



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107206424 B

(45)授权公告日 2020.03.06

(21)申请号 201580059321.1

胡里奥·阿古斯丁·伊斯拉·加西亚

(22)申请日 2015.10.22

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107206424 A

(74)专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理
有限责任公司 11258

(43)申请公布日 2017.09.26

代理人 杜晋芳

(30)优先权数据
1419219.9 2014.10.29 GB
1507388.5 2015.04.30 GB

(51)Int.Cl.
B06B 1/04(2006.01)
G01N 29/24(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.04.28

(56)对比文件
JP S5286388 A,1977.07.18,
JP 2007527532 A,2007.09.27,
CN 86106267 A,1987.05.27,
CN 2816822 Y,2006.09.13,
US 2007074572 A1,2007.04.05,
US 5148414 A,1992.09.15,
EP 0451375 A2,1991.10.16,

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/GB2015/053161 2015.10.22

(87)PCT国际申请的公布数据
W02016/066997 EN 2016.05.06

(73)专利权人 永感有限公司
地址 英国伦敦

审查员 刘帅

(72)发明人 弗雷德里克·伯特·赛格拉

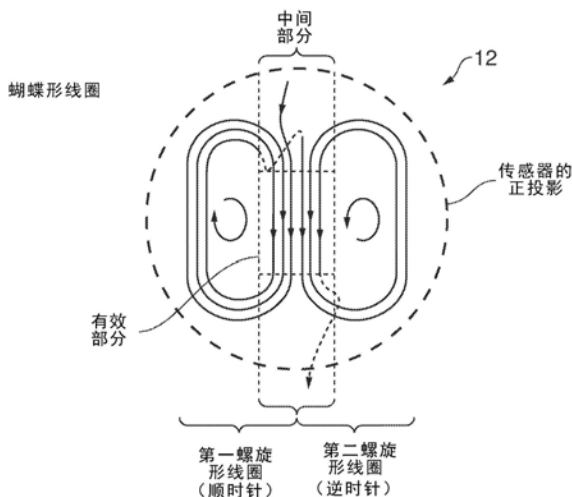
权利要求书2页 说明书8页 附图20页

(54)发明名称

电磁声学传感器

(57)摘要

电磁声学传感器(4)包括由一个或多个永磁体(10)围绕的通量导向件(8),该一个或多个永磁体(10)与通量导向件(8)的侧面邻接。磁场从永磁体(10)进入通量导向件(8),其中,磁场之间的排斥将磁场的至少一部分朝着对接检测对象(2)的检测面引导。在检测面处的通量密度大于源头永磁体(10)内的通量密度。被布置在通量导向件(8)和检测对象之间的线圈(12)的有效部分包括导体,该导体是大致平直的、平行的且在相同方向上载送电流以在检测对象内激励出大致波形纯粹的和单一方向上极化的剪切波。



1. 一种用于激励出检测对象内的超声波振动的电磁声学传感器,所述电磁声学传感器包括:

至少一个磁体,其被构造为产生磁场;

通量导向件,其具有放置为贴靠所述检测对象的检测面,所述通量导向件被成形为接收来自所述至少一个磁体的所述磁场并且引导所述磁场使得所述通量导向件内的磁场线之间的排斥将所述磁场的至少一部分朝着所述检测面引导,其中,所述通量导向件由与所述至少一个磁体相比的更软磁性材料制造;和

电线圈,其至少包括:

所述电线圈的有效部分,所述有效部分被布置为覆盖所述检测面,其中,所述电线圈的在所述有效部分内的导体是大致平行的、平直的且在相同方向上载送电流,和

所述线圈的其他部分,所述其他部分被布置为不在所述检测面之上,其中,所述电线圈的在所述其他部分中的导体将在不同方向上的电流载送到所述有效部分中的所述导体;

其中,所述通量导向件具有棱柱或截头锥体的形状并且所述检测面是所述棱柱或所述截头锥体的多边形基底面;并且

所述至少一个磁体的面至少部分地与所述通量导向件的侧面对接。

2. 根据权利要求1所述的电磁声学传感器,其中,所述电线圈是蝴蝶形线圈,所述蝴蝶形线圈包括在相反方向上卷绕的两个相邻的螺旋形线圈。

3. 根据权利要求2所述的电磁声学传感器,其中,所述蝴蝶形线圈在所述相邻的螺旋形线圈之间的中间部分是所述有效部分并且被布置在所述检测面和所述检测对象之间。

4. 根据权利要求1所述的电磁声学传感器,其中

所述检测面具有的尺寸使得将所述检测面在与通过所述检测面的磁场的平均方向垂直的平面中的投影完全容纳的圆的最小半径是 R_a 。

5. 根据权利要求4所述的电磁声学传感器,其中

所述至少一个磁体具有的尺寸使得将所述至少一个磁体在所述平面中的投影完全容纳的圆的最小半径是 R_b ;并且

R_a/R_b 在0.2到0.8的范围中。

6. 根据权利要求4所述的电磁声学传感器,其中, R_a/R_b 在0.45到0.55的范围中。

7. 根据权利要求4所述的电磁声学传感器,其中, R_a 在2.5mm到25mm的范围中。

8. 根据权利要求7所述的电磁声学传感器,其中, R_a 在5mm到10mm的范围中。

9. 根据权利要求4所述的电磁声学传感器,其中,所述通量导向件具有与所述平面垂直的高度 H 并且 H 在 $0.2R_a$ 到 $10R_a$ 的范围中或者在 R_a 到 $4R_a$ 的范围中。

10. 根据权利要求9所述的电磁声学传感器,其中, H 在5mm到50mm的范围中。

11. 根据权利要求1-10中任一项所述的电磁声学传感器,其中,所述至少一个磁体具有靠近所述通量导向件的一个或多个磁体面并且所述磁场在不与所述检测面垂直的相应方向上通过所述一个或多个磁体面和所述通量导向件之间。

12. 根据权利要求1-10中任一项所述的电磁声学传感器,其中,所述磁场线的所述排斥将所述通量导向件和所述检测面内的通量密度增加到超过所述至少一个磁体内的通量密度。

13. 根据权利要求12所述的电磁声学传感器,其中,所述通量导向件和所述检测面内的

通量密度比所述至少一个磁体内的通量密度的两倍更大。

14. 根据权利要求1-10中任一项所述的电磁声学传感器,其中,所述多边形基底面是N边的多边形,其中,N在4到8的范围中。

15. 根据权利要求1-10中任一项所述的电磁声学传感器,包括围绕所述至少一个磁体和所述通量导向件的壳体,所述壳体具有导磁率 μ ,其中 μ 小于 $2\mu_0$ 并且 μ_0 是自由空间的导磁率。

16. 一种使用电磁声学传感器激励出检测对象内的超声波振动的方法,所述方法包括以下步骤:

将通量导向件放置为检测面贴靠所述检测对象;

利用至少一个磁体产生磁场,其中,所述通量导向件由与所述至少一个磁体相比的更软磁性材料制造;

在所述通量导向件中接收来自所述至少一个磁体的所述磁场;以及

在所述通量导向件内引导所述磁场使得在磁场线之间的排斥将所述磁场的至少一部分朝着所述检测面引导;

至少提供电线圈的被布置为覆盖所述检测面的有效部分和被布置为不在所述检测面之上的其他部分,其中,所述电线圈的在所述有效部分内的导体是大致平行的、平直的且在相同方向上载送电流,以及,所述电线圈的在所述其他部分中的导体将在不同方向上的电流载送到所述有效部分中的所述导体;以及

驱动电流通过所述线圈以在所述检测对象内激励出大致波形纯粹的和单一方向的极化剪切波;

其中,所述通量导向件具有棱柱或截头锥体的形状并且所述检测面是所述棱柱或所述截头锥体的多边形基底面;并且

所述至少一个磁体的面至少部分地与所述通量导向件的侧面对接。

电磁声学传感器

技术领域

[0001] 本公开涉及电磁声学传感器的领域。

背景技术

[0002] 传统的超声检测需要在传感器和检测结构之间使用耦合液体。电磁声学传感器 (EMAT) 由于不需要在传感器和检测对象之间的耦合液体或者甚至直接接触, 因此受欢迎。这种特性例如在需要穿过侵蚀保护层 (例如涂料) 检测时进行侵蚀监控的情形下是有益的。然而, EMAT 的这些优势伴随有 EMAT 通常具有较低灵敏度的缺点。为了解决该较低灵敏度的问题, 一种方法是在 EMAT 内使用高功率激励信号和高功率激励电压。然而, 该方法在一些装置中由于安全原因是不可行的。

发明内容

[0003] 根据本公开的一个方面, 提供了一种用于激励出检测对象内的超声波振动的电磁声学传感器, 所述电磁声学传感器包括:

[0004] 至少一个磁体, 其被构造为产生磁场;

[0005] 通量导向件, 其具有放置为贴靠所述检测对象的检测面, 所述通量导向件被成形为接收来自所述至少一个磁体的所述磁场并且引导所述磁场使得所述通量导向件内的磁场线之间的排斥将所述磁场的至少一部分朝着所述检测面引导; 和

[0006] 电线圈, 所述电线圈的至少有效部分被布置为覆盖所述检测面, 其中

[0007] 所述电线圈的在所述有效部分内的导体是大致平行的、平直的且在相同方向上载送电流。

[0008] 本公开认识到, 如果增加在检测面处的通量密度, 则可以提高电磁声学传感器的灵敏度; 在一些实施例中, 在检测面处的通量密度可以比 (一个或多个) 磁体的通量密度的两倍更大。传统的永磁体在其能够单独地产生的通量密度方面受到限制。本公开认识到, 使用合适形状的通量导向件接收来自一个或多个磁体的磁场能够导致在检测面处的通量密度的放大, 这是因为磁场线之间的排斥将磁场朝着检测面引导。

[0009] 使用电线圈实现通过传感器对声波的激励, 该电线圈具有被布置为覆盖检测面的至少一部分。线圈的在线圈的检测面和检测对象之间的有效部分内的导体是大致平行的、平直的且在相同方向上载送电流。这可以产生单极性超声波 (例如, 在一个方向上极化的剪切波)。这提高波形纯度。改善的波形纯度 (例如, 被激励的单一波形) 可以更直接地处理和解释返回信号 (例如, 避免模糊和分辨率的降低, 这是由在相同时间接收的与不同波形 (例如, 纵向波波形和剪切波波形) 相应的接收重叠信号造成的)。

[0010] 已经发现提供良好性能 (例如, 灵敏度) 的示例性实施例是, 电线圈是蝴蝶形线圈, 该蝴蝶形线圈包括在相反方向上卷绕的两个相邻的螺旋形线圈。这种蝴蝶形线圈可以合适地地位于通量导向件和检测对象之间, 使得蝴蝶形线圈在相邻螺旋形线圈之间的中间部分直接被布置在检测面和检测对象之间。这可以允许产生具有较高波形纯度的超声波。

[0011] 通量导向件相对于(一个或多个)磁体的尺寸对于提供强磁场和紧凑传感器是重要的。检测面具有的尺寸使得将检测面在与通过检测面的磁场的平均方向垂直的平面中的投影完全容纳的圆的最小半径是 R_a 。(一个或多个)磁体具有的尺寸使得将该(一个或多个)磁体在上述平面中的投影完全容纳的圆的最小半径是 R_b ;并且 R_a/R_b 在0.2到0.8的范围中,或在一些实施例中 R_a/R_b 在0.45到0.55的范围中。

[0012] R_a 的数值可以合适地在2.5mm到25mm的范围中或在相同实施例中 R_a 在5mm到10mm的范围中。

[0013] 通量导向件与上述平面垂直的高度 H 可以在 $0.2R_a$ 到 $10R_a$ 的范围中。当 H 在 R_a 到 $4R_a$ 的范围中或在5mm到50mm的范围中时可以实现良好的性能和紧凑的尺寸。

[0014] 存在多种不同可行的几何形状以用于至少一个磁体和通量导向件。在一些示例性实施例中,至少一个磁体具有靠近通量导向件的一个或多个磁体面并且磁场在不与检测面垂直的相应方向上通过一个或多个磁体面和通量导向件之间,可以实现在检测面处的磁通量密度放大为期望的程度。这种布置有利于磁场在检测面周围集中。

[0015] 在一些示例性实施例中,磁体面的法线的方向可以在与检测面的法线成90度到15度的范围内。这种角度的范围提供在磁通量密度方面有效放大的几何形状。在该放大较大的其他示例性实施例中,磁场从磁体传到通量导向件所沿的方向可以在与检测面的法线成90度到30度的范围内。在通量密度方面的有益放大并且平衡紧凑形式的另外示例性实施例是,磁场线进入通量导向件的方向与检测面的法线大致垂直。

[0016] 应当领会,通量导向件可以具有各种不同的形式。通量导向件可以具有圆柱的形状并且磁体形成为围绕该圆柱的环形的单个磁体。在其他实施例中,通量导向件具有棱柱或截头锥体的形状并且检测面是棱柱或截头锥体的多边形基底面。通量导向件不限于直棱柱的形状,还可以是斜棱柱、棱锥和截头锥体;示例的范围从直三角柱和斜三角柱,包含正方锥或多棱锥,到无限接近截头圆锥的多边形截头锥体。在一些实施例中,通量导向件的基底面可以具有 N 个边,其中, N 在4到8的范围中。

[0017] 利用这种布置,可以将至少一个磁体合适地提供为具有相应极面的多个磁体并且将棱柱或棱锥提供为具有连接检测面的多个侧面,并且磁体的至少一些极面对接棱柱或棱锥的至少一些侧面。磁体的相同极性的极可以邻接棱柱或棱锥的所有侧面。

