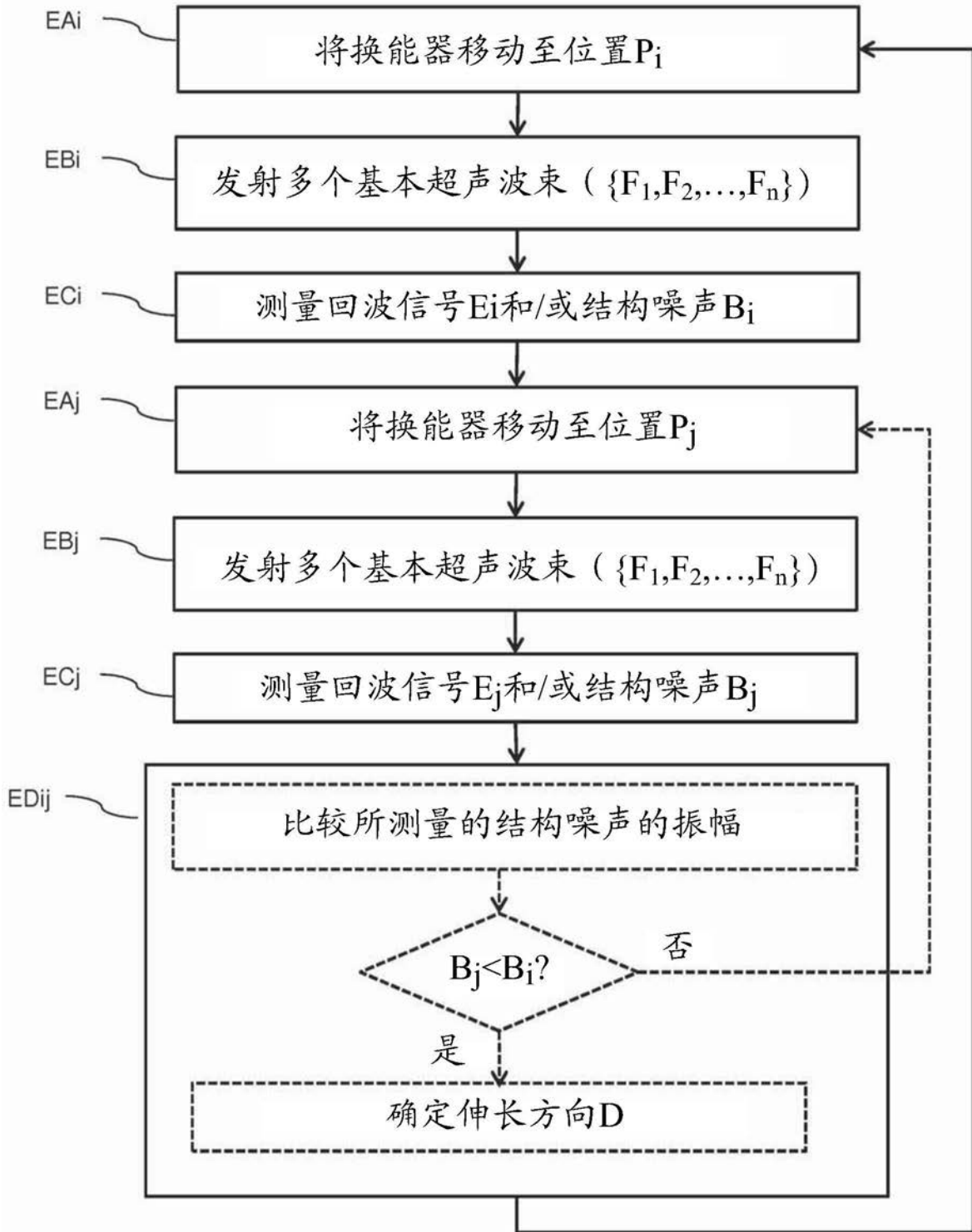


图3



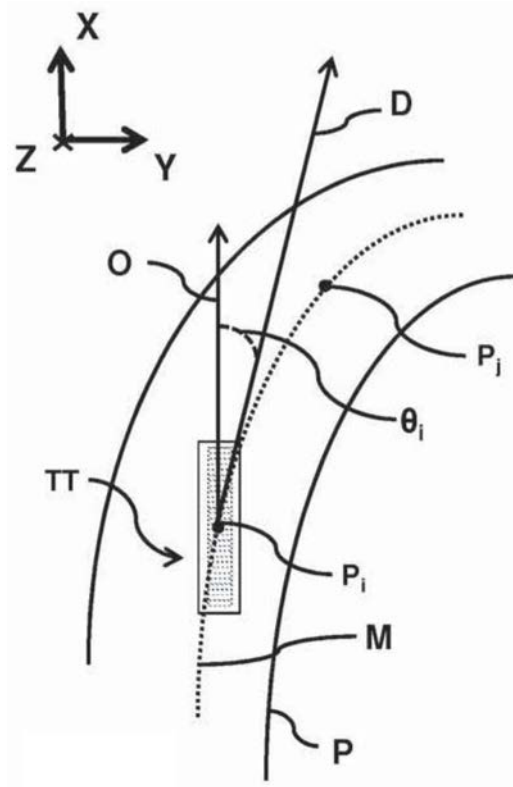


图4a

