



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112912698 B

(45) 授权公告日 2025. 02. 14

(21) 申请号 201980067675.9

(22) 申请日 2019.10.04

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112912698 A

(43) 申请公布日 2021.06.04

(30) 优先权数据
62/742,032 2018.10.05 US
16/589,466 2019.10.01 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.04.13

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2019/054640 2019.10.04

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/072868 EN 2020.04.09

(73) 专利权人 霍尼韦尔国际公司

地址 美国新泽西州

(72) 发明人 赛斌 罗冬

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

专利代理师 蒋骏 吕传奇

(51) Int.Cl.
G01F 1/667 (2022.01)
G01P 5/24 (2006.01)

(56) 对比文件
US 4011473 A, 1977.03.08

审查员 李佳锐

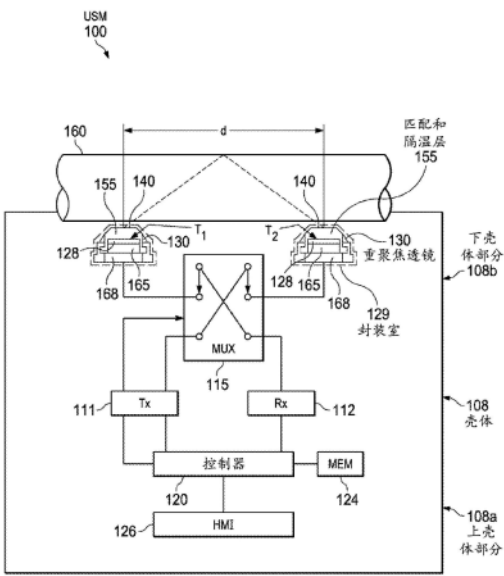
权利要求书2页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

具有透镜组合的超声流量计

(57) 摘要

本发明公开了一种超声流量计(100),该超声流量计包括壳体(108)以用于附接到流体管(160)。耦接到发射器(Tx 111)和接收器(Rx 112)的第一压电元件(128)被配置为在垂直于由该压电元件限定的水平面的轴向方向上发出超声波。透镜组合在下壳体部分(108b)中,该透镜组合径向定位在第一压电元件外部,该透镜组合包括环形的重聚焦透镜(130),该重聚焦透镜被配置用于重定向接收的径向超声波在垂直于水平面的轴向方向上行进,并且具有厚度分布,该厚度分布被配置为用作匹配层以用于减少该下壳体部分内的多次反射。盘形的第二透镜(140)在该重聚焦透镜下方,被配置用于重定向该径向超声波以在该轴向方向上行进。



1. 一种超声流量计,所述超声流量计包括:

外部壳体,所述外部壳体具有附接到下壳体部分的上壳体部分,其中所述上壳体部分具有附接特征以用于附接到管,所述管适用于使流体在其中流动;

至少第一压电元件,所述至少第一压电元件具有限定耦接到发射器和接收器的水平面的平面表面,其中所述第一压电元件被配置为在垂直于所述水平面的轴向方向上发出工作波长 λ 的超声波;

透镜组合,所述透镜组合在所述下壳体部分中,所述透镜组合包括:

环形的重聚焦透镜,所述重聚焦透镜径向定位在所述第一压电元件外部,所述重聚焦透镜被配置为用于重定向所述超声波中的接收的径向超声波在所述轴向方向上行进以用于减少信号损耗,和

平坦盘形的第二透镜,所述第二透镜定位在所述重聚焦透镜下方,所述第二透镜包括所述第一压电元件径向外部的部分,所述第一压电元件被配置用于重定向所述超声波中的所述接收的径向超声波在所述轴向方向上行进,所述第二透镜具有厚度分布,所述厚度分布被配置为用作匹配层以用于减少所述下壳体部分内的多次反射。

2. 根据权利要求1所述的超声流量计,还包括内部封装室,其中所述第一压电元件和所述重聚焦透镜两者在所述封装室内。

3. 根据权利要求1所述的超声流量计,其中所述第一压电元件为盘形的,并且其中所述下壳体部分具有相对于所述水平面成 $45^\circ \pm 5^\circ$ 的壁区域,以及 $\lambda/8 \pm 20\%$ 的厚度。

4. 根据权利要求1所述的超声流量计,其中所述第一压电元件包括盘形的压电陶瓷,所述压电陶瓷的直径与厚度比至少为10。

5. 根据权利要求1所述的超声流量计,其中所述第二透镜的中心直径为 $\lambda/2 \pm 20\%$ 。

6. 一种超声流体流感测的方法,所述方法包括:

提供超声流量计,所述超声流量计包括壳体,所述壳体具有附接到下壳体部分的上壳体部分,其中所述上壳体部分具有附接到用于使流体在其中流动的管的附接特征,其中所述超声流量计包括至少第一压电元件,所述至少第一压电元件具有限定耦接到发射器和接收器的水平面的平面表面;以及在所述下壳体部分中的透镜组合透镜,所述透镜组合透镜包括径向定位在所述第一压电元件外部的环形的重聚焦透镜,以及定位在所述重聚焦透镜下方的平坦盘形的第二透镜,所述第二透镜包括径向定位在所述第一压电元件外部的部分;

所述发射器迫使所述第一压电元件主要在垂直于所述水平面的轴向方向上发出工作波长 λ 的超声波;