[0018] 当多个侧面的每一者被一个极面相邻接时,可以实现检测面处的增加的通量密度。当棱柱是直棱柱时,可以提高传感器的几何形状和成形以提供规则的场。

[0019] 尽管应当理解,多边形面可以具有各种不同的规则和不规则的多边形的形式,但是在性能和复杂性之间提供良好平衡的一些示例性实施例是检测面是等边的并且棱柱是立方体的实施例。当检测面是正方形时可以提高对称性和规则度。

[0020] 在电线圈占据的总区域被包含在电磁声学传感器垂直地投影在检测对象上所占据的总横截面区域中的示例性实施例中,可以实现整个传感器的合适封装,其能够使实现传感器的简化的布置和固定。以该方式,线圈投影不超出传感器并且可以被保护以及保持在传感器主体本身内。

[0021] 在一些实例性实施例中,可以通过提供被布置在电线圈和检测对象之间的电容式屏蔽件,来提高传感器对噪音的鲁棒性和/或性能。这种电容式屏蔽件可以至少部分地用于阻止电场,并且使在发送时来自线圈和在接收时来自涡电流的几乎所有动态磁场通过。以

该方式,期望的磁场可以被通过并且用于在线圈中激励出期望电压和期望的超声波振动,而减弱可能将噪音引入系统的电场。

[0022] 电容式屏蔽件可以形成为其中具有一个或多个切口的导电板,将这些切口定位为减少由电线圈在导电板中感生的涡电流。电线圈的形式将控制任何感生的涡电流的方向以及可以将切口相对于电线圈定位以抑制在导电板中产生涡电流。

[0023] 在一些示例性实施例中,电容式屏蔽件还可以用作磨损板以在严酷配置环境中保护电线圈。

[0024] 在至少一些示例性实施例中,通过通量导向件/(一个或多个)磁体和检测对象之间的磁吸引、允许贴附到非平面检测对象的弹性夹紧结构和环绕检测对象(为管道)的夹紧装置中的一者或多者,将电磁声学传感器保持到检测对象。实际上,根据本技术的电磁声学传感器之间的强磁吸引和合适的检测对象显著地简化了传感器到检测对象的固定并且帮助抵抗抬离,从而可以抵抗会导致检测面不再紧密接触检测对象的、传感器的移位。

[0025] 围绕通量导向件和(一个或多个)磁体的壳体可以对磁通量是“可穿透的”,例如,具有小于 $2\mu_0$ 的导磁率,其中 μ_0 是自由空间的导磁率。

[0026] 根据本公开的另外方面,提供一种用于激励出检测对象内的超声波振动的电磁声学传感器,所述电磁声学传感器包括:

[0027] 至少一个磁体,其被构造为产生磁场;和

[0028] 通量导向件,其具有放置为贴靠所述检测对象的检测面,所述通量导向件被成形为接收来自所述至少一个磁体的所述磁场并且引导所述磁场使得所述通量导向件内的磁场线之间的排斥将所述磁场的至少一部分朝着所述检测面引导;其中

[0029] 所述检测面具有的尺寸使得将所述检测面在与通过所述检测面的磁场的平均方向垂直的平面中的投影完全容纳的圆的最小半径是 R_a ;

[0030] 所述至少一个磁体具有的尺寸使得将所述至少一个磁体在所述平面中的投影完全容纳的圆的最小半径是 R_b ;并且

[0031] R_a/R_b 在0.2到0.8的范围中。

[0032] 根据本公开的另外方面,提供一种使用电磁声学传感器激励出检测对象内的超声波振动的方法,所述方法包括以下步骤:

[0033] 将通量导向件放置为贴靠所述检测对象;

[0034] 利用至少一个磁体产生磁场;

[0035] 在所述通量导向件中接收来自所述至少一个磁体的所述磁场;以及

[0036] 在所述通量导向件内引导所述磁场使得在磁场线之间的排斥将所述磁场的至少一部分朝着所述检测面引导;

[0037] 布置电线圈的被布置为覆盖所述检测面的至少有效部分,其中

[0038] 所述电线圈的在所述有效部分内的导体是大致平行的、平直的且在相同方向上载送电流。

附图说明

[0039] 现在,将参照附图只通过示例描述本公开的示例性实施例,其中:

[0040] 图1示意性地示出固定至检测对象的电磁声学传感器,该检测对象的形式是管道,

该电磁声学传感器在用于执行对该管道的远程监控(例如,侵蚀监控和/或缺陷探测)的系统内;

[0041] 图2是示意性地示出电磁声学传感器的局部透视立体图的示意图;

[0042] 图3是示意性地示出穿过图2中传感器的剖视图的示意图;

[0043] 图4示意性地示出在传感器中使用的多个磁体、通量导向件和线圈;

[0044] 图5示意性地示出图2中传感器内的磁场线;

[0045] 图6A示意性地示出磁场线可以进入通量导向件相对于检测面的法线形成的不同角度;

[0046] 图6B示意性地示出限定通量导向件与位于(一个或多个)磁体和通量导向件之间的接触面之间的距离;

[0047] 图7示意性地示出若干示例性通量导向件棱柱或截头锥体横截面;

[0048] 图8A、8B和8C分别示意性地示出蝴蝶形线圈、D形线圈和跑道形线圈;

[0049] 图9示意性地示出用于在检测对象和图8的蝴蝶形线圈之间使用的电容式屏蔽件;

[0050] 图10至18示意性地示出针对各种不同高度的通量导向件在检测面处的磁场线的路径和磁通量密度,以及在与检测面的法线形成的各种不同角度处在永磁体和通量导向件之间通过的磁场。

[0051] 图19、20和21示意性地示出利用不同形式的线圈进行激励的波形纯粹的信号和非波形纯粹的信号时的不同性能。

具体实施方式

[0052] 图1示意性地示出钢质管道形式的示例性检测对象2,电磁声学传感器4通过被磁吸引到、弹性夹紧到管道2的弯曲表面和/或环绕式夹紧装置(其经过管道2周围)中的一者或多者而被保持到管道2的表面,该检测对象将受到使用该电磁声学传感器4进行的内部侵蚀监控、缺陷探测等。传感器4是电池驱动的(还可以使用电源电力或能量收集装置)并且与远程监控系统6无线通信,该远程监控系统接收并且解释由传感器4对管道2周期性执行的超声波检测结果。管道2可以具有非导电涂层以抑制外部侵蚀。例如,可以利用这种涂层涂覆管道2。尽管存在该非导电涂层,电磁声学传感器4仍能够激励和探测管道2内的超声波信号。

[0053] 应当理解,电磁声学传感器4不限于在远程监控中使用,例如,还可以用于普通检查目的或其他用途。

[0054] 图2是传感器4的局部透视立体图。该传感器4包括被多个强永磁体10围绕的通量导向件8。将蝴蝶形线圈12布置在通量导向件8的基底处的检测面和检测对象2之间。将电容式屏蔽件14(由具有切口的导电板构成)布置在蝴蝶形线圈12和检测对象之间。该电容式屏蔽件14用于使磁场通过并且使电场减弱。该电容式屏蔽件14还用作磨损板以抵抗对蝴蝶形线圈12的损害。传感器容纳在壳体9内,该壳体具有导磁率 μ ,其中, μ 小于 $2\mu_0$ 并且 μ_0 是自由空间的导磁率。因此,壳体9对磁场具有较弱的影响。

[0055] 由图2观察到,蝴蝶形线圈12占据传感器4垂直地投影在检测对象2上占据的总横截面区域内包含的区域。因此,线圈12可以完全包含在传感器4内并且由传感器主体保护。在其他实施例中,线圈12也可以延伸到磁体构件和传感器主体的外部。

[0056] 在该示例性实施例中,永磁体10和通量导向件8具有40mm的高度和20mm的宽度。应当理解,可以使用其他尺寸以及通量导向件和磁体的高度将大于等于0.001米并且小于等于0.1米。

[0057] 图3是图2中传感器4的局部剖视图。在图3中观察到,通量导向件8包括直棱柱,该直棱柱具有形成检测面11的正方形多边形面,该正方形多边形面放置为贴靠检测对象2(即便可能存在介于其间的结构,例如线圈12和电容式屏蔽件14)。在一些实施例中,检测面11可以是通量导向件横截面在检测对象上的投影。在该示例性实施例中,永磁体10具有与通量导向件8的侧面对接的磁体面,使得磁场从永磁体10穿过具有与检测面11的法线大致垂直的法线的面进入通量导向件8中。磁场线的大多数穿过检测面11离开通量导向件8并且之后进入检测对象2。

[0058] 通量导向件8具有的尺寸使得,将检测面11在与经过该检测面的磁场线的平均方向正交的平面中的投影完全容纳的圆的最小半径是 R_a (未示出)。 R_a 可以在2.5mm到25mm的范围内或者在一些实施例中在5mm到10mm的范围内。磁体10具有的尺寸使得,将磁体10的投影完全容纳的圆的最小半径是 R_b 并且 R_a/R_b 在0.2到0.8的范围内,或者在一些实施例中在0.45到0.55的范围内。

[0059] 通量导向件8可以由软磁性材料(例如,铁或层压铁)制造以减少在其表面上的由于线圈造成的涡电流。永磁体10可以是具有超过1特斯拉磁通量密度的强磁体。在该示例性实施例中,将观察到,所有永磁体布置为使得其南极接触通量导向件8。因此,从每一个永磁体10进入通量导向件8的磁场将受到从磁体10的其余部分进入的(一个或多个)磁场排斥。这具有以下效果:朝着检测面11引导磁场(或磁场的至少一部分)使得在检测面11处的通量密度增加到超过在永磁体10自身内的通量密度。实际上,可以实现接近x3量级的对通量密度的放大。这提高了电磁声学传感器4的灵敏度,该灵敏度可能与检测面处的通量密度的平方近似成比例。

[0060] 应当领会,传感器4通常将包括用于驱动线圈12以及用于在线圈12处接收信号的许多电子部件。为了清晰,已经从现在的附图中省略这些电子部件,但是这些电子部件可以采用电磁声学传感器领域的技术人员熟悉的大致传统的形式。

[0061] 在该示例性实施例中,检测面包括在通量导向件8的基底处的正方形多边形面。穿过该正方形的对角线代表该检测面的最大尺寸。本技术可以在各种不同尺寸的传感器的情况下使用,并且检测面通常具有的最大尺寸(例如,对角线)在大于等于0.001米且小于等于0.1米的范围中。在一些实施例中,该尺寸($2R_a$)可以在5mm到50mm的范围中或10mm到20mm的范围中。

[0062] 图4示意性地示出形成传感器4的一部分的永磁体10、通量导向件8和线圈12的立体图。如该示例中示出的,通量导向件8的侧面每一者与永磁体10的南极对接。从永磁体10进入通量导向件8的磁场线之间的排斥用于将这些磁场线的至少一部分朝着检测面向下引导,其中,该检测面在通量导向件8的与检测对象2邻接的端部处。将蝴蝶形线圈12布置在该检测面和检测对象2之间。通量导向件8的高度H可以在 $0.2R_a$ 到 $10R_a$ 之间,并且在一些实施例中该高度H在 R_a 到 $4R_a$ 的范围中或在5mm到50mm的范围中。

[0063] 图5示意性地示出穿过传感器4和检测对象2的横截面,并且示出从两个永磁体10进入通量导向件8的磁场线的路径,其中,两个永磁体10放置在通量导向件8的相对侧。将观

察到,磁体面大致垂直于在通量导向件8的基底处的检测面的法线。从通量导向件8的相对侧进入的磁场线彼此排斥并且被朝向检测面引导使得其进入检测对象2。检测对象2提供用于磁场导向到其各自磁体10的返回路径。经过检测对象2的返回路径可以根据制造检测对象2的材料的磁性质和检测对象2的几何形状提供优选的返回路径(例如,形成检测对象2的钢管可以提供用于磁场线的现成返回路径)。传感器4的几何形状使得对传感器4(磁体)抬高检测对象2的表面提供相对较大的阻力。因此,传感器4从与检测对象2的理想接触发生微小的扰动对传感器4的性能(例如,其灵敏度)不具有过度地不利影响。这使得传感器4的性能对在弯曲的检测对象(例如,具有不同直径/减小直径的管道)上使用不太敏感。这在以下讨论的图6B中示出。

[0064] 图6A示意性地示出穿过在通量导向件8的中心轴线16一侧上的通量导向件8和磁体10的横截面。该示例示出通量导向件8的侧面18(磁体10的磁体面贴靠该通量导向件8)具有的法线可以如何与检测面20的法线形成角度,该角度落入一定的角度范围。如示出的,当该角度落在大于等于15度或小于等于90度时可以实现可接受的性能。当该角度大于等于30度或小于等于90度时可以实现更好的性能。大致90度的角度对于制造和包装是合适的,并且在图2、3、4和5中所示的示例性实施例中该角度是大致90度。

[0065] 图6B示意性地示出穿过通量导向件8和(一个或多个)磁体10的横截面。为了减少对传感器4“抬高”检测对象2(抬高将降低性能(在检测面20处的通量密度))的敏感度,检测面20与(一个或多个)磁体10和通量导向件8之间的接触部之间的距离可以被限制为小于等于6mm。

