



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101855572 B

(45) 授权公告日 2015. 09. 02

(21) 申请号 200880115761. 4

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

(22) 申请日 2008. 11. 12

代理人 蔡胜利

(30) 优先权数据

07/58964 2007. 11. 12 FR

61/006, 404 2008. 01. 11 US

(51) Int. Cl.

G01N 29/24(2006. 01)

G01S 15/89(2006. 01)

B06B 1/06(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2010. 05. 12

审查员 卢浩

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2008/065419 2008. 11. 12

(87) PCT国际申请的公布数据

W02009/062977 EN 2009. 05. 22

(73) 专利权人 超声成像公司

地址 法国艾克斯普罗旺斯市

(72) 发明人 F·瓦雷 M·佩尔诺 Y·马丁

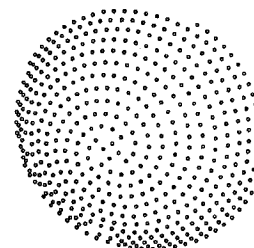
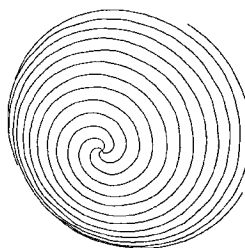
权利要求书1页 说明书9页 附图10页

(54) 发明名称

包括以螺旋线设置的设计成产生高强度聚焦波束的发射器三维网络的声穿透装置

(57) 摘要

本发明涉及一种用于声穿透环境或介质的装置 (1), 其被设计成在所谓的聚焦区域 (20) 中的点周围产生聚焦波束, 所述聚焦波束用来成像介质或改变介质的属性, 其中所述声穿透装置 (1) 包括内置或外置支撑结构, 在所述支撑结构上安装预定数量的超声传感器 (12) 的网络, 所述传感器被设计成独立受控以产生聚焦波束。根据本发明, 用于产生聚焦波束的传感器 (12) 沿着缠绕到三维凹面区域 (10) 上的至少两条同心螺旋线 (11) 空间均质布置, 其中三维表面区域的形状和尺寸被选择成允许束在预定焦距下最佳地聚焦, 且三维表面区域的凹面侧定向成朝向聚焦区域 (20)。



1. 一种用于声穿透介质的装置 (1), 所述装置被设计成在聚焦区域 (20) 中的点周围产生聚焦波束, 所述聚焦波束用来成像介质或改变介质的属性, 其中所述装置包括内置或外置支撑结构, 在所述支撑结构上安装预定数量的超声传感器 (12) 的网络, 所述传感器被构造独立地受控以产生聚焦波束, 其特征在于, 所述传感器 (12) 是尺寸大于两个波长的宽传感器, 所述传感器沿着至少两条同心阿基米德螺旋线 (11) 在所述支撑结构的凹面形式的三维表面 (10) 上的投影以规则间隔布置, 其中螺旋线的缠绕和传感器在螺旋线上的位置被选择成使得传感器在所述三维表面上的空间分布是均质的, 其中所述三维表面的形状和尺寸也被选择成允许束在预定焦距下最佳地聚焦, 且所述三维表面的凹面侧定向朝向聚焦区域 (20)。

2. 根据权利要求 1 所述的装置, 其特征在于, 所述三维表面 (10) 是球面的一部分, 所述球面的半径等于期望焦距。

3. 根据权利要求 1 所述的装置, 其特征在于, 所述螺旋线的数量在两条与二十条之间。

4. 根据权利要求 3 所述的装置, 其特征在于, 所述螺旋线的数量在七条与十三条之间。

5. 根据权利要求 1 所述的装置, 其特征在于, 所述螺旋线 (11) 选自 Clelia 螺旋线, 这种三维曲线由极坐标系限定, 其中 θ 是角度变量且 R 是球面的半径:

$$x = R \cos m \theta \cos \theta ; y = R \cos m \theta \sin \theta ; z = R \sin m \theta$$

其中, m 是用来确定所获得的总体积外形的参数。

6. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的装置, 其特征在于, 所述结构是内置结构, 且包括压电或半导体材料, 所述压电或半导体材料的表面 (10) 是三维的凹面, 其中压电或半导体材料被切分成多个独立的传感器元件, 其中仅沿着缠绕在压电或半导体材料的凹面形式的三维表面 (10) 上的至少两条同心螺旋线 (11) 布置的一些传感器 (12) 被激活, 以便形成聚焦束。

7. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的装置, 其特征在于, 所述凹面形式的三维表面 (10) 的尺寸和形状根据焦点 (0) 周围期望的焦轨迹 (20) 的最小尺寸和形状来确定。

8. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的装置, 其特征在于, 在传感器 (12) 沿着螺旋线 (11) 的分布已经确定之后, 传感器 (12i) 的中心位置在由盘 (C12i) 形成的表面上被随机调节, 盘 (C12i) 的中心是先前确定的传感器 (12i) 的中心的初始位置, 且半径小于或等于聚焦介质中的波长。

包括以螺旋线设置的设计成产生高强度聚焦波束的发射器 三维网络的声穿透装置

技术领域

[0001] 本发明大致涉及声穿透装置领域,该声穿透装置设计用来尤其在超声领域中产生聚焦波束。

背景技术

[0002] 通常被称为探头的这种声穿透装置被用来执行环境或介质的成像,或者事实上用来修改该环境的属性。例如,根据本发明的声穿透装置可被用来升高对应于聚焦区域的十分精确区域的温度,希望在聚焦区域中聚焦超声波束。这些装置尤其不仅可用于医学领域,还可用于水下成像和通信领域、陆相地下成像或者还用于非破坏性测试材料的领域。

[0003] 为了实现聚焦,技术人员熟悉使用N个超声源,该N个超声源由电子机构独立地控制相位和幅值,从而超声源的总能量在预定聚焦区域中达到局部最大值。

[0004] 传感器相对于环境以及相对于聚焦区域的定位是重要的,因为传感器确保借由声穿透装置执行成像或修改环境属性的动作的有效性和安全性。当然,由所有传感器衍射的场可根据传感器的定位及其几何尺寸来明显修改。

[0005] 因此,当传感器的布局具有对称性时,这会导致存在明显的旁瓣。这降低了聚焦的质量。具体地,然后,位于聚焦区域之外的点可接收显著数量的能量,而事实上这些区域根本不应经受由声穿透装置发射的能量。

[0006] 因此,由Goss等人于1996年11月在IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 43, No. 6上发表的名为“Sparse Random Ultrasound Phased Array for Focal Surgery”的文献提议在三维凹面区域上以竖直随机的方式产生传感器网络,唯一条件是保持在不同传感器之间的最小距离。

[0007] 三维凹面区域被用来在附加电子聚焦之前进行预聚焦,附加电子聚焦接着将通过向每个传感器单独地施加计算好的相位延迟来执行。相位延迟通常用在超声领域中。这些控制是通过限定数量的独立电子通道来实现的,这也限制可用在由本发明所采用的声穿透装置中的传感器的数量。

[0008] 然而,如前述文献中所述的传感器的随机分布具有这样的缺点:提出所有传感器在三维凹面区域中的非均质布局。当然,一些传感器可布置得十分接近而其它传感器可十分远离。这导致在所有发射区域上所发射能量的局部不均质密度。

[0009] 压力场的这种不均质性通常导致出现声能最大值,也称为“热点”。这些最大值在超声束进入环境中的入口处可能是大的,且可能导致对环境或对其表面的不可逆和不期望的损坏。最大值还可是在环境成像期间由环境返回的寄生波(parasitic wave)源。

[0010] 只要不是无限小的传感器以大于波长一部分的距离分隔时就会出现旁瓣。传感器控制通道的限定数量以及对形成足够大尺寸的探头的需要,都必要地导致出现不希望热点。