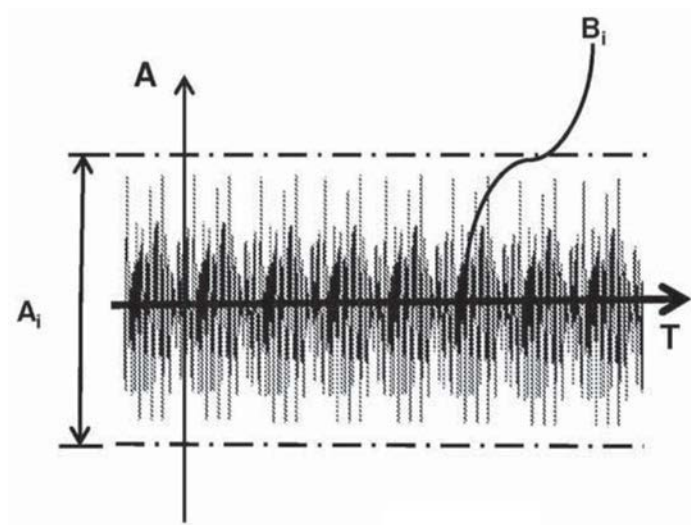


图4b

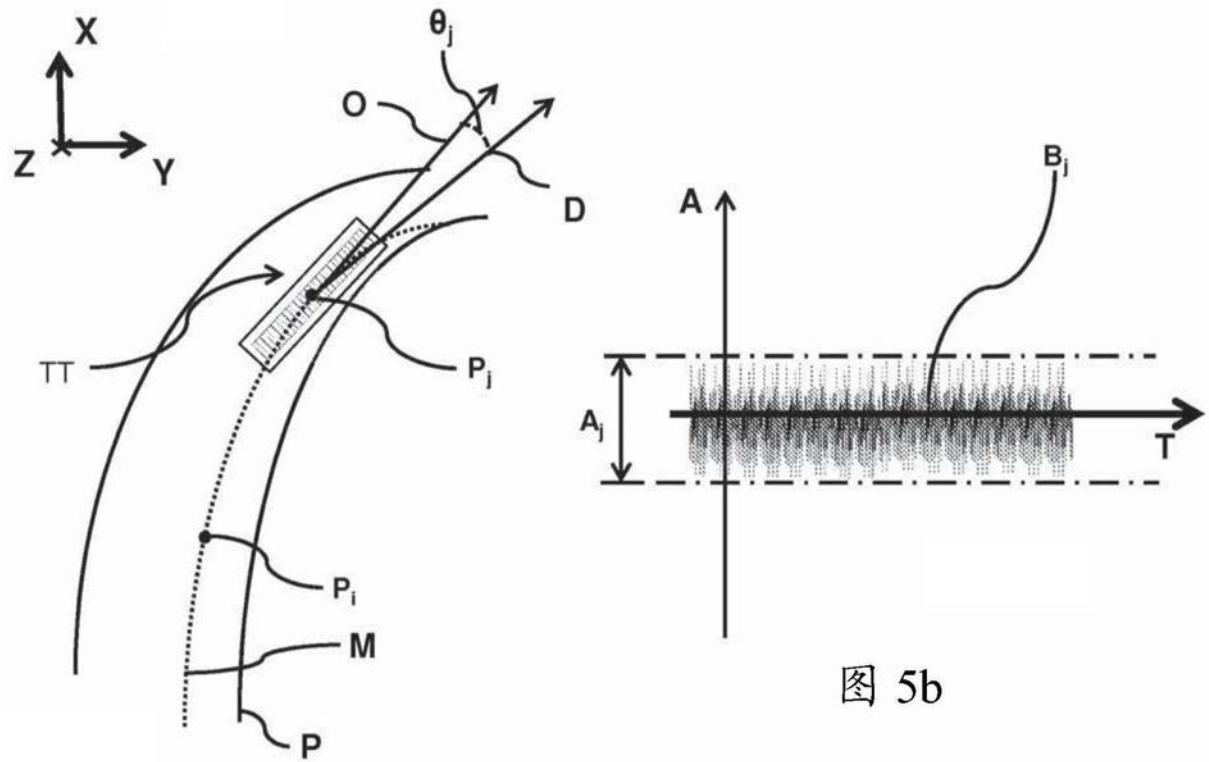


图 5a

图 5b