[0066] 应当领会,通量导向件8具有棱柱或截头锥体的形式。例如,这可以是直棱柱。在该直棱柱或截头锥体的一个端部处的多边形面可以具有各种形状,如图7所示。这些形状包括例如等边三角形、正方形、正六边形、矩形和等腰三角形。形成直棱柱的端面的多边形的侧边的数量增加的极限情况是棱柱的端面将变成圆并且棱锥将变成圆柱(或截头锥体的情形中是变成圆锥截头锥体)。在这种实施例中,磁体可以采取环形磁体的形式,其中,与圆柱的侧面接触的内面包括磁体的一极并且环形磁体的相对面包括磁体的另一极。这种环形磁体可以例如通过将多个单独形成并且极化的环的区段紧固在一起以形成完整的环来形成。在一些实施例中,通量导向件8的检测面TF是具有侧边数量N在4到8范围中的多边形。

[0067] 图8A示意性地示出蝴蝶形线圈12形式的电线圈。该蝴蝶形线圈12包括当从上或下观察时在相反方向(即,一个在顺时针而另一个在逆时针)卷绕的两个螺旋形线圈。蝴蝶形线圈12的两个螺旋线圈的边缘邻接处的中间部分使得穿过形成螺旋形的电线的电流均在相同方向上通过中间部分(包括布置在检测面和检测对象之间的有效部分)。在中间部分中的电线(导体)是大致平直的、平行的且在相同方向上载送电流。这可以产生单极化的波并且因此提高在产生/接收的振动中的波形纯度(这将在下文进一步讨论)。这在中间部分下方的检测对象中引起较强涡电流,并且因此,当该涡电流与磁场相互作用时,该涡电流还可以用于产生超声波振动。如图8A中所示,将蝴蝶形线圈12完全地容纳在传感器4在检测对象2的表面上的正投影内。应当理解,还可以使用其他形式的电线圈,例如盘形线圈。在一些实施例中,蝴蝶形线圈12可以延伸到传感器4的正投影的外部。蝴蝶形线圈12还可以制造为具有在一个线圈的中心中的始点并且在另一个线圈的中心中的终点,这是因为这避免在中心区域中的线交叉。

[0068] 图8B示出D形线圈13形式的另外示例性线圈。该D形线圈13也具有有效部分,该有效部分被布置为覆盖通量导向件8的检测面。有效部分内的导体(电线)是大致平直的、平行的且在相同方向上载送电流。

[0069] 图8C示出跑道形线圈15形式的另外示例性线圈。该跑道形线圈15也具有有效部分,该有效部分被布置为覆盖通量导向件8的检测面。有效部分内的导体(电线)是大致平直的、平行的且在相同方向上载送电流。从各个线圈12、13、15的平直且平行布置的较小偏置是可行的,同时仍然确保激励波大致在单一波形内。

[0070] 图9示意性地示出电容式屏蔽件14。其采取导电板的形式,其中,已经制造切口24以减少在导电板内由附近的蝴蝶形线圈12引起的涡电流。在附图中仅示出两个切口——可以使用更多切口并且这可以提高性能。电容式屏蔽件的效果是用于减弱(阻止)在蝴蝶形线圈12和检测对象2之间通过的电场,同时允许磁场在检测对象2和蝴蝶形线圈12之间通过。电容式屏蔽件14还用作磨损板以防止蝴蝶形线圈12受到物理损害。

[0071] 图10到18示意性地示出检测对象2内的通量线和径向通量密度以及轴向通量密度,这可以使用与检测对象2的表面垂直的不同高度的通量导向件8以及利用如下所述的侧面实现,磁场通过该侧面进入通量导向件8并且该侧面相对于检测对象2的法线形成不同的角度。实际上,示出的永磁体10布置在通量导向件8的另一侧并且与另外的永磁体10相对,但是在图10到18中没有示出这种布置。图10到18的示例属于具有圆柱对称的系统。

[0072] 这种紧密靠近的两个永磁体10的效果是通量导向件8内的磁场线彼此排斥并且被朝着通量导向件8的检测面引导,其中,磁场线从该检测面进入检测对象2。例如,如果检测对象2由铁磁材料制造,则检测对象2可以提供用于这些磁场线到永磁体10的现成返回路径。在示出的示例中,永磁体10在其主体内可以具有小于1特斯拉的磁通量密度,而将观察到,在检测对象2内实现的磁通量密度可以比该水平的两倍更大。即使检测对象2不是铁磁的,也可以实现磁场在通量导向件8和检测对象2之间通过之处的通量密度的增加。

[0073] 图10到18示出对于各种不同高度的通量导向件8、以及位于永磁体10邻接通量导向件8所构成的各种不同角度的情况下所实现的磁场线路径和磁通量密度。当该角度在15度到90度的范围中时,可以实现进入检测对象10的磁通量密度的可接受的放大。当角度在30度到90度的范围中时,实现更好的放大。如示出的,可以采用各种高度的通量导向件8。

[0074] 应当领会,图10到18示出通量导向件8可以在实现以下效果的情况下具有各种不同形状和形式:利用通量导向件8内磁场之间的排斥以朝着检测面和检测对象引导该磁场,使得在检测面处的磁通量密度大于在永磁体10自身内实现的磁通量密度。

[0075] 图19示意性地示出与检测面和检测对象之间的线圈的有效部分对应的半径为 R_a 的口径。在有效部分内,由于洛伦兹(Lorentz)力机制激励弹性波(超声波),该弹性波是在检测对象(导电)引起的涡电流和偏置磁场相互作用的结果。当导体在整个口径上大致平行时(如图19的左手侧部分所示),力平行于单一方向作用,因此导致激励波形纯粹的剪切波。作为对比,如果线圈在有效部分中(如图19的右手侧部分所示)形成环,则这导致径向地延伸的表面力以及径向地压缩表面导致较差的波形纯度,即,激励朝着环的中心部分的纵向波。

[0076] 图20示意性地示出在各个厚度的钢板的一个面(激励面)进行激励的处于2MHz的波形纯粹的信号以及从相对面(反射面)接收的(不同反射顺序的)反射信号。图21示意性地

示出在各个厚度的钢板的一个面(激励面)进行激励的处于2MHz的非波形纯粹的信号以及从相对面(反射面)接收的(不同反射顺序的)反射信号。比较图20上的接收信号和图21的接收信号,观察到波形纯粹的激励波导致更清楚地分离的和更易于区分的接收信号(反射波)。

[0077] 尽管本文已经参照附图详细地描述本发明的示例性实施例,但是应当理解本发明不限于那些确切的实施例,并且在不脱离由所附的权利要求限定的本发明的范围和精神的情况下,本领域技术人员能够实施各种变形、增加和修改。例如,在不脱离本发明的范围的情况下,可以做出从属权利要求的特征和独立权利要求的特征的各种组合。