[0011] 三维凹面区域的形状使得这个问题加剧,该三维凹面区域已经被精确地设计以实

现聚焦。

发明内容

[0012] 本发明的主要目的是通过构想出一种用于声穿透环境的装置来克服已知声穿透装置的缺点,所构想出的装置被设计成在所谓的聚焦区域中的点周围产生聚焦波束,该波束用于成像环境或改变环境的属性,其中声穿透装置包括内置或外置支撑结构,在所述支撑结构上安装至少十个超声传感器的网络,所述传感器被设计成独立地受控以产生聚焦波束,其特征在于,用于产生聚焦波束的活性传感器是具有大于一个波长的尺寸的大传感器,该传感器沿着在三维凹面区域上的至少两条缠绕同心螺旋线布置,螺旋线的缠绕和传感器在螺旋线上的位置被选择成使得传感器在三维表面上的空间分布是均质的,三维表面的形状和尺寸也被选择成允许束以预定焦距最佳地聚焦,其中三维表面的凹面侧定向成朝向聚焦区域。

[0013] 在这种声穿透装置中,传感器在螺旋线中的分布具有不产生对称性的优势,同时仍提供大致规则分布,其中容易地控制传感器之间的距离。

[0014] 在将传感器分布在三维表面上的文中,使用螺旋线来分布传感器会允许实现在近场无不希望的热点的声穿透,同时还使得能够实现束以预定焦距最优化聚焦,因为螺旋线由装置本身的三维特征来支撑。

[0015] 使用几何预聚焦使得能够得到大天线增益且优化在焦点处超声束的强度。该几何预聚焦是通过将传感器布置在三维表面上来执行的,且尤其是将传感器布置在球面(球面的中心与焦点重合)的一部分上,或者布置在回转的椭球面的一部分上。

[0016] 传感器的空间分布的均质性是重要的,以便确保有效性以及保证根据本发明的声穿透装置的操作安全,这意味着当然必须实现在三维凹面区域上平均能量的空间均质分布。

[0017] 传感器空间分布的均质性是通过几个参数来保证的,参数即螺旋线的节距、在给定的螺旋线上两个连续传感器之间以及两条螺旋线之间的距离、要分布的传感器的数量、声穿透装置的尺寸以及如果装置由平坦螺旋线来设计的话那么所执行投影的性质。

[0018] 连同将传感器沿着螺旋线放置(这避免了存在热点),传感器的空间均质分布因此确保平均能量在三维凹面区域上的空间均质分布。传感器的“空间均质分布”意味着传感器的空间密度在三维表面上是均质的。

[0019] 在还包括在能量分布方面具有均质性的程度上,平均下来的均质性可意味着在规模上大于单个传感器的均质性的均质性。

[0020] 使用对称地缠绕在相同三维凹面区域上且用来分布超声传感器的两个同心螺旋线导致在所选焦点处由声穿透装置发射的能量的集中。发明人已经发现,这还导致在近场中观测到的旁瓣中的能量显著减少。当然使用单条螺旋线之后,所发射的能量大部分在焦点的方向上沿着螺旋线缠绕而分布。使用两条同心螺旋线允许能量分布在两条螺旋线上,且因此以更为均质的方式,其中强度局部更弱。该初始特征对于本发明来说尤其重要,因为该特征使得能够适配针对根据本发明的声穿透装置的安全要求。

[0021] 根据本发明的具体属性,三维表面是球面的一部分,该球面的半径等于期望的焦距。

[0022] 这个属性正是所需要的,以便实现在三维凹面区域中的聚焦,这是尤其简单和有效的,因为相对于装置的几何尺寸为天然的聚焦区域然后是球面的中心。

[0023] 根据一个有利属性,传感器分布在其上的螺旋线的数量在两条与二十条之间,优选地在七条与十三条之间。

[0024] 所使用的同心螺旋线的数量增加同时仍保持传感器沿着螺旋线的空间均质分布允许能量分布在大多数螺旋线上,从而组成更为均质的样式。该能量接着以更为均质的方式分布,其中强度局部更弱。螺旋线数量的增加会增强这种效果。

[0025] 根据本发明的具体属性,螺旋线是平坦的,且设置在平面内并投影到三维凹面区域上。

[0026] 平坦的螺旋线可选自阿基米德螺旋线、指数螺旋线或功率角类型螺旋线等。还可以使用不同类型的投影。当采用一条或多条阿基米德螺旋线且当三维凹面区域具有显著凹面侧时,于是投影优选地是立体的。只要凹面侧不十分显著,正交投影可以是有利的。

[0027] 这在三维凹面区域的中心部分与外围部分之间实现了螺旋线的均质分布,尤其在该表面是球面的一部分时。

[0028] 根据一个具体属性,螺旋线可以是球形的形式,该球形正好被确定在球面上。例如,可使用克莱丽亚螺旋线并且由直角坐标系或极坐标系如下描述的三维曲线,其中 θ 是角度变量且 R 是球面的半径:

$$[0029] \quad x = R \cos m \theta \cos \theta ; y = R \cos m \theta \sin \theta ; z = R \sin m \theta .$$

[0030] 在三维表面使用球面的一部分的情形中,该属性意味着螺旋线在投影到三维表面上期间不变形。

[0031] 通常,本发明借由外置支撑结构来实施。于是,该结构包括根据本发明属性的三维凹面区域,传感器通过插入到为此目的而提供的小孔中来放置在该结构上。然后,传感器可独立地且单个地受控。在这种情形中,小孔形成为通过外置支撑结构,跟随一条或多条螺旋线的轨迹,如本发明所说明的那样。

[0032] 然而,根据本发明的一个具体属性,支撑结构是内置的且包括压电或半导体材料,该材料的表面是三维的凹面,其中压电或半导体材料被切分成多个独立的传感器元件,仅一些沿着缠绕到压电或半导体材料的三维凹面区域上的至少两条螺旋线布置的传感器被激活,以便形成聚焦束。

[0033] 具有这种结构之后,可能从标准或半导体压电材料(例如,电容微加工超声传感器(CMUT)装置)直接形成根据本发明的声穿透装置,CMUT装置形成在三维凹面区域上,该三维凹面区域特定设计用于最佳地聚焦以期望焦距的波束。然后,本发明包括激活仅一定数量区域中的传感器,传感器包括例如压电或半导体物质的材料,以便构造基本传感器,其中压电材料的这些区域沿着根据本发明原理的两条或多条螺旋线布置。

[0034] 任何两个传感器之间的最小距离有利地处于由装置发射的辐射波长的量级。

[0035] 根据本发明的另一属性,三维凹面区域的尺寸根据焦点周围所期望的聚焦轨迹的最小尺寸来确定。

[0036] 关于所采用的给定尺寸传感器的给定数量,通常限制在可用于独立控制传感器的电子通道的数量,传感器的密度将与在传感器所分布的三维凹面区域的尺寸成反比。因此,三维凹面区域的尺寸与焦点周围期望的焦轨迹的最小尺寸正相关。因此,根据期望的焦轨

迹尺寸来选择声穿透装置的尺寸是需要保护的属性,且在本文中尤其重要,其中可传送限定数量的独立指令。

[0037] 根据本发明的特定有利属性,在传感器沿着螺旋线的分布已经被确定后,传感器相对于由螺旋线形成的几何曲线的中心或侧向位置针对几何曲线任一侧上的每个传感器被随机和独立地确定,该传感器位于垂直于螺旋线曲线的几何线段限定的位置处且该几何线段的长度小于或等于波长。

[0038] 具有这种属性后,将传感器布置在用来分布传感器的假想螺旋线的线性结构周围的通路中以及布置传感器的随机特征被用来引入对称的附加特定有利破坏。

[0039] 当聚焦通过探头轴之外(也就是说,在 O_x 和 O_y 轴上)的电子束转向来完成时,该对称破坏的影响是特别可观测的。当然在相位法被应用到传感器以便移动焦点的情形中,通常可观测到焦轨迹相对于由其几何尺寸确定的传感器焦轴的对称瓣,且该瓣通过引入在将传感器布置在螺旋线的线性结构任一侧上的随机特征而被精确地减少至显著程度。

附图说明

[0040] 在阅读下述说明并参考附图之后将能更清楚地理解本发明的其它特征和优势,该下述说明以描述性而非限制性的方式提供,在附图中:

[0041] 图 1 示出了声穿透装置的示意性透视图,其中描述了本发明的原理但是采用与本发明不对应的示例性附图;