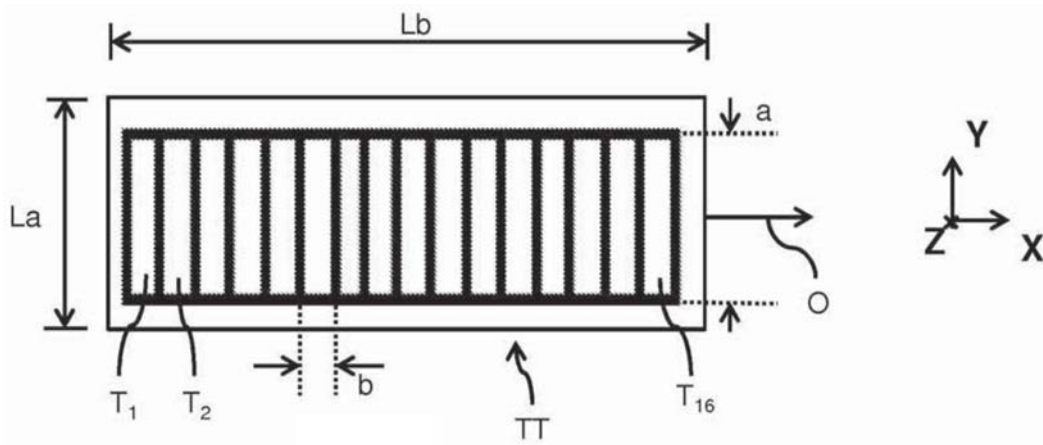


图6a

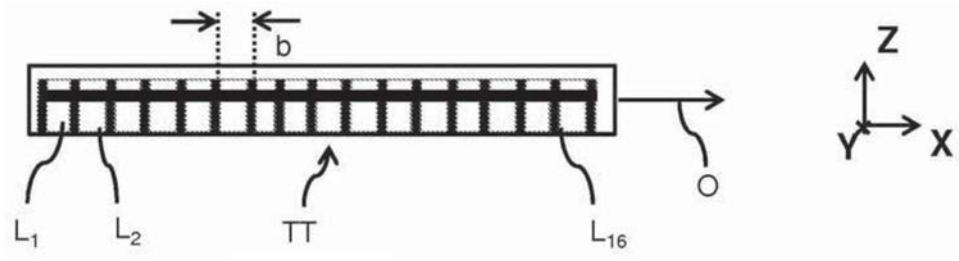


图6b

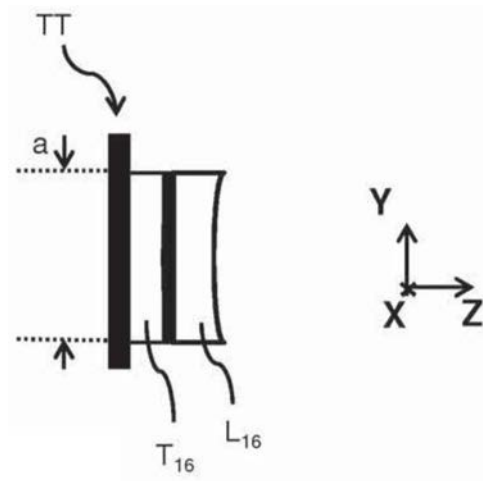