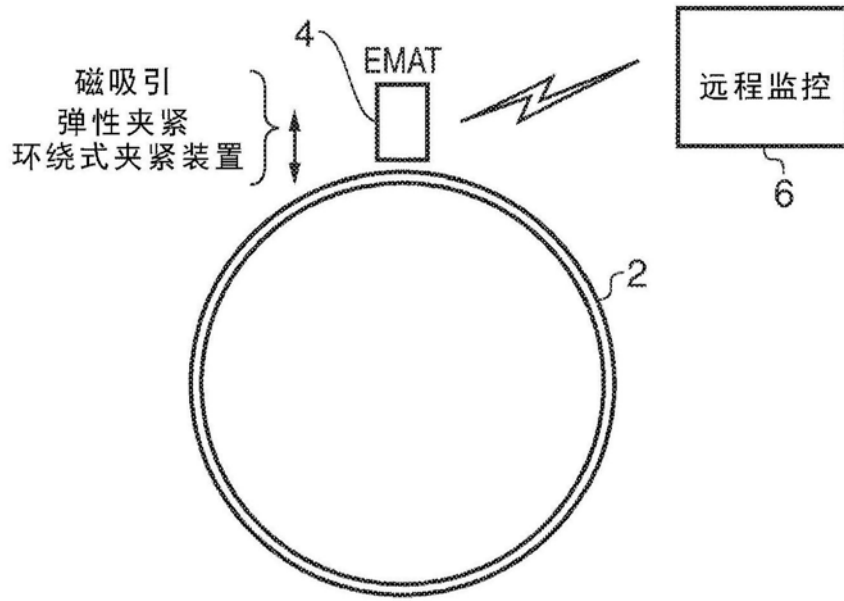


图1

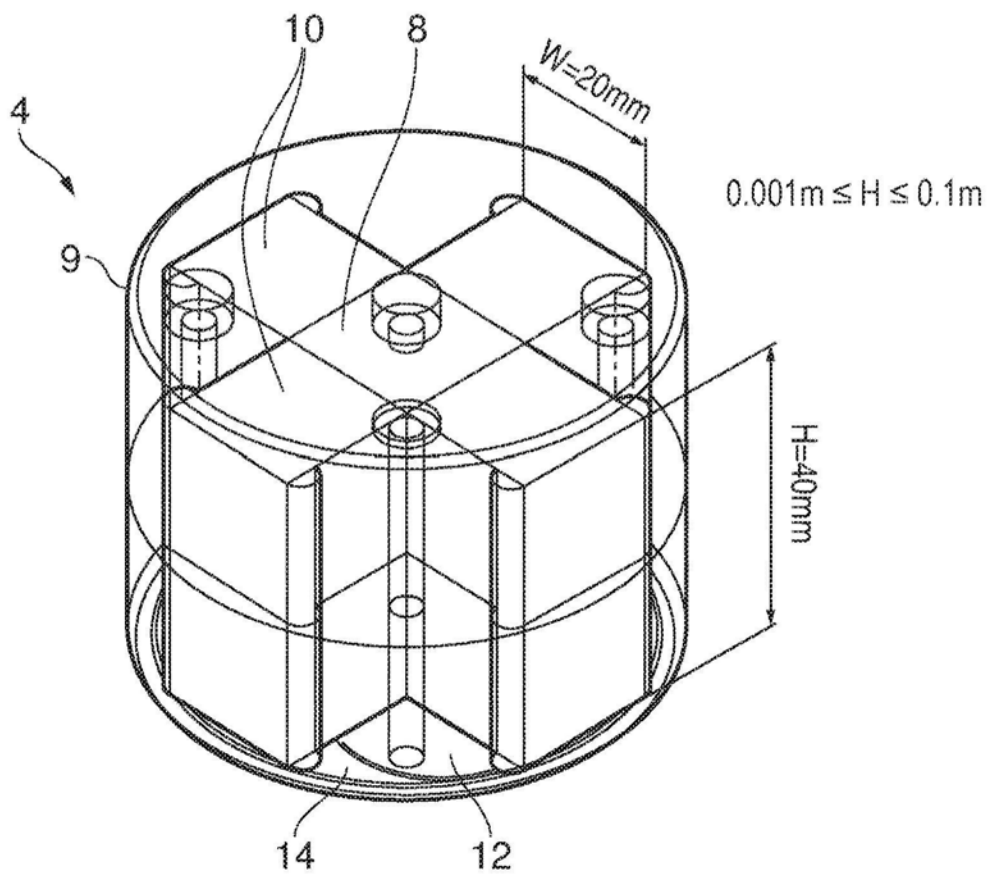


图2

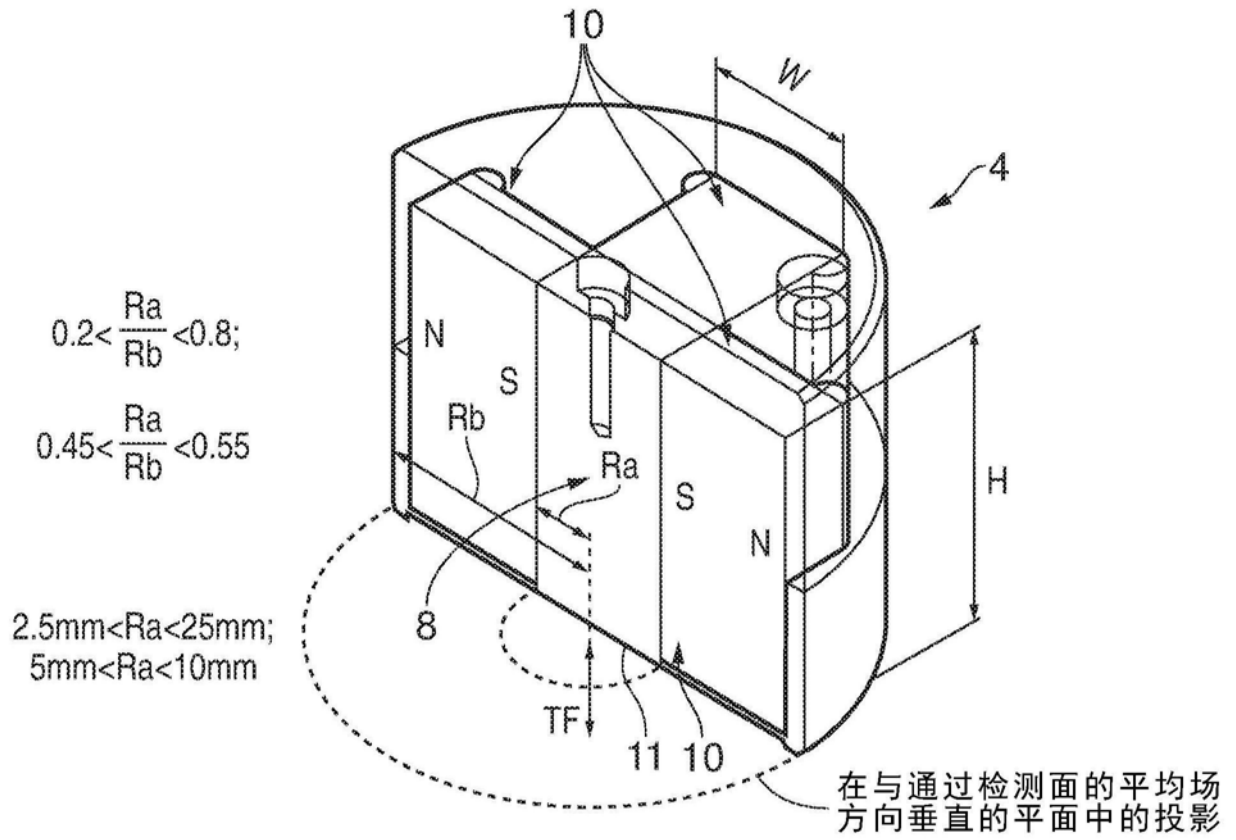


图3

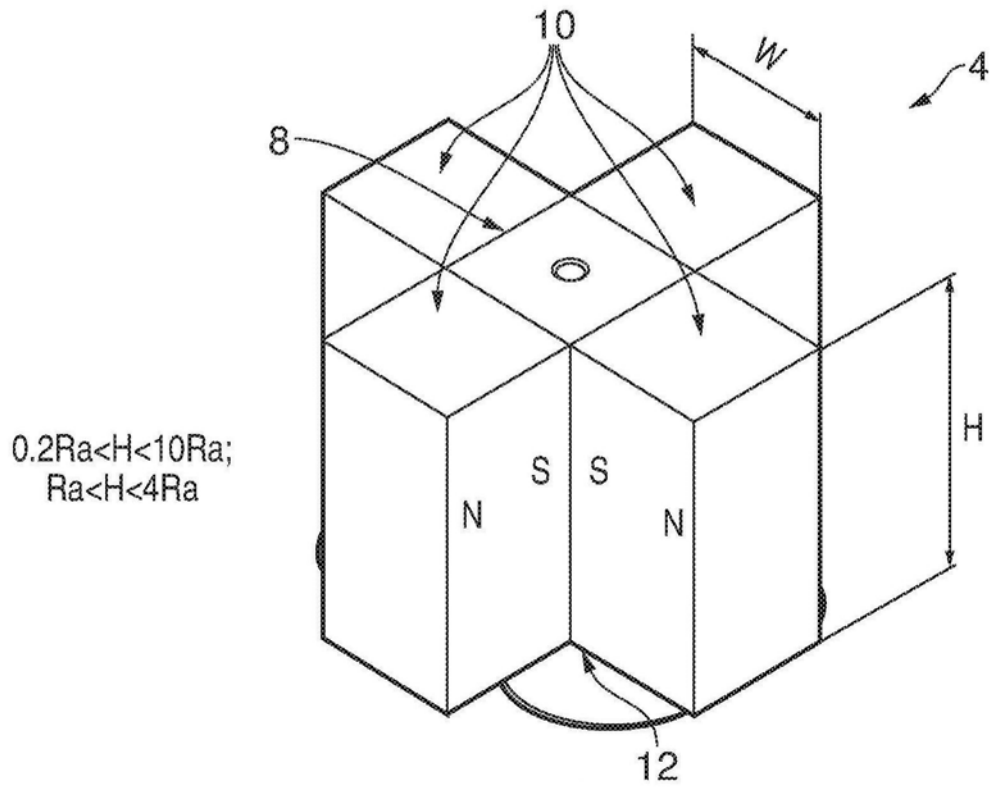


图4

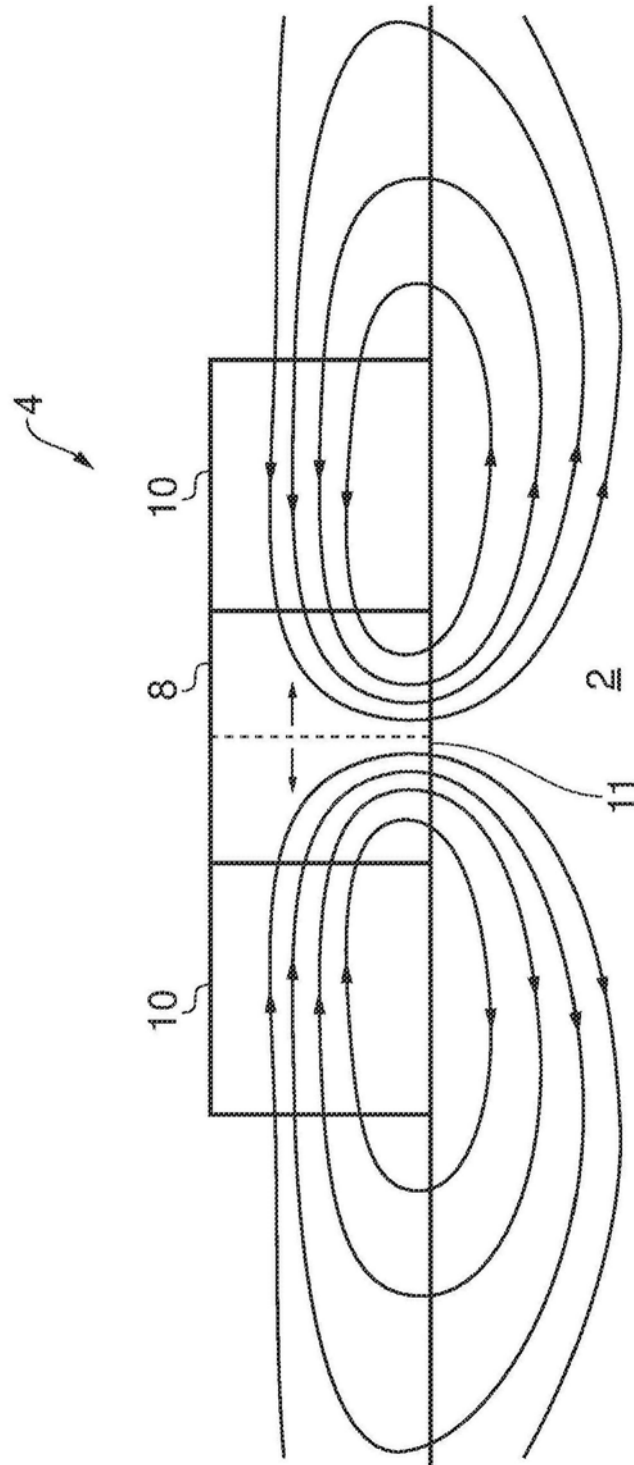


图5

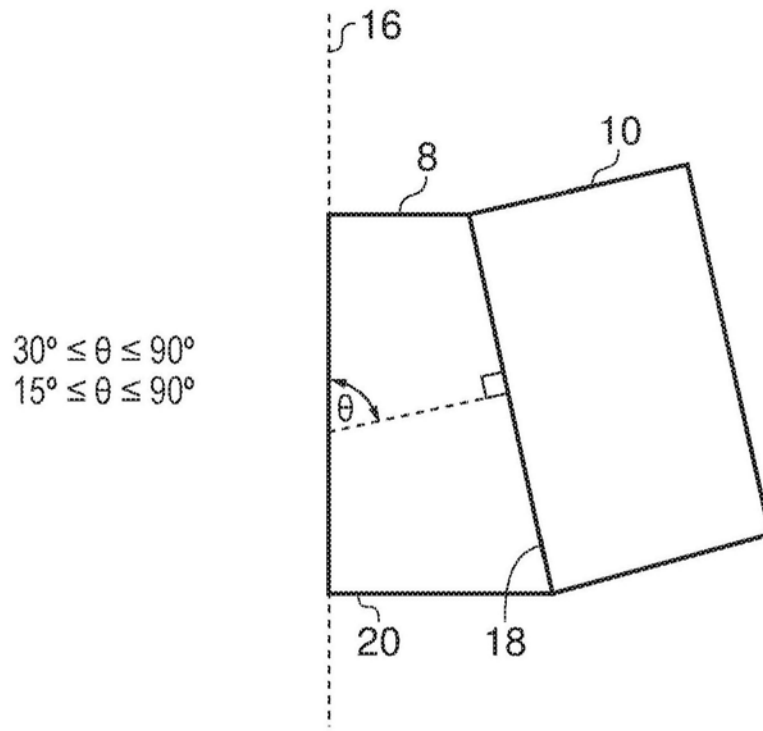
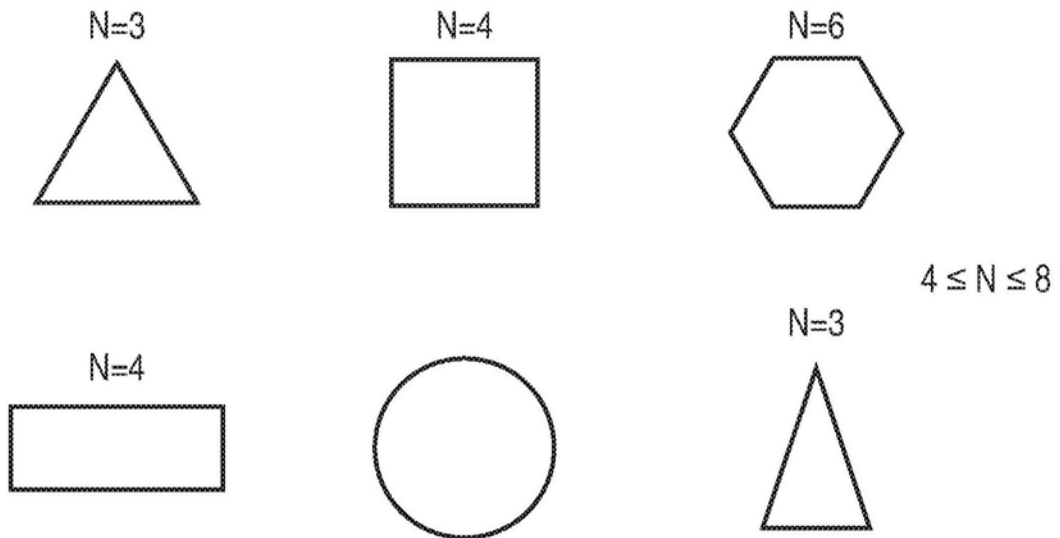