[0042] 图 2 是图 1 中的平面 Oxz 中的声穿透装置的截面图,其中针对具有特定设计几何尺寸的声穿透装置解释了聚焦原理;

[0043] 图 3 给出了平坦螺旋线的示例;

[0044] 图 4 是在平面表面上的传感器分布的示例,且示出了图 1 中的声穿透装置的正视图,该声穿透装置具有沿投影到声穿透装置的三维体积中的平坦螺旋线布置的超声传感器网络;

[0045] 图 5 示出了当平坦螺旋线被投影到三维表面上时传感器的密度差异;

[0046] 图 6 示出了可用于形成根据本发明的声穿透装置的球面螺旋线;

[0047] 图 7 示出了特别设计用于正交投影到三维凹面区域中的功率角方程的平坦螺旋线;

[0048] 图 8 是根据本发明的声穿透装置的正视图,该声穿透装置具有沿着投影到声穿透装置的三维表面上的两个同心螺旋线布置的传感器网络;

[0049] 图 9 示出了针对现有技术的声穿透装置、具有仅一条螺旋线的声穿透装置以及根据本发明声穿透装置的一个实施例的相对于在焦点处的能量围绕焦轴以分贝表示的接收到近场的环境中的能量作为至焦点的距离的函数;

[0050] 图 10 示出了根据角度距离在焦平面中次瓣的最大功率与在焦点处的功率的比率,角度距离例如在 O_y 轴上以 mm 表示;

[0051] 图 11a、11b、11c 和 11d 描述了用于改善上述声穿透装置的各种原理。附图分别示出了四条同心阿基米德螺旋线、四条同心功率角螺旋线、四条同心球形螺旋线以及传感器沿着在图 11c 中所示出的四条螺旋线的最终分布;

[0052] 图 12a 和 12b 示意性地示出了针对具有不同开度和尺寸的两个三维凹面表面在

十一条同心螺旋线上的给定数量传感器的两种分布；

[0053] 图 13 示出了针对现有技术的声穿透装置以及针对根据本发明声穿透装置的四个实施例的相对于在焦点处的能量围绕焦轴以分贝表示的接收到近场的环境中的能量作为至焦点的距离的函数；

[0054] 图 14 示出了将随机特征引入到传感器在由螺旋线形成的线性结构任一侧上的定位的原理。

具体实施方式

[0055] 图 1 示出了声穿透装置 1 的第一实施例，图 1 描绘了本发明的原理但是具有与本发明不对应的简易附图。声穿透装置 1 包括以具有中心 0 的球面一部分的形式的三维凹面区域 10，螺旋线 11 缠绕在该凹面区域上，沿着螺旋线 11 以规则间隔放置 N 个传感器 12。

[0056] 要注意的是，在该附图中所表示的螺旋线 11 实际上仅是假想的元素，由传感器 12 的分布来体现。

[0057] 三维凹面区域 10 的凹面侧定向成朝向声穿透装置 1 的所谓的天然聚焦区域，在此处与所有传感器 12 是等距的区域，意思是围绕支撑三维凹面区域 10 的中心 0 的区域。

[0058] 在图 2 中描述了聚焦原理以及天然聚焦区域的位置，示出了在 OYZ 平面内图 1 中的声穿透装置 1 的部分。在该附图中，每个传感器 12 产生差不多是锥形的压力场。

[0059] 当每个传感器 12 放置在球面形状三维凹面区域 10 上时，传感器都定向成朝向该球面的中心 0 并因此在该点 0 附近产生最大的压力场。因此，在该焦点 0 周围产生聚焦区域 20。

[0060] 因此，声穿透装置 1 的几何尺寸尤其适合于该聚焦区域 20 的声穿透。

[0061] 预先选择该聚焦区域 20 相对于声穿透装置 1 所处的距离，并且然后在声穿透装置 1 的设计期间根据希望的焦距来选择三维凹面区域 10 的曲率或此处的半径 R。

[0062] 接下来，将单独计算的相位延迟引入到由每个传感器 12 发出的信号中的已知技术可用来移动在天然聚焦区域 20 附近的最大压力区域，如图 2 中所示。于是，由声穿透装置 1 提供一定的纬度，以便在 Z 轴上和 / 或 X 和 Y 轴上移动最大压力区域。最大压力区域沿着 OX、OY 和 OZ 轴的移动对应于产生聚焦波束的电子转向。

[0063] 如图 1 示意性地所示，为了独立地控制传感器 12 的发射，声穿透装置 1 连接到控制模块 13。该控制模块 13 包括 N 个电子通道，每个通道设计成独立地控制在图 1 中所示声穿透装置 1 的 N 个传感器 12 中的一个。

[0064] 由于每个传感器 12 在相位 φ 和幅值 A 方面通常可控，因此，控制模块 13 被设计成发射 N 个信号，即 $S_1(A, \varphi)$ 至 $S_N(A, \varphi)$ 。

[0065] 在递交该专利申请时可用的独立电子通道的数量 N 大致是 512。然而，本发明的原理对于可能的任何数量 N 都保持有效，甚至在将来 N 增加时也是如此，只要两个传感器之间的距离不小于一个波长。

[0066] 人们也知道传感器之间的距离通常大于一个波长，因为必须使用十分宽的传感器，以便在焦点处通过限定数量的传感器来产生足够高超声能量。

[0067] 于是，这种传感器具有大于中心发射频率的数个波长的尺寸，且传感器的中心因此至少由其尺寸分离，该尺寸大于中心发射频率的波长。具体地，本发明所涉及的传感器具

有大于在中心发射频率处的两个波长的特征尺寸。例如,可使用具有 6mm 直径的传感器,当传感器在水或软组织中以 1MHz 的频率操作时该传感器已经对应于四倍的波长。

[0068] 图 3 提出了恒定节距的平坦螺旋线 30 的示例。这种螺旋线已知为阿基米德螺旋线或阿基米德螺旋。在这种螺旋线中,通过用螺旋线 30 与轴 (OX) 或 (OY) 相交来确定的两个连续点之间的距离 d 总是恒定的。

[0069] 螺旋线的方程是 $\rho = a\theta + b$, 其中 ρ 是极半径, θ 是涉及的角度, 且 a 是螺旋线的节距。 b 的值对应于螺旋线 30 的起点。当 $b = 0$ 时该起点是螺旋线的中心, 这是图 3 中所示的情形。

[0070] 根据本发明, N 个传感器 12 接着沿着该螺旋线 30 分布。如前所述, 传感器 12 的数量 N 从由控制模块 13 提供的独立电子通道的数量来大致确定。

[0071] 螺旋线上两个连续传感器 12 之间的距离被选择成服从两个传感器 12 之间的最小物理距离以及传感器 12 在三维表面 10 上的均质分布。该均质分布考虑到螺旋线 30 的节距 a , 该螺旋线 30 的节距 a 确定在两个传感器 12 之间观测到的最小距离, 该两个传感器 12 由经过螺旋线 30 的中心的给定直线上的螺旋线 30 的连续两圈来支撑。

[0072] 因此, 根据声穿透装置 1 的总尺寸和可被独立控制的传感器的数量 N 来确定螺旋线 30 的节距以及传感器 12 沿着该螺旋线 30 的分布。当然, 为了服从传感器 12 的均质分布, 传感器 12 按照在整个三维表面上恒定且相同的距离来有利地彼此分离。这意味着螺旋线的节距大致等于将由螺旋线 30 支撑的两个连续传感器 12 分离的距离。

[0073] 这在图 4 中示出, 其中 $N = 512$ 个传感器被放置在平坦螺旋线 30 上。传感器 12 的这种分布被投影到声穿透装置 1 的三维凹面区域 10 上。

[0074] 图 5 示出了正交投影到以球冠体的形式的三维凹面区域 10 上的原理。可以看出, 球冠体的中心区域 ZC 以及外围区域 ZP 必要地具有不同集中度的传感器 12。

[0075] 球冠体的中心部分 ZC 具有高集中度的传感器 12, 而外围部分 ZP 具有离得更远的传感器 12, 因为螺旋线 30 的圈数在投影期间彼此远离。因此, 传感器 12 在外围的集中度较低。传感器 12 的这种不均质分布导致在球冠体的中心区域 ZC 发射的能量的集中度。