图6c

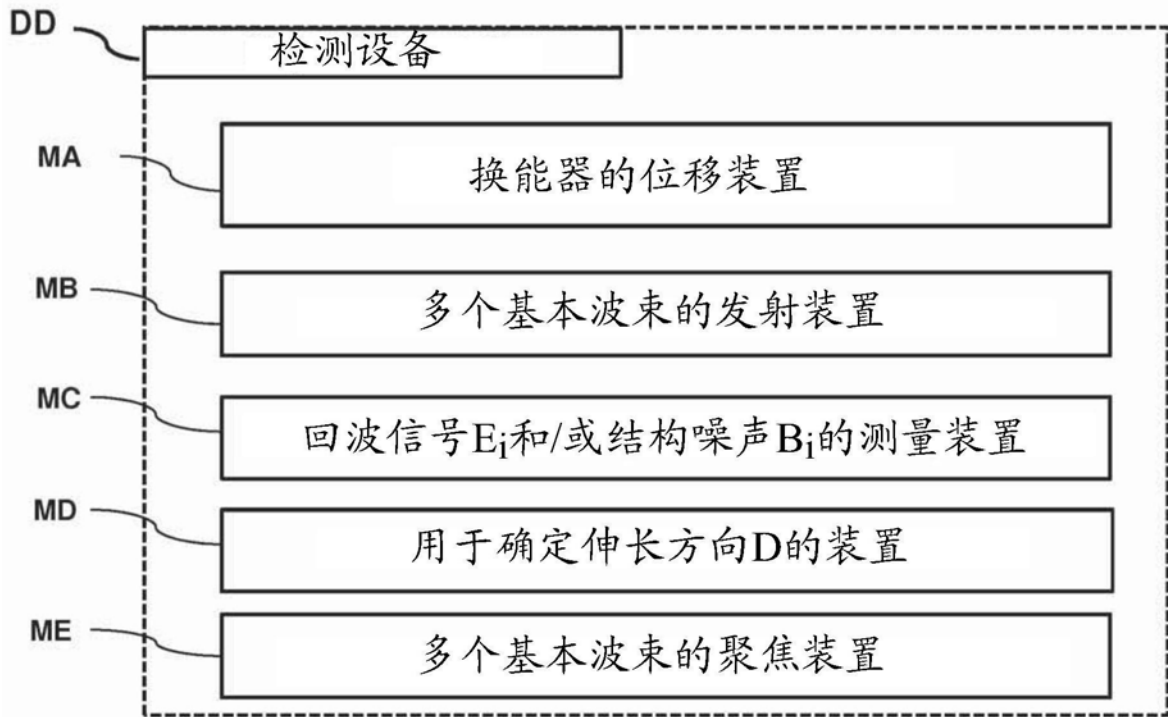


图7

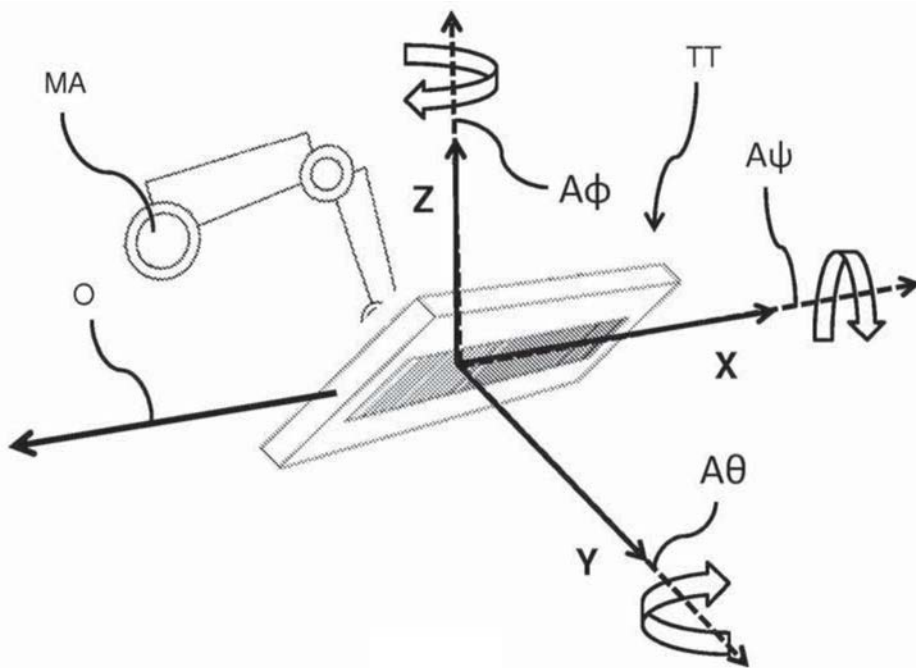


图8