图6A



通量导向件横截面

图7

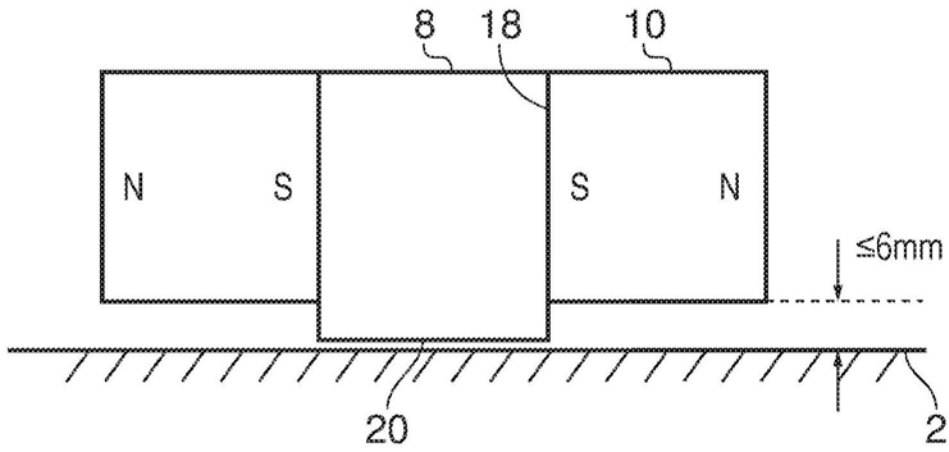


图6B

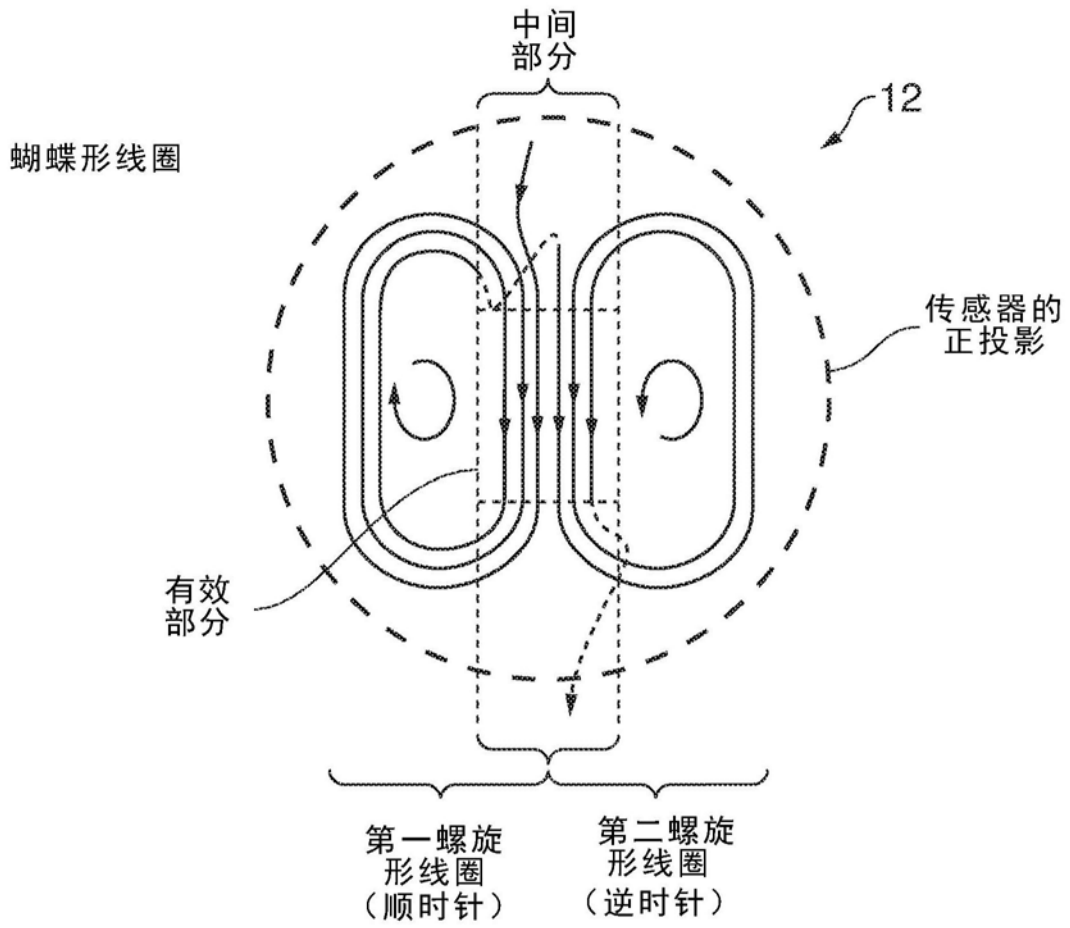


图8A

电容式屏蔽件

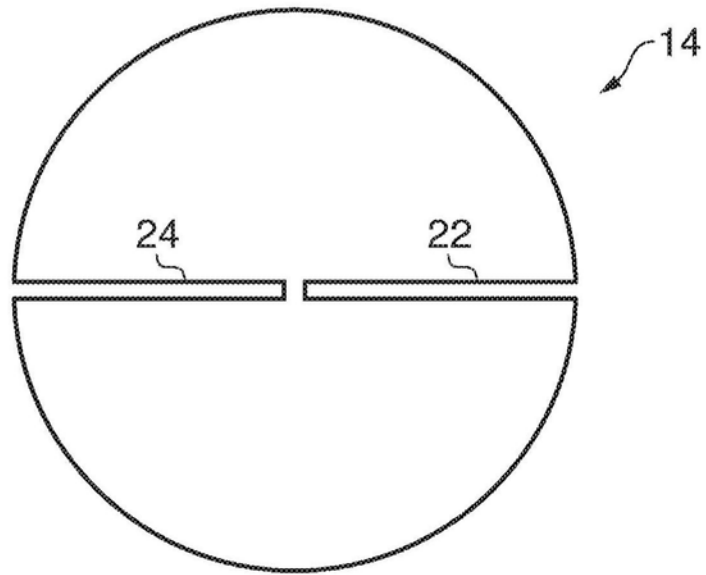


图9

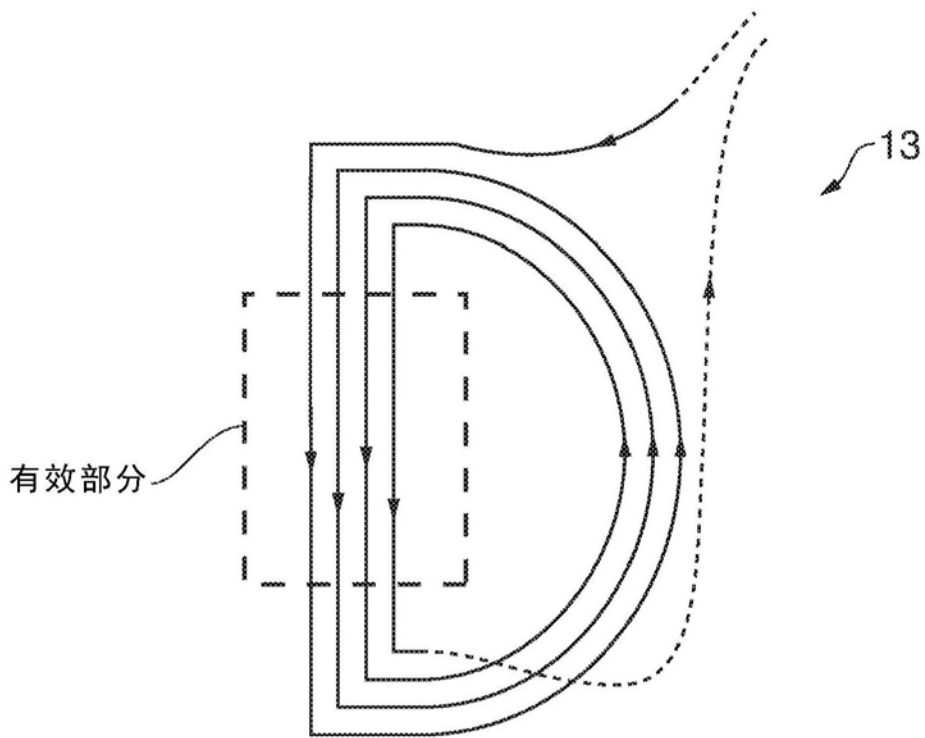


图8B

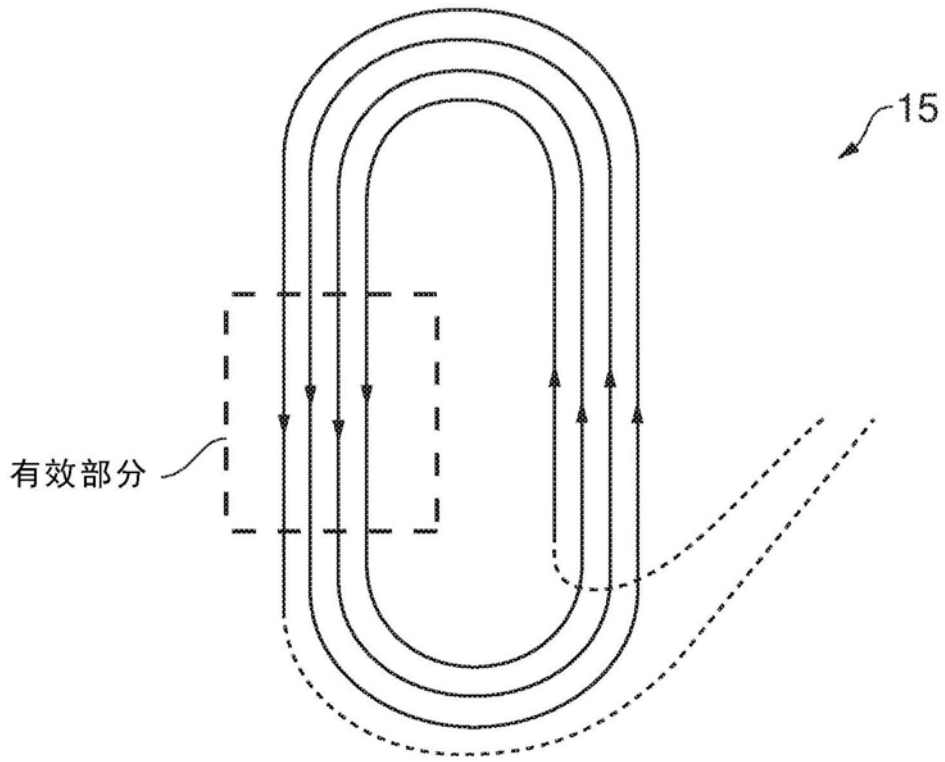


图8C