[0076] 在中心区域 ZC 处积聚的能量可导致对环境或环境表面的损坏。当然, 可能观测到接收能量的强度引起在位于装置 1 的近场处的环境表面上加热的区域。

[0077] 图 3 的螺旋线 30 还可根据在三维凹面区域 10 上的逆向立体投影进行投影。投影参考点接着有利地选择成位于球面上, 该球面包括三维凹面区域 10。

[0078] 立体投影引起传感器 12 在三维凹面区域 10 的中心部分 ZC 与外围部分 ZP 之间的更佳分布。

[0079] 在实施方式的第二原理中, 在图 6 中示出的球面螺旋线 60 正好被用来将传感器 12 放置在以声穿透装置 1 的球面的一部分的三维凹面区域 10 上。

[0080] 图 6 示出了克莱丽亚 (Clelia) 螺旋线 60。螺旋线 60 的方程对应于点 M 以恒定速度在球面的表面上围绕球面的极轴的旋转运动。

[0081] 在直角坐标系中, 下述方程描述了这种运动并因此描述了螺旋线 60:

$$[0082] \quad x = R \cos m \theta \cos \theta ; y = R \cos m \theta \sin \theta ; z = R \sin m \theta$$

[0083] 在该方程中, x 、 y 和 z 是点 M 的直角坐标, R 是球面的半径, θ 是点 M 在 XOY 平面内的角度, 且 m 是用来确定所获得的总体积外形的参数。在图 6 的情形中, 参数 m 被选择成

能够产生球形螺旋线。

[0084] 接着,按照与前述类似的方式,对应于图 1 中球面一部分的该球形螺旋线 60 的一部分被用来放置 N 个传感器 12。于是得到的传感器 12 的表面分布在球面部分的中心部分 ZC 与外围部分 ZP 之间十分均匀。从而,螺旋线的两个连续圈之间的距离在一个圈跟随经过螺旋线 60 的中心的球面的外围时有效地是恒定的,而在平坦螺旋线 30 投影到三维表面 10 上的情形中时该距离增加。

[0085] 在第三实施方式中,如图 7 所示,假定使用正交投影能够影响放置在平坦阿基米德螺旋线上的传感器 12 网络的外围的变松,那么可使用平坦螺旋线的功率角方程以便得到平坦螺旋线 70,该螺旋线 70 在中心处变松而在外围处变得紧密。

[0086] 这种螺旋线的方程如下:

$$[0087] \quad \rho = a \cdot \theta^b$$

[0088] 当这种螺旋线 70 正交投影时,得到的球形螺旋线的节距可大致恒定,且因此导致在三维凹面区域 10 上的均质分布。参数 a 和 b 的选择使得能够将螺旋线 70 的形状与三维凹面区域 10 的曲率精确地匹配。

[0089] 通常,根据本发明原理的传感器 12 沿着三维螺旋线的分布具有优于产生不对称性的分布的优点,且还允许传感器的规则 and 均质分布。在该分布中,可能的是,以螺旋线的节距控制传感器 12 之间的距离和控制螺旋线上任何两个连续传感器 12 之间的距离。

[0090] 图 8 示出了本发明的实施例。根据本实施例,两条同心螺旋线被用来确定 N 个传感器 12 的分布。数量 (N = 512) 与图 4 中的相同。两条螺旋线相对于垂直轴线是对称的,且因此关于彼此以 180° 开始其缠绕。使用根据本发明的这两条螺旋线,针对给定数量的传感器将由图 4 中的声穿透装置发射的总能量的重力中心再对中。

[0091] 在本发明的该实施例中,作为传感器的分布基础,可能使用前述提及的每种类型的螺旋线,即从各种方程和投影得到的平坦螺旋线或者球形螺旋线。螺旋线的起始角以及节距被设计使得它们不重叠且以便得到传感器的均质分布,其中在给定螺旋线上的两个连续传感器 12 之间的距离差不多等于两条螺旋线的邻近圈之间的距离。

[0092] 图 9 示出了传感器 12 在根据本发明的单条螺旋线 1S 中、在半随机分布 QR 中以及在双螺旋线 2S 中的三种类型的分布的近场属性。

[0093] 曲线表示观测为至焦点 DF 的距离的函数能量 E。可以看出针对具有单条螺旋线 1S 的声穿透装置以及针对具有传感器 12 的半随机分布 QR 的声穿透装置的大致类似旁瓣 LS 的存在性。

[0094] 在另一方面,可以看出,使用根据本发明的双螺旋线 2S 明显减少或甚至消除旁瓣 LS。

[0095] 图 10 示出了以分贝表示的在焦平面中观测到的瓣的最大相对功率 PR 与根据在例如 Oy 轴上以 mm 表示的角度 A 在焦点处压力的幅值之间的关系。该相对功率 PR 对应于三个实施方式,其中两个实施方式根据现有技术而一个实施方式对应于在图 1 中示出的简易实施方式。第一个对应于支撑设置成环形方式 AN 的传感器的装置的情形,且第二个对应于传感器设置在单条螺旋线 1S 上情形,且第三个对应于传感器以半随机方式设置的情形。

[0096] 可以看出,传感器在一条(或多条)螺旋线中的设置导致类似于传感器的已知设置所观测到行为的角度行为。

[0097] 考虑到旁瓣的绝对功率而不是角度的情形,同心螺旋线数量的增加导致能量旁瓣以大多数不期望的方式降低。

[0098] 因此,在本发明的优选实施例中,同心螺旋线的数量增加。传感器在其上分布的螺旋线的数量增加将导致能量的空间更均质分布。这对旁瓣的幅值具有不期望的、显著且明显的影响。

[0099] 图 11a 和 11b 分别示出了四条阿基米德螺旋线和四条功率角螺旋线,该螺旋线彼此同心且等距。为了形成根据本发明的声穿透装置,于是这些螺旋线被投影到三维凹面区域 10 上且传感器沿着这些螺旋线布置。

[0100] 图 11c 和 11d 分别正确地表示四条同心球形克莱丽亚螺旋线,该螺旋线在其间具有相同的距离且 N 个传感器网络在该四条螺旋线上分布。

[0101] 图 12a 和 12b 分别正确地表示两个不同尺寸的探头, $N = 512$ 个传感器沿着十一条同心螺旋线放置在该探头上。在此,十一条同心螺旋线通过将十一条阿基米德螺旋线正交投影到三维凹面区域来实现。

[0102] 图 12a 的声穿透装置具有 180mm 的总直径,而图 12b 的声穿透装置具有 300mm 的总直径。曲率的半径都是一样的。由于在每种情形中传感器的数量相同,且因为投影关系和表面的增加,所以传感器彼此间隔的距离在图 12b 中比图 12a 中总体上更远。

[0103] 可以清楚地看出采用将十一条平坦螺旋线正交投影到三维凹面区域上而得到的传感器的这种分布,探头的总直径越大则三维凹面区域 10 的中心区域 ZC 与其外围区域 ZP 之间的传感器距离差异的问题就越为重要。当然,在图 12b 的探头的外围上,可以看出传感器 12 在由两条不同螺旋线支撑的传感器之间与由相同螺旋线支撑的连续传感器之间相比进一步分离。

[0104] 在本文中可以看出,使用球形螺旋线或平坦螺旋线的立体投影或者在角度功率中螺旋线的再次正交投影将是最有用的。

[0105] 图 13 示出了针对具有单个螺旋线 1S 的声穿透装置在近场的能量分布,且该声穿透装置具有传感器 12 的半随机分布 QR、七条螺旋线 7S、十一条螺旋线 11S 以及十六条螺旋线 16S 中的传感器分布。可以看出旁瓣的减少对于具有在十一条螺旋线 11S 或十六条螺旋线 16S 上的传感器分布的声穿透装置来说更有意义。还可以看出,在后两种情形中能量实际上会更好地分布。

[0106] 为了减少出现旁瓣,本发明发现了把随机元素引入到将传感器布置在由螺旋线形成的线性结构任一侧上是有效的。

[0107] 图 14 示出了这种属性。该附图示出了螺旋线 30 的圈的两个部分。当传感器 12i、12i+1、12j 的理论位置被确定在螺旋线的轨迹上以便形成传感器的空间均质分布且用十字线表示时,传感器的实际位置被随机地确定在由盘 C12i、C12i+1、C12j 形成的表面上,该盘的中心由传感器的理论放置来确定。盘的半径处于在聚焦环境中由传感器发射的波长的量级。

[0108] 有利地,传感器在螺旋线任一侧上的随机布置纬度被限定为在螺旋线的线性结构任一侧上的一个波长。

[0109] 这种属性引入了对称的附加破裂,从由声穿透装置发射的能量的空间分布来看,这是有利的。这证明了在束的角度增加时该对称破裂产生更为有利的结果。当然,相对于

声穿透装置的天然焦轴,近场中束的对称瓣受到限制。

[0110] 最后可以看出,在本发明原理的范围内,许多不同的实施方式都是可能的。

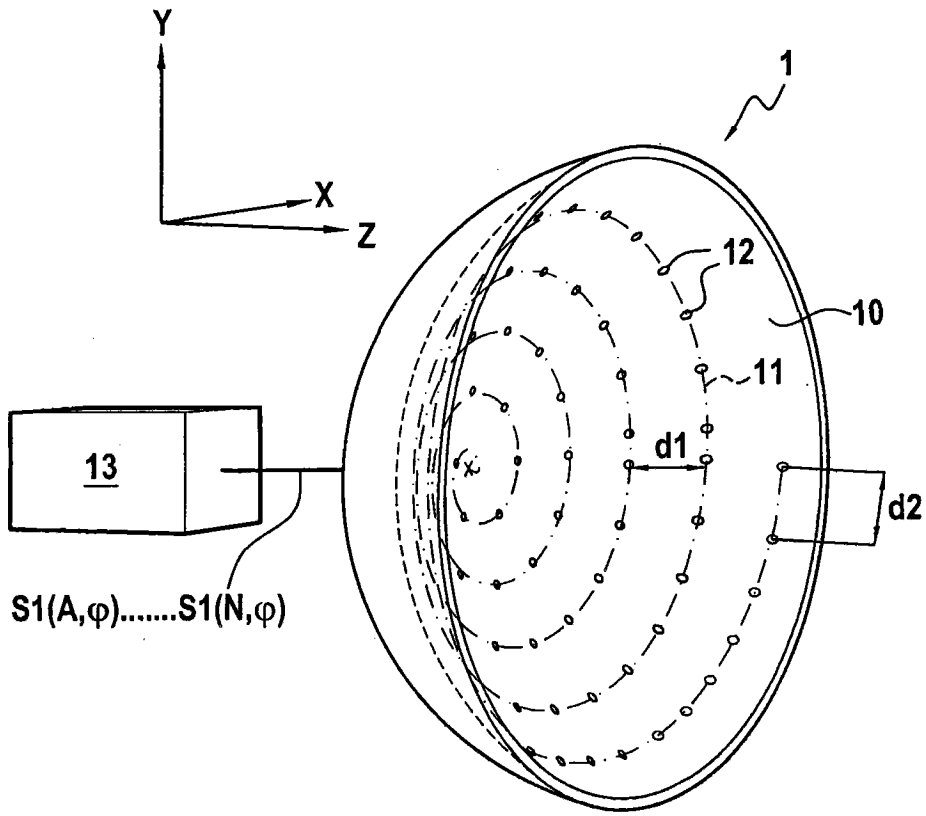


图 1

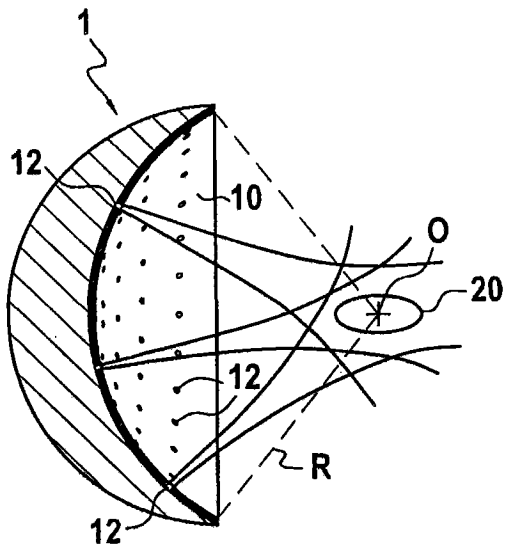


图 2

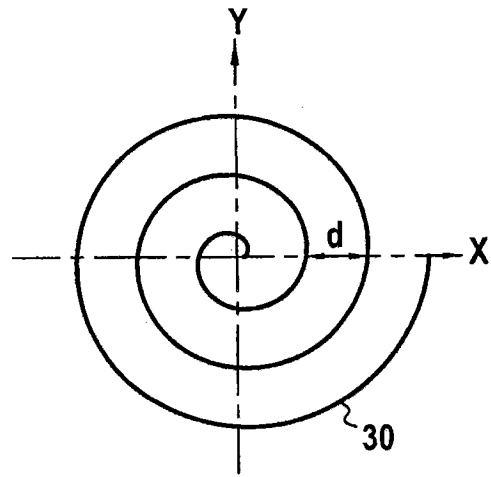


图 3

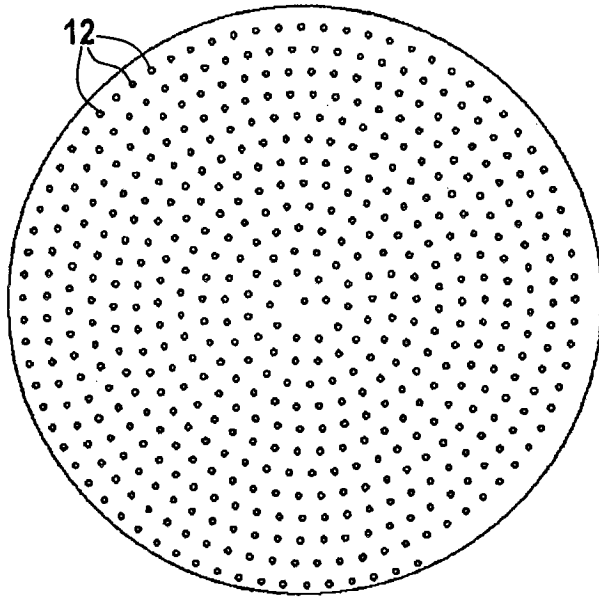


图 4