高度 = 20mm, 角度 = 60°

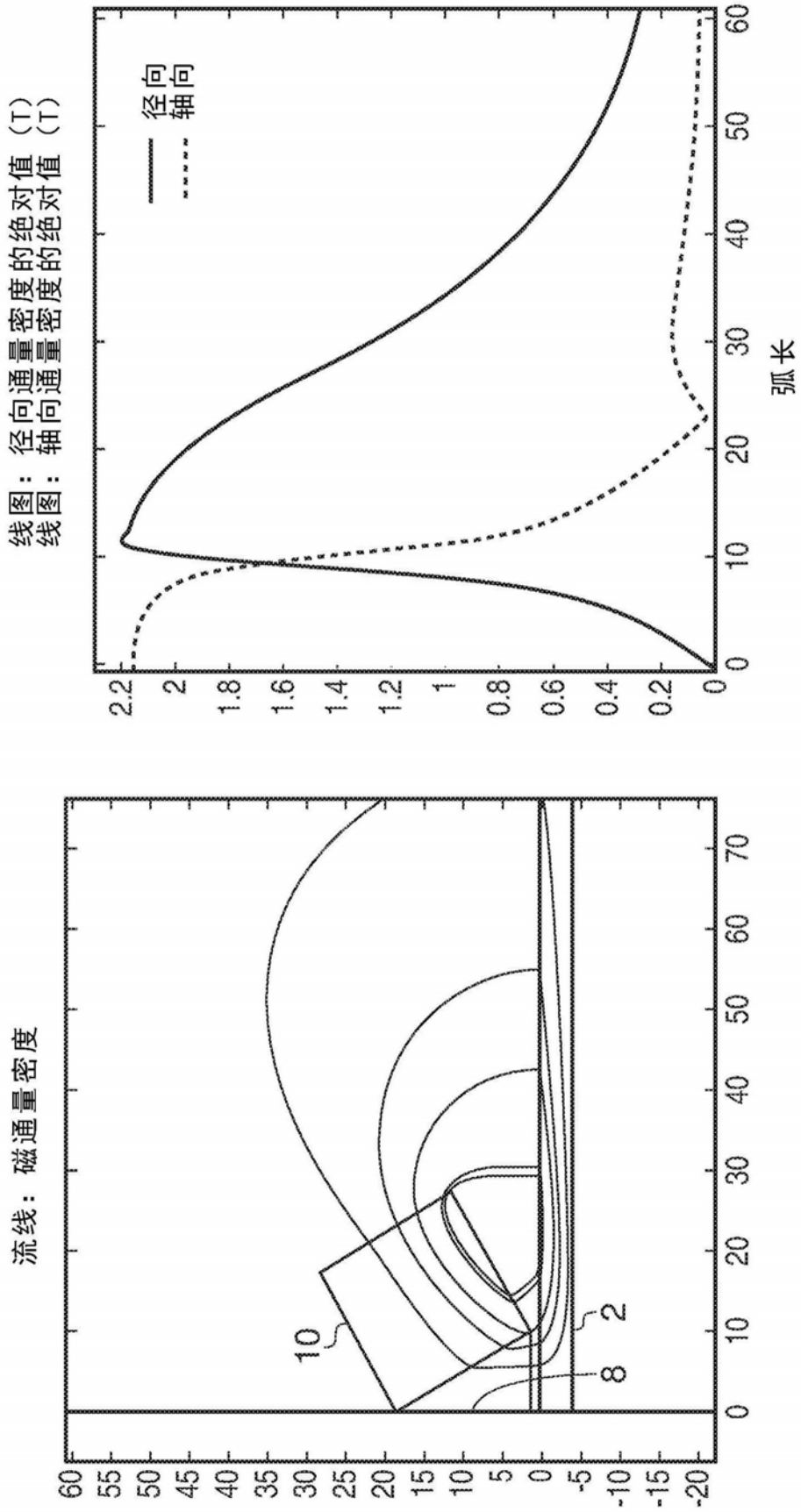


图10

高度 = 20mm, 角度 = 75°

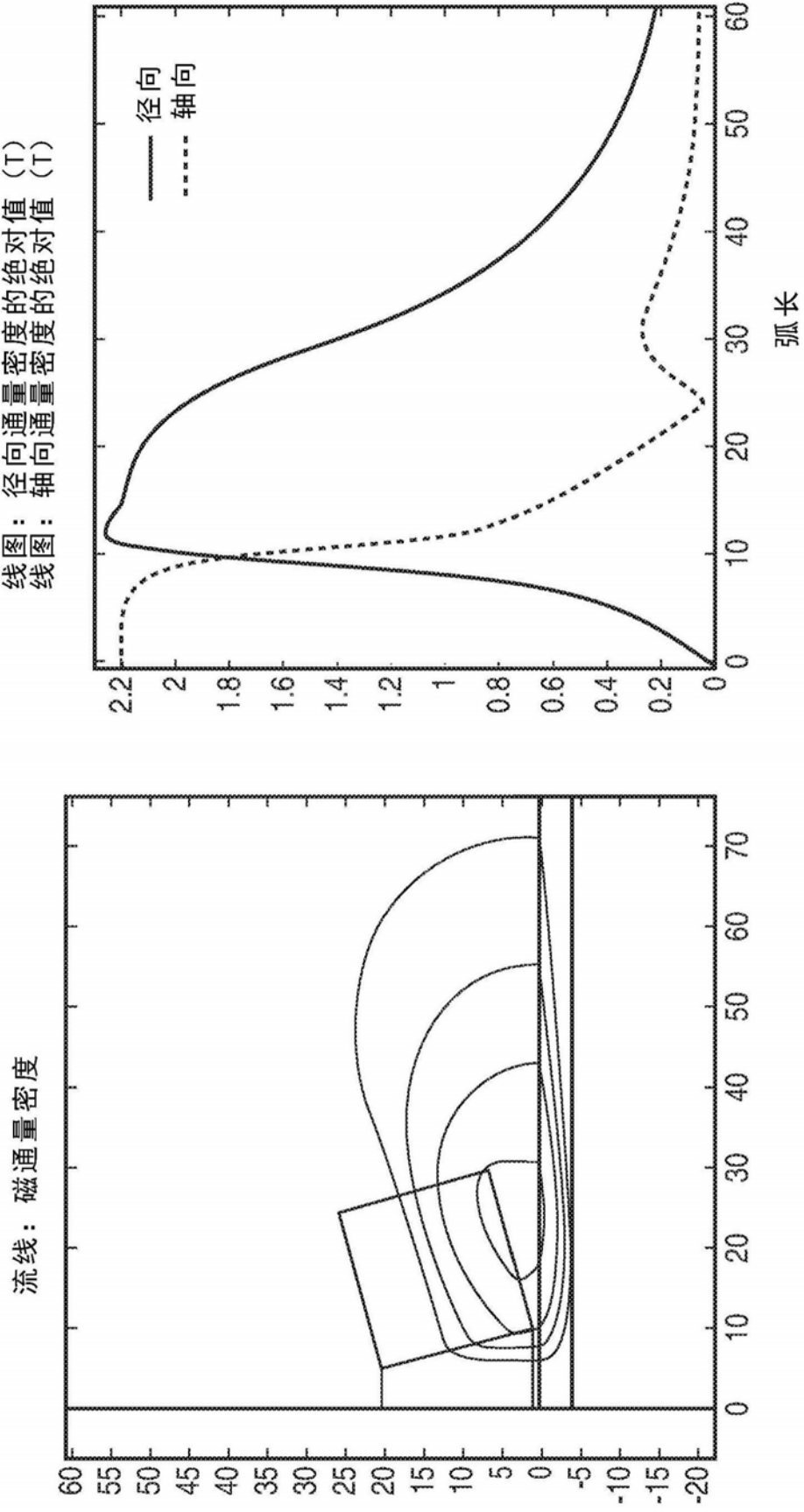


图11

高度 = 20mm, 角度 = 90°

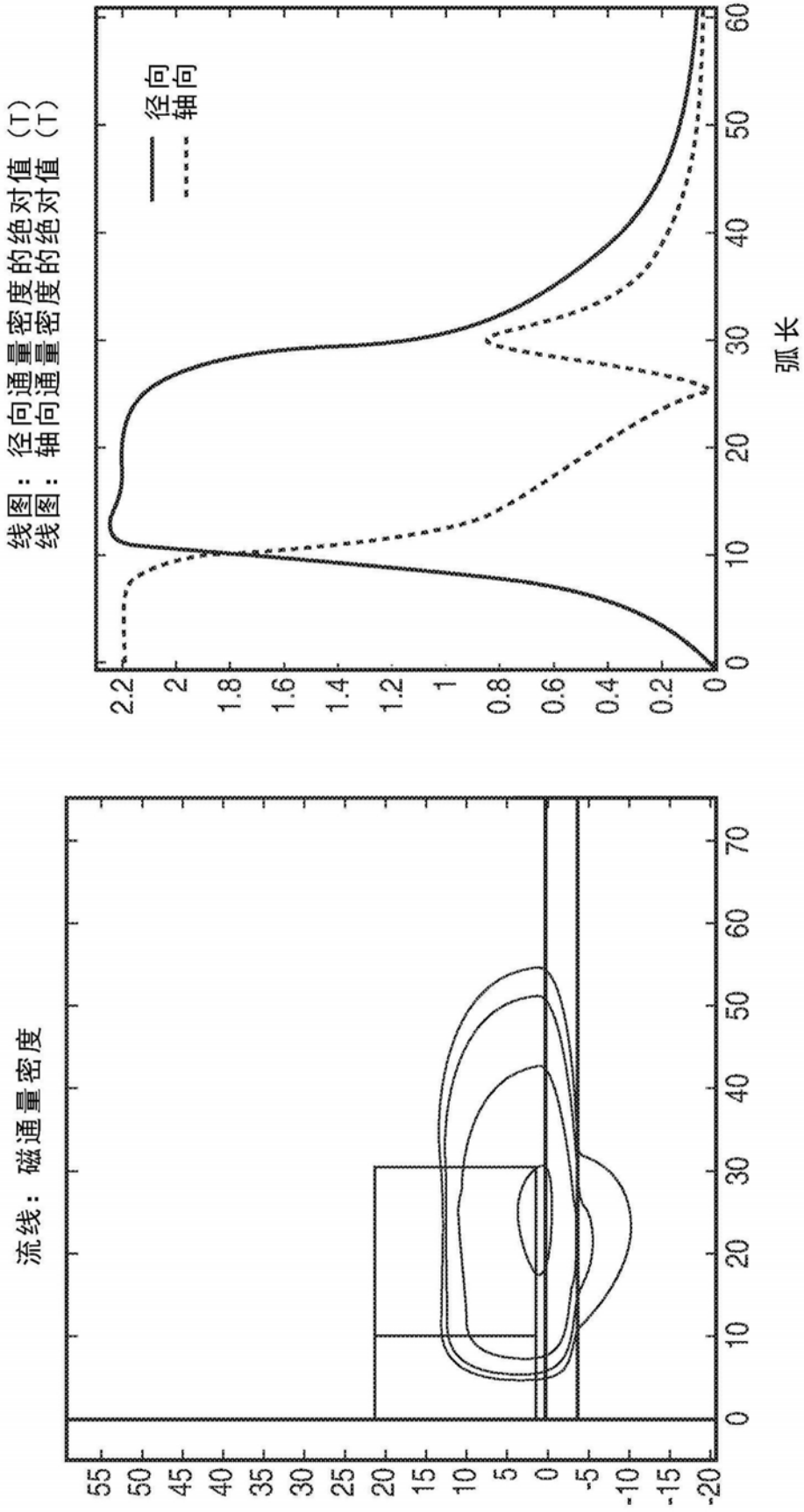


图12

高度 = 10mm, 角度 = 90°

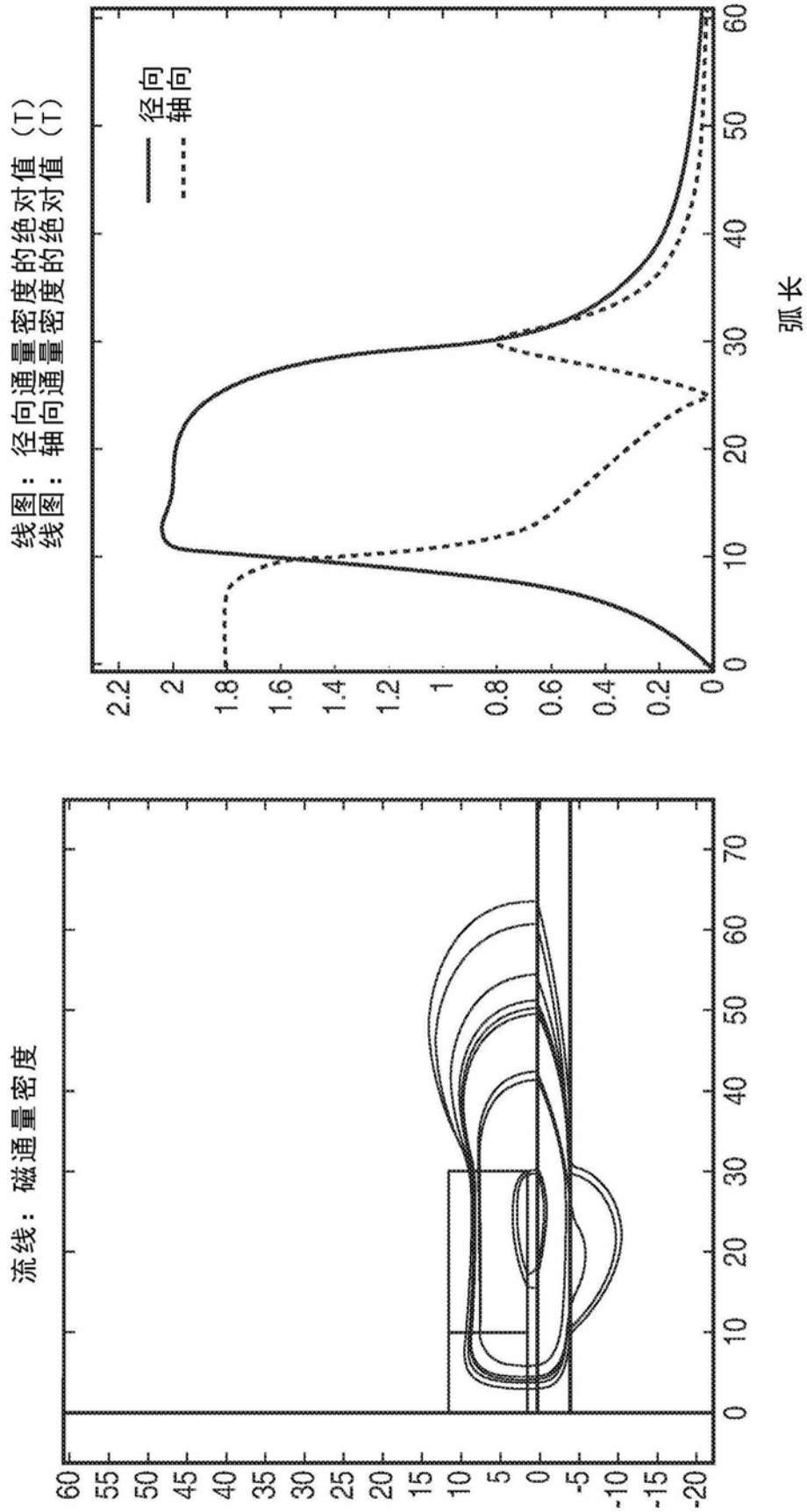


图13

高度 = 10mm, 角度 = 75°

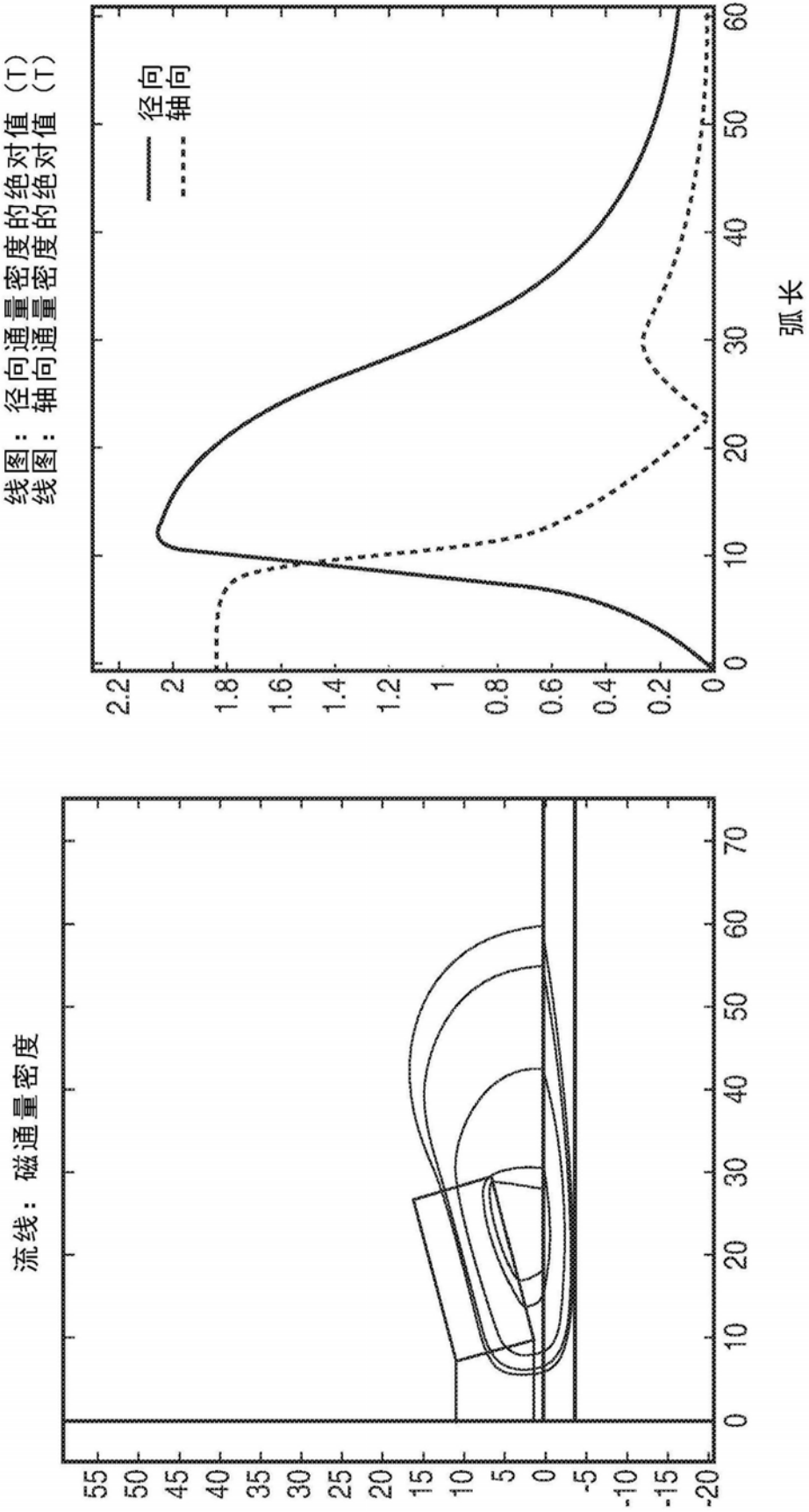


图14

高度 = 10mm, 角度 = 60°

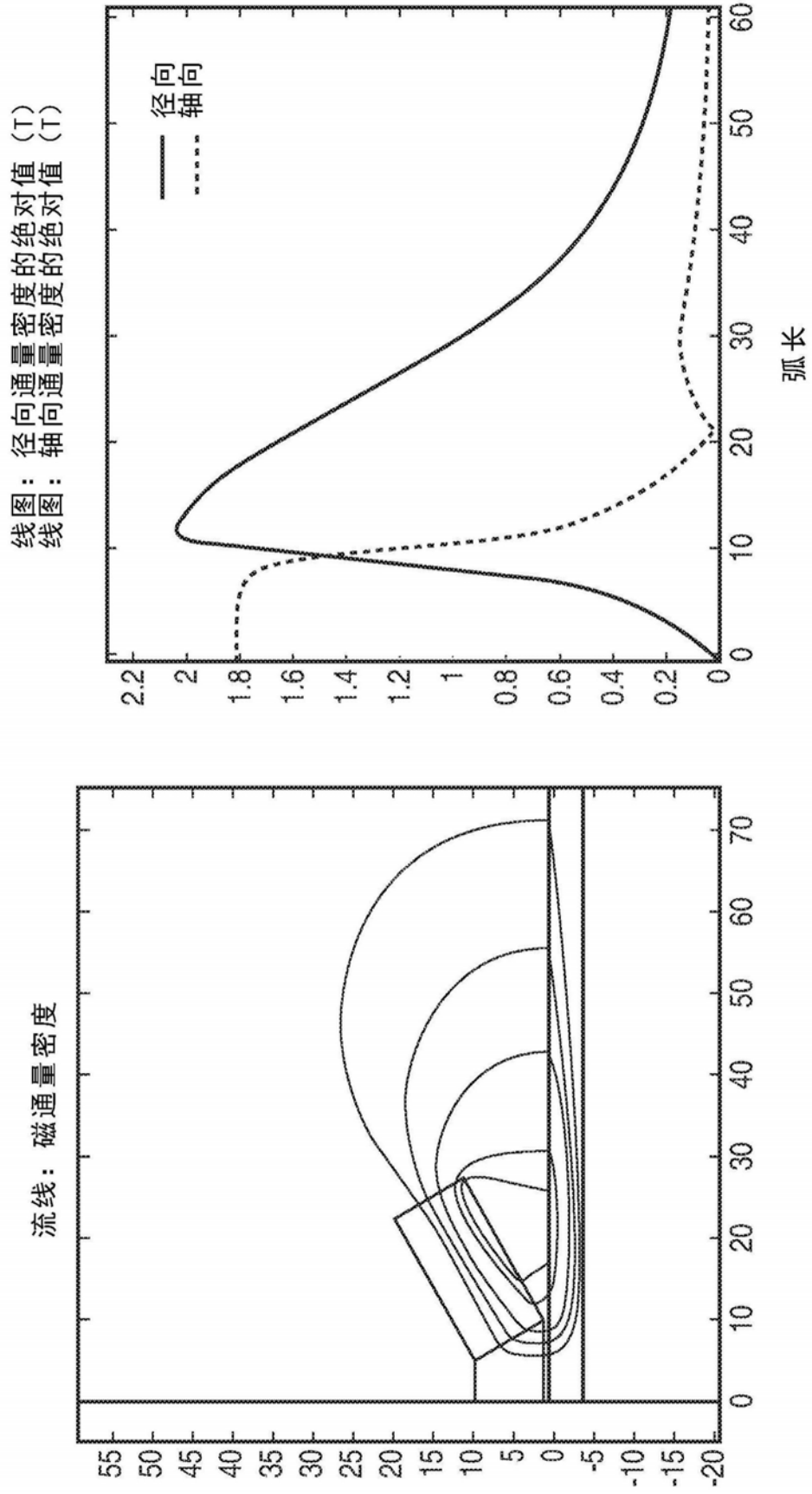


图15

高度 = 10mm, 角度 = 45°

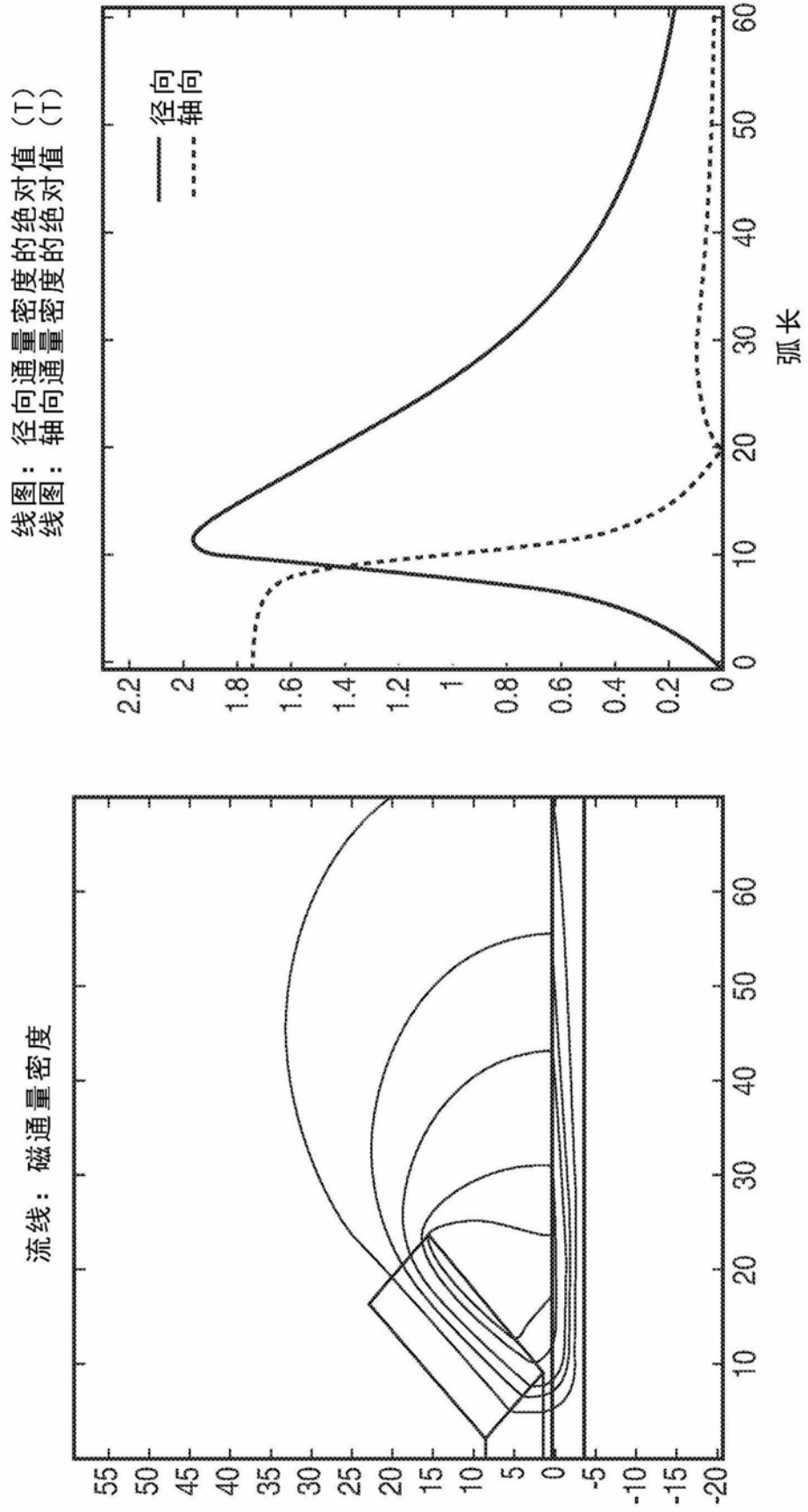


图16

高度 = 10mm, 角度 = 30°

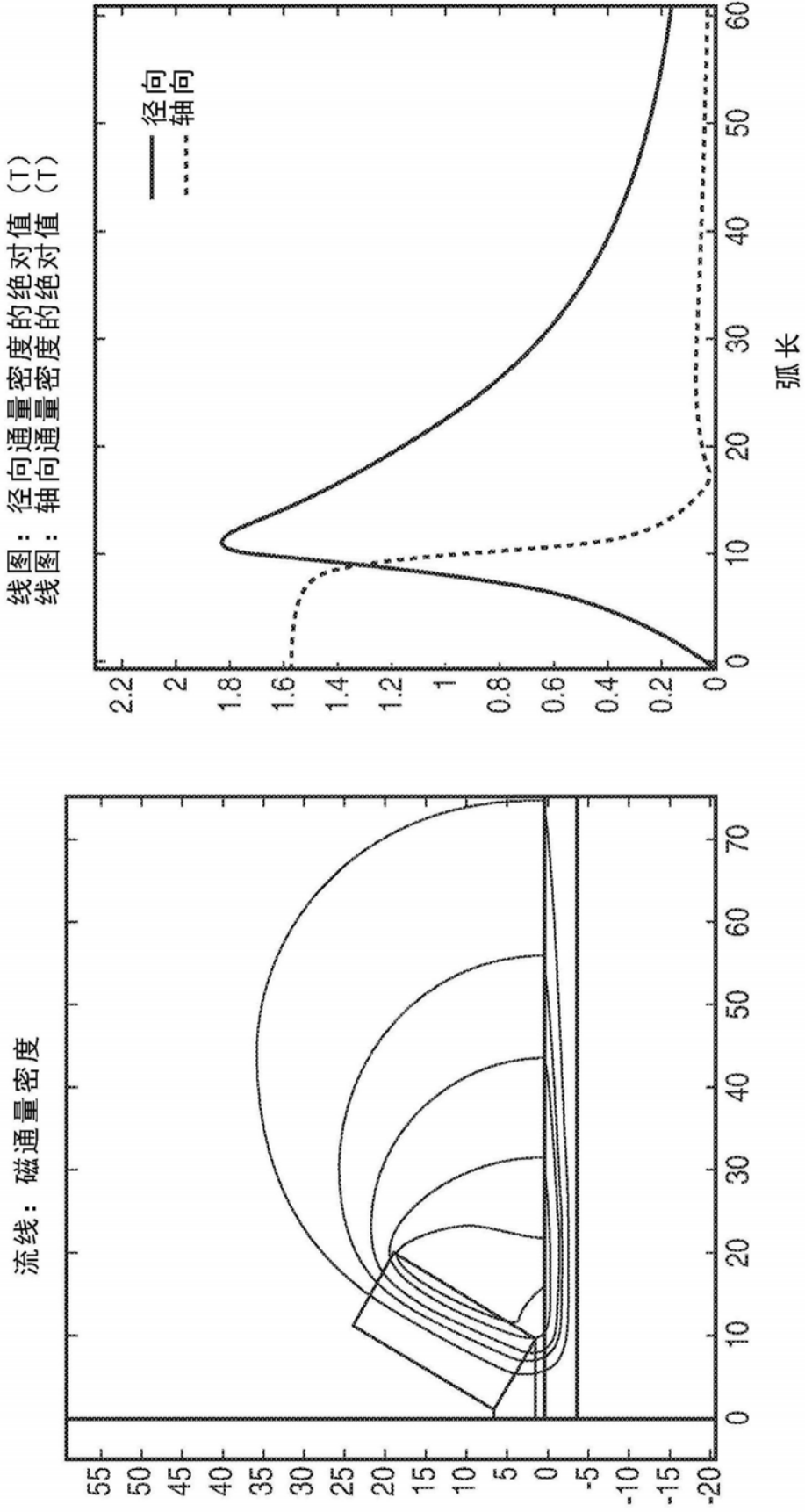