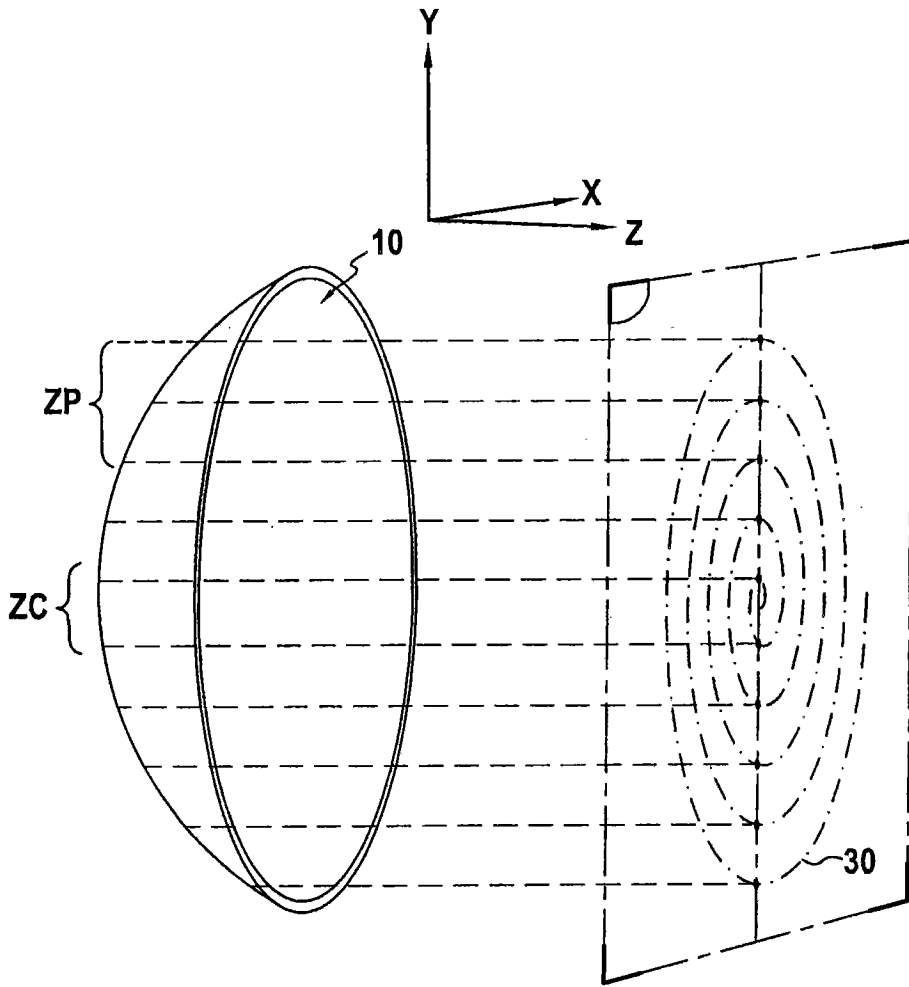


图 5

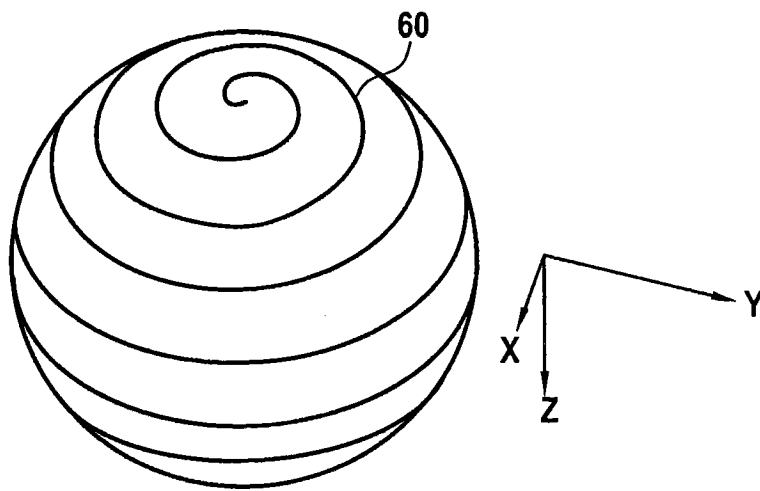


图 6

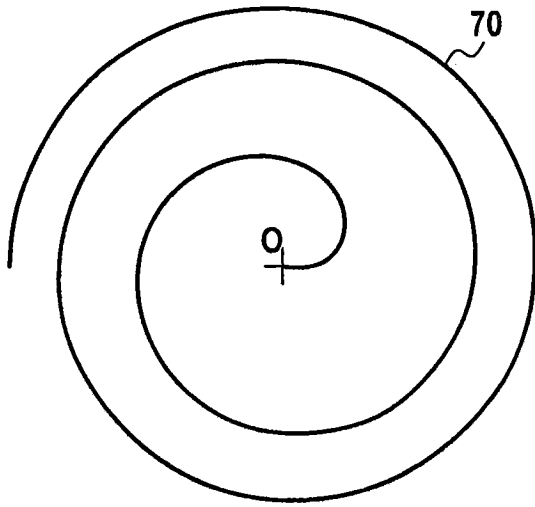


图 7

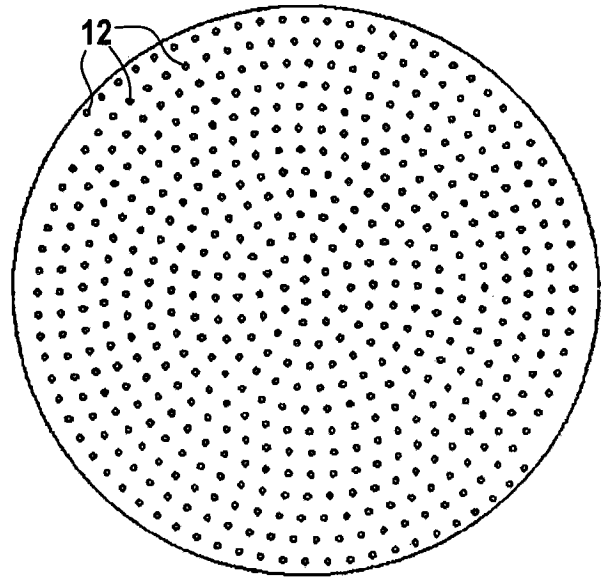


图 8

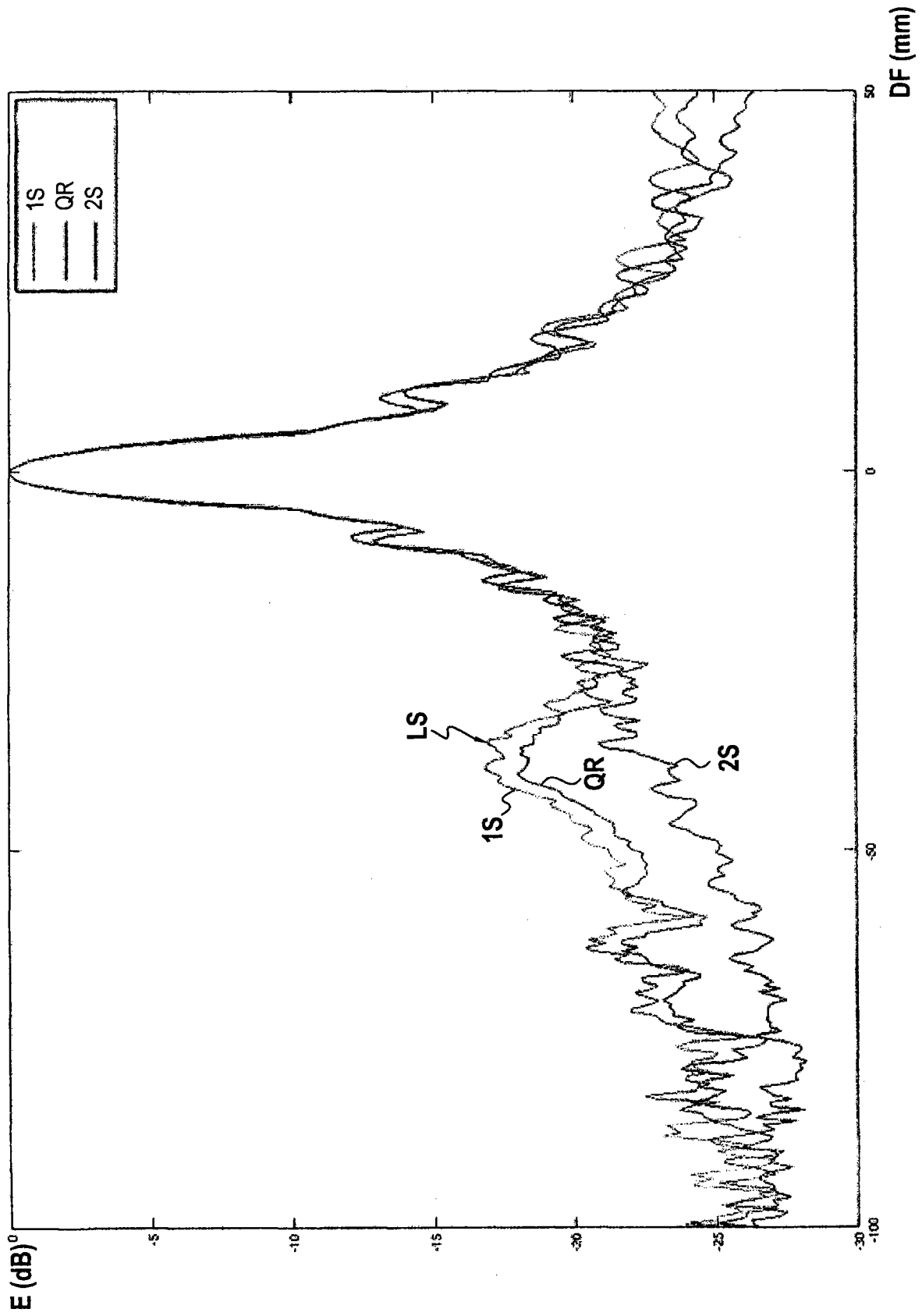


图 9

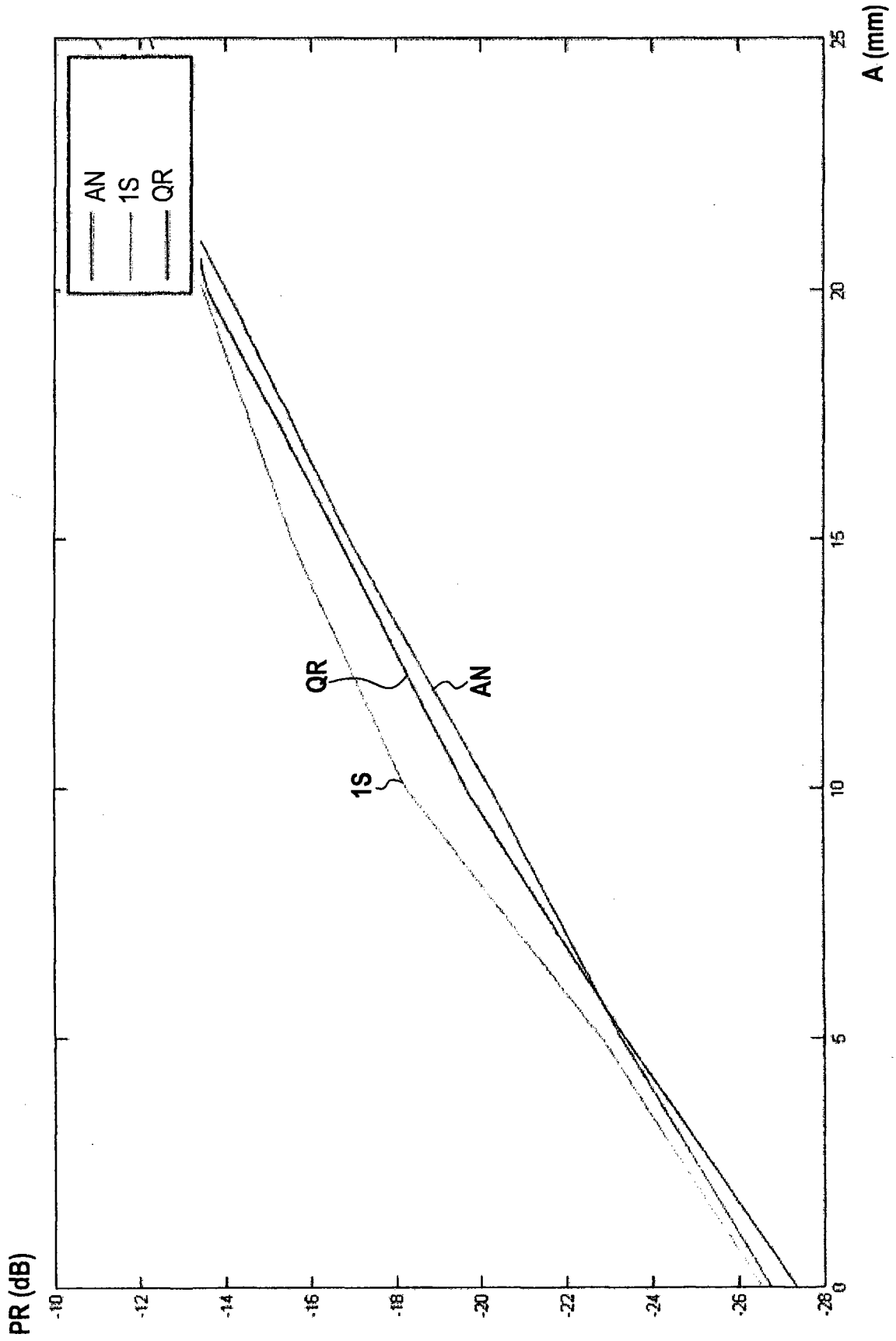


图 10

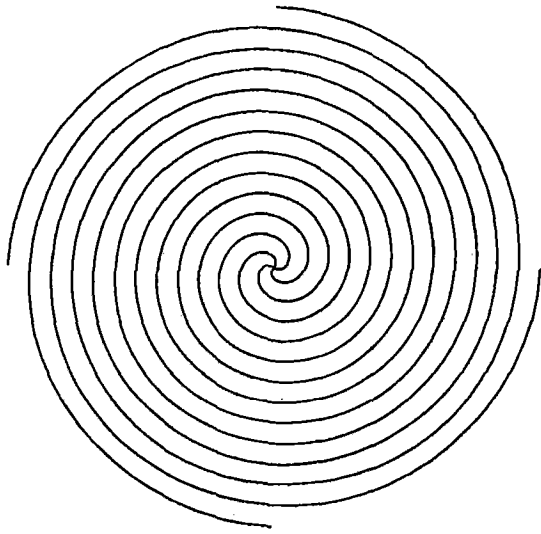


图 11A