图17

高度 = 10mm, 角度 = 15°

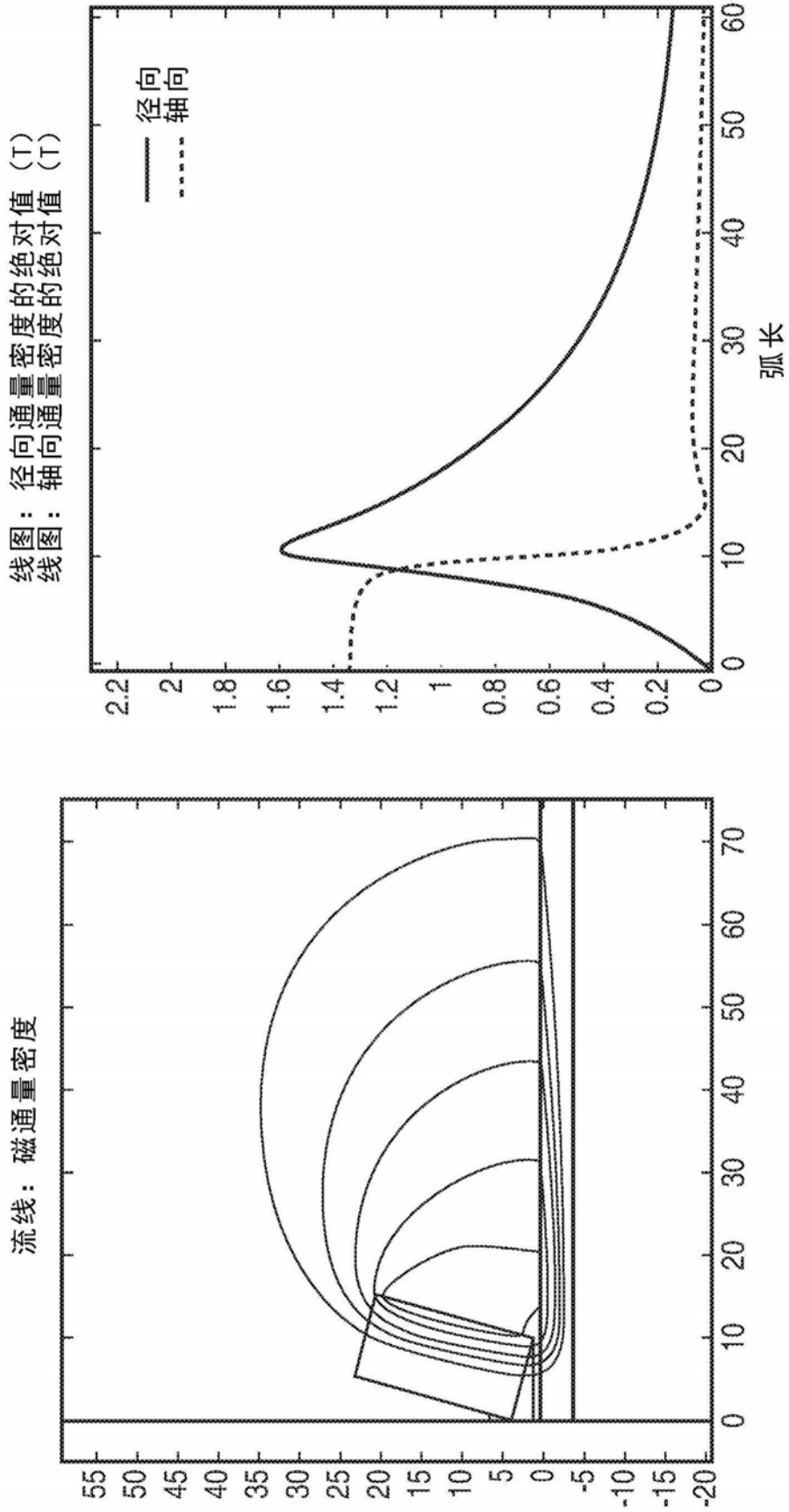


图18

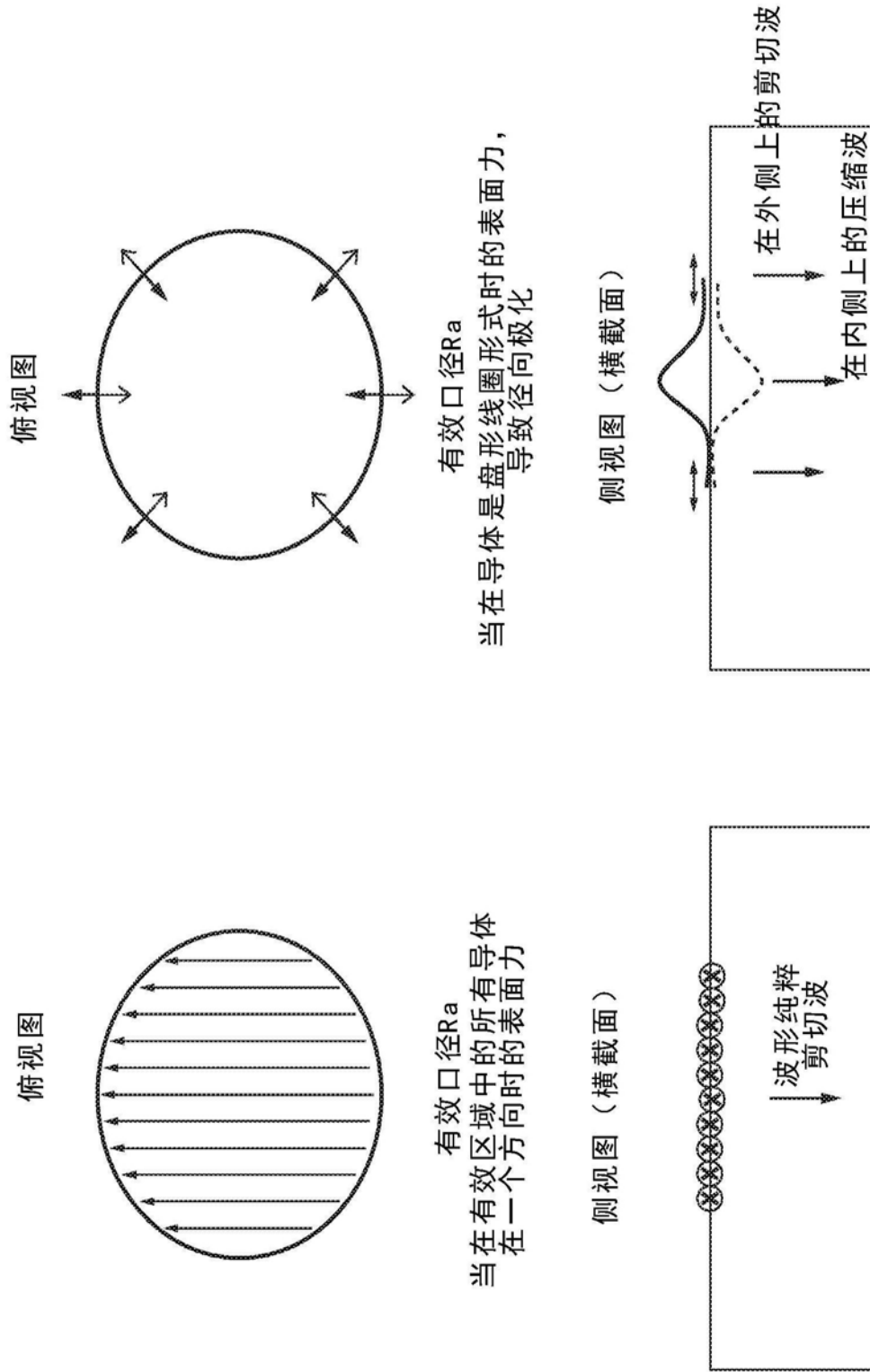


图19

在不同厚度的钢板上的由在有效区域上平行的导体（表面力）
激励的处于2MHz的波形纯粹信号

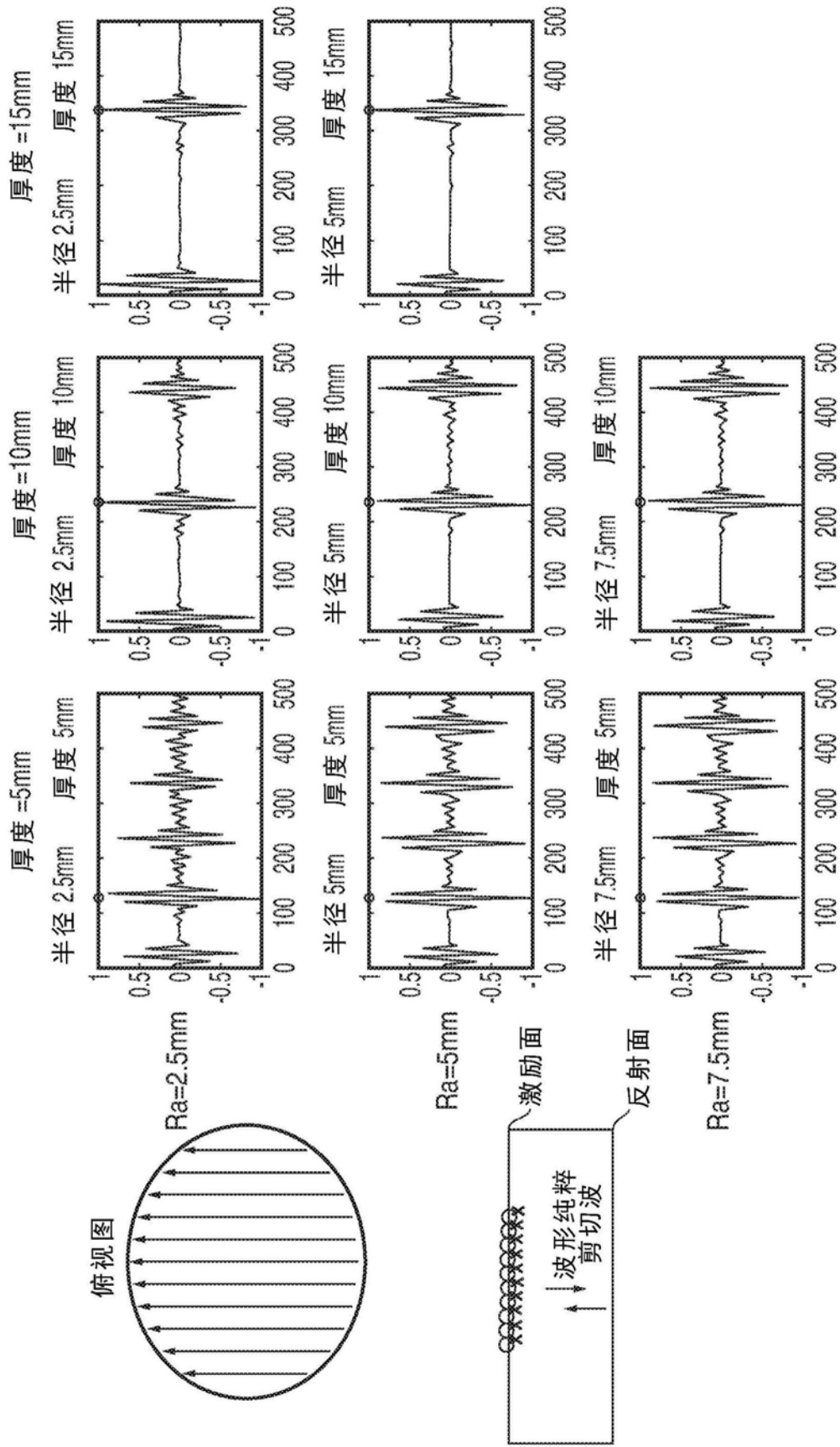


图20

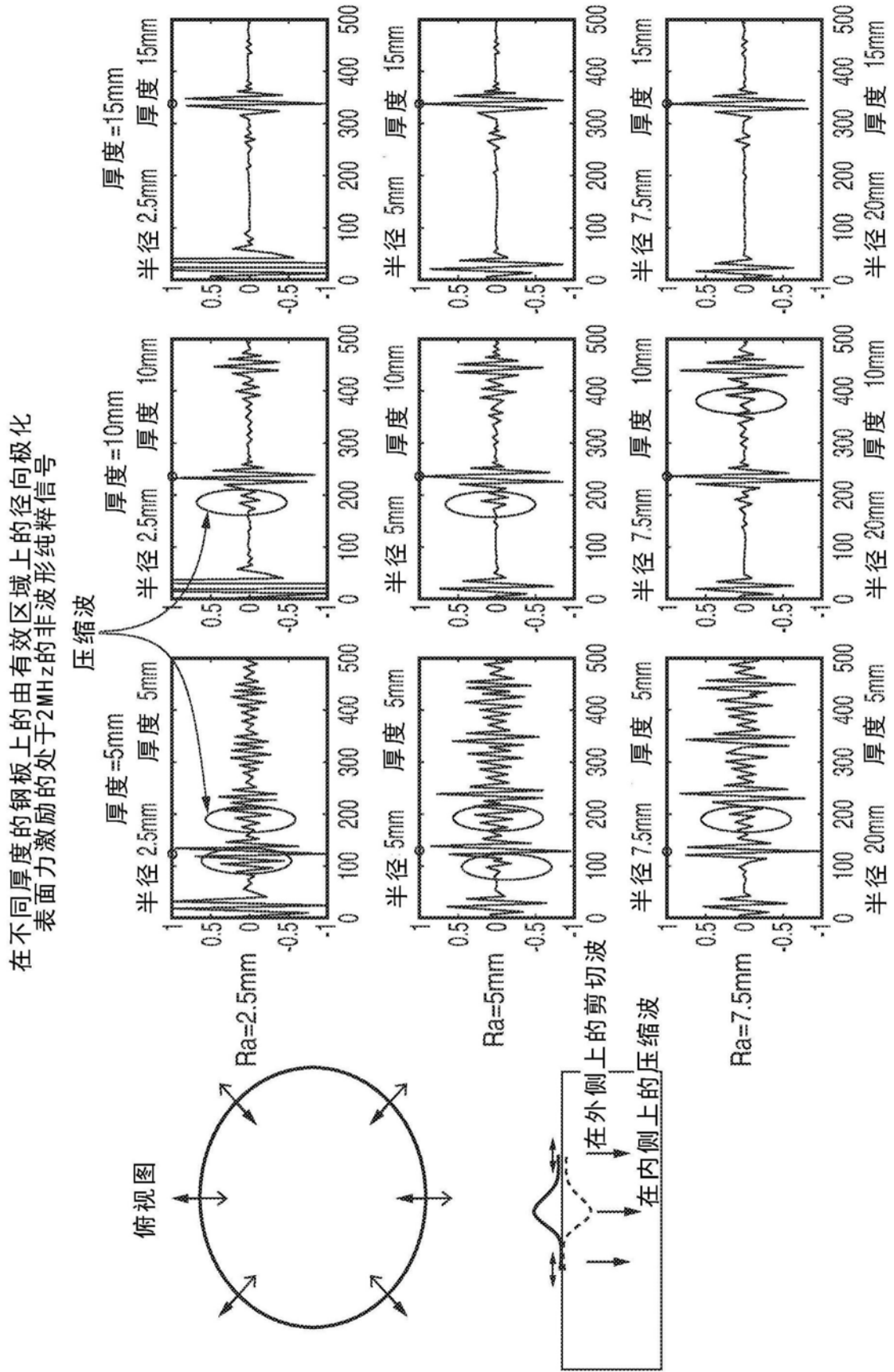


图21