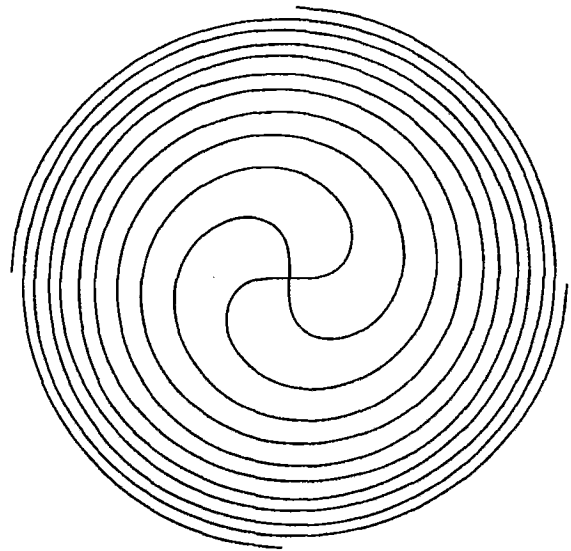


图 11B

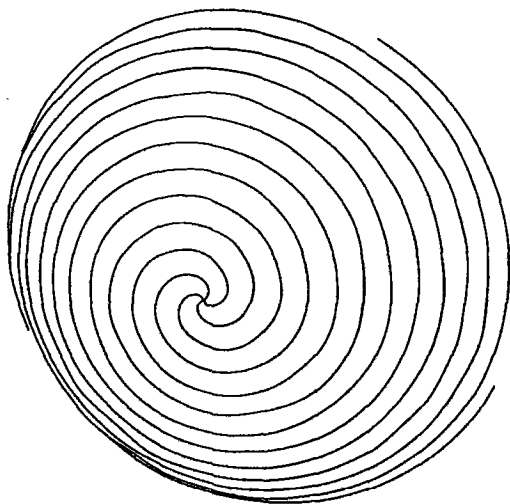


图 11C

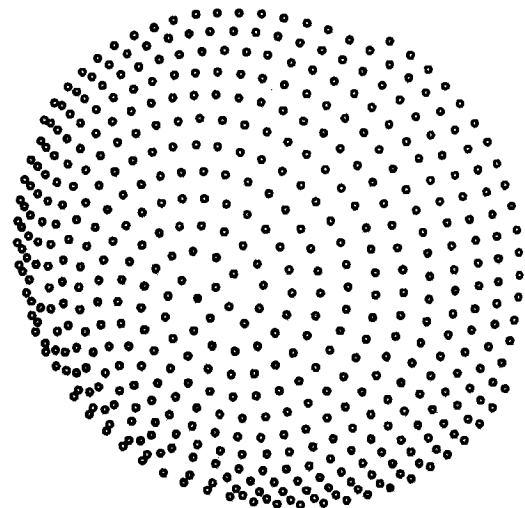


图 11D

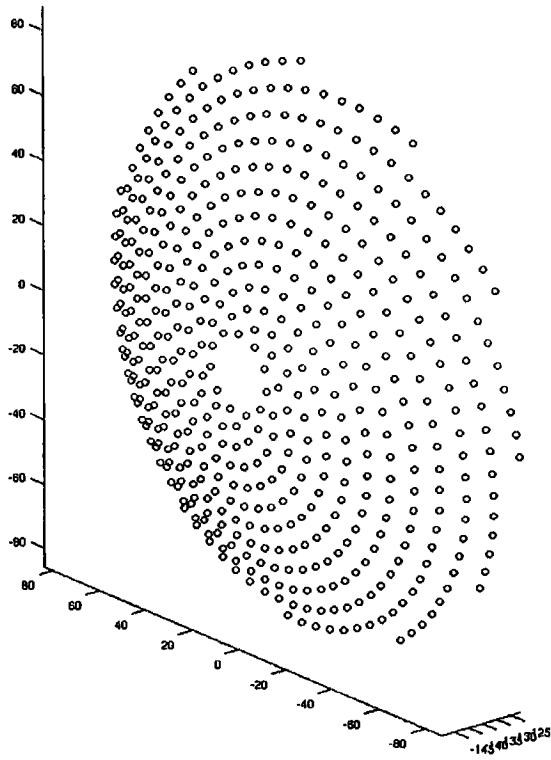


图 12A

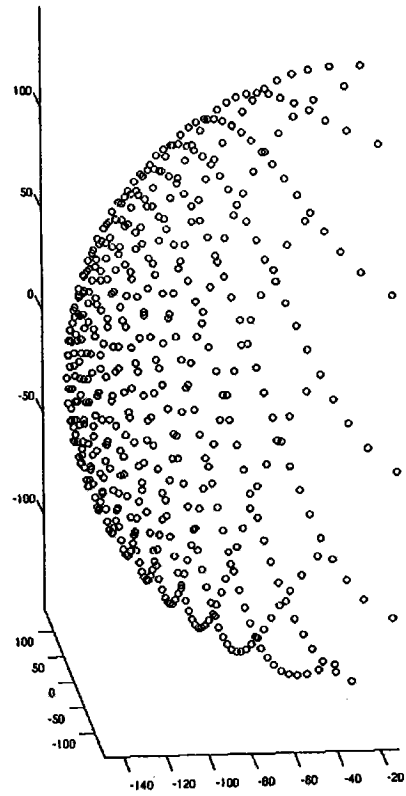


图 12B

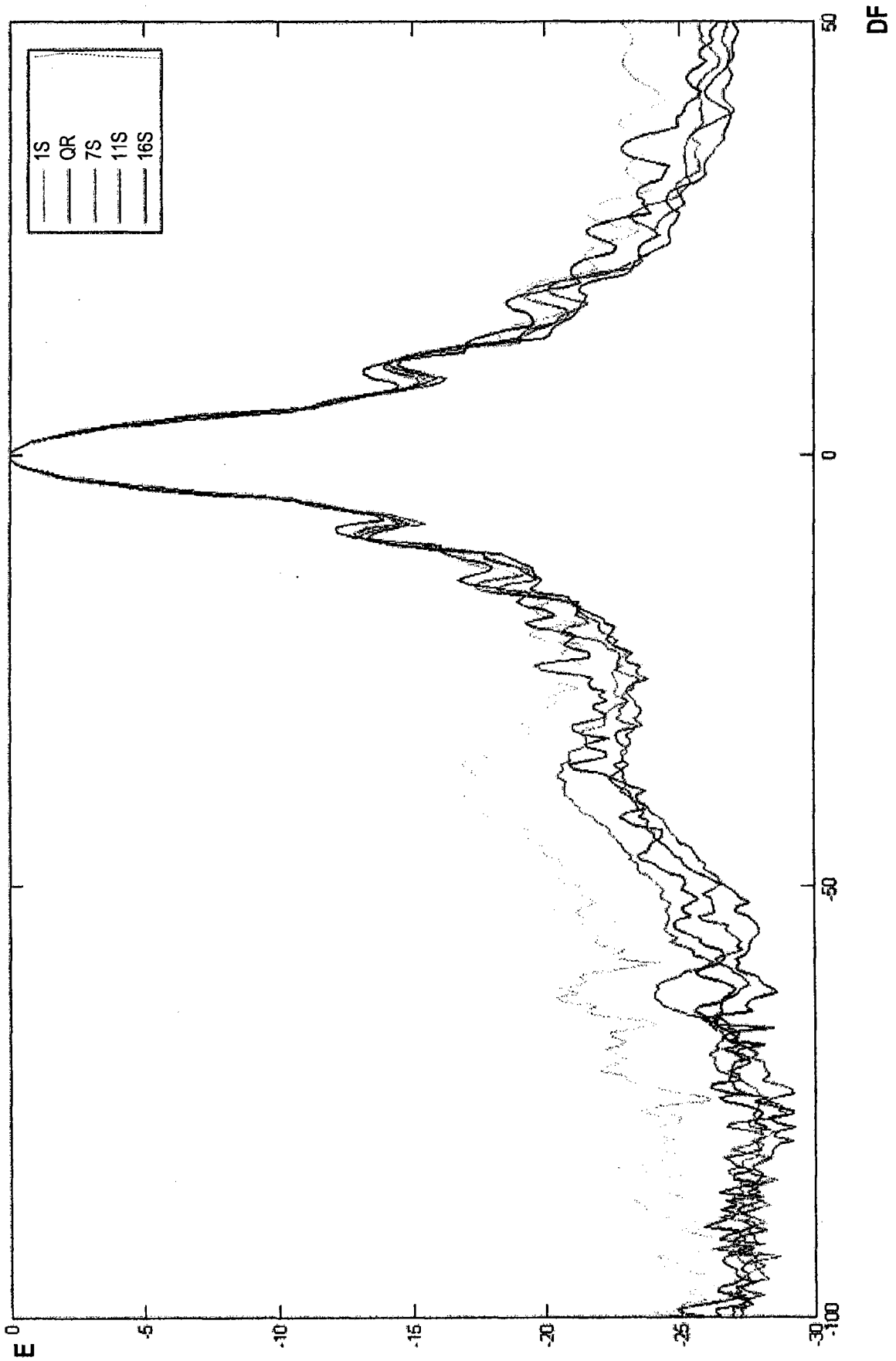


图 13

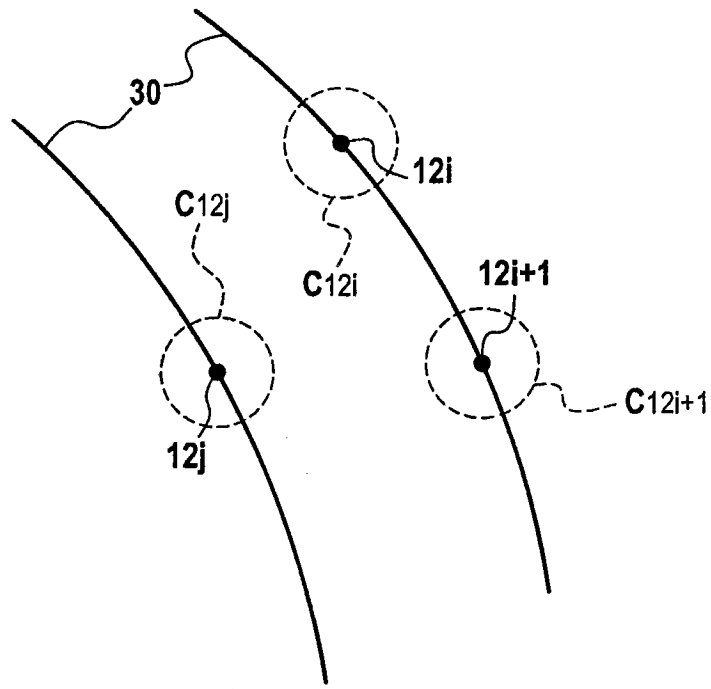


图 14