其中所述重聚焦透镜被配置用于重定向所述超声波中的接收的径向超声波在所述轴向方向上行进以减少信号损耗,并且

其中所述第二透镜的所述部分被配置用于重定向所述超声波中的所述接收的径向超声波在所述轴向方向上行进,所述第二透镜具有厚度分布,所述厚度分布被配置为用作匹配层以用于减少所述下壳体部分内的多次反射。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中所述第一压电元件为盘形的,并且其中所述下壳体部分具有相对于所述水平面成 $45^\circ \pm 5^\circ$ 的壁区域以及 $\lambda/8 \pm 20\%$ 的厚度。

8. 根据权利要求6所述的方法,其中所述第一压电元件包括盘形的压电陶瓷,所述压电

陶瓷的直径与厚度比至少为10。

9. 根据权利要求6所述的方法, 其中所述重聚焦透镜具有三角形横截面, 并且其中所述第二透镜利用所述下壳体部分的底部区段。

10. 根据权利要求6所述的方法, 其中所述流体的压力介于1巴至20巴。

具有透镜组合的超声流量计

技术领域

[0001] 本发明所公开的实施方案涉及超声流量计。

背景技术

[0002] 超声计 (USM) (也称为超声流量计 (UFM)) 变得越来越普遍用于流体流量计量, 因为它们能够测量宽范围的不同的流动速率, 引起最小压降以及具有非移动部分从而提供较少的机械维护和更好的可靠性。USM 中的关键硬件部件是包括压电晶体或压电陶瓷的压电元件。如物理学中已知的, 压电效应是某些材料响应于施加的机械应力而生成电荷的能力。

[0003] 对于流量计量的应用, 两个或更多个基于压电元件的换能器通过完全或部分封装的外壳向管中流动的流体发射和从管中流动的流体接收超声信号。在诸如石油和天然气的工业中, 仍存在获得高超声信号质量和可靠性的挑战。对于工业应用, 高压 (表压) 流量可达到 200 巴或更大, 而对于商业应用, 低压和中压一般介于 0.1 巴与 40 巴之间, 诸如为 1 巴至 20 巴。

[0004] 当在低压和中压下使用常规 USM 时, 商用和/或城市气体分配网络通常面临性能劣化的问题, 因为压力越低, 气体密度越低, 并且超声信号的衰减越高。因此, 当 USM 在相对低压下操作时, 存在较低的信噪比 (SNR) 和降低的 USM 的可检测性、可靠性和/或稳定性。目前涡轮计是 USM 的下一个最佳替代方案 (NBA), 但是机械移动和较窄的下调比率或测量范围使涡轮计难以服务商用气体分配市场, 主要是因为城市中企业 (诸如餐厅和酒店) 在气体使用的高峰与低谷之间可能存在很大差异, 其中气体速度 (V_{oG}) 一般在 0.1 m/s 与 25 m/s 之间变化。因此, 城市或商用气体分配网络对 USM 的需求很高。

发明内容

[0005] 提供本发明内容以介绍简化形式的公开概念的简要选择, 其在下文包括所提供附图的具体实施方式中被进一步描述。该发明内容不旨在限制所要求保护的的主题的范围。

[0006] 本发明所公开的方面认识到, 一般地, USM 信号质量可因多种不同的因素而劣化。这些 USM 信号劣化因素包括压电元件的操作模式、产生大振幅的周围壳体 (或外壳) 和可破坏有用信号可检测性和系统灵敏度的持久响铃效应。持续长时间的响铃效应增加了最小测量范围 (盲区), 这被认为不利于短程测量, 尤其是在小尺寸 USM 中, 而匹配和失配处理机制引起信号损耗和多次反射。不正确的填充和背衬材料可引起增加噪声水平的反耦合, 这降低了 SNR。流体的低压或中压可引起信号振幅的严重衰减效应, 压电换能器上的灰尘和污垢污染可由于噪声水平增加而引起 SNR 减小, 并且不需要的强信号可使用于放大一般弱的接收的超声信号的接收器的低噪声放大器 (LNA) 饱和。

[0007] 本发明所公开的 USM 具有一般可解决以上在一种设计中描述的所有这些 USM 信号质量劣化因素的特征, 其中重点在于被配置用于相对更困难地应用于如上所述一般介于 0.1 巴与 40 巴之间的低压和中压流体流量感测, 因为高压应用由于较低的衰减/阻尼效应导致的接收信号质量增强而可能不太困难。因此, 在信号质量方面, 常规的高压换能器设计一

般将不适用于此类低压和中压应用,尤其是对于可压缩流体(诸如天然气)而言,该可压缩流体可对行进通过换能器的信号造成相当大的衰减/阻尼,使得换能器路径将无法正确工作,从而导致低信号质量或USM的流量测量失败。

[0008] 本发明所公开的方面包括一种超声流量计,该超声流量计包括壳体,该壳体包括用于附接到流体管的上壳体部分和下壳体部分。耦接到发射器和接收器的压电元件被配置为在垂直于由压电元件限定的水平面的轴向方向上发出超声波。透镜组合在下壳体部分中,该透镜组合包括环形的重聚焦透镜,该重聚焦透镜径向定位在第一压电元件外部,该重聚焦透镜被配置用于重定向接收的径向超声波在轴向方向上行进,并且具有厚度分布,该厚度分布被配置为用作匹配层以用于减少下壳体部分内的多次反射。平坦盘形的第二透镜在重聚焦透镜下方,该重聚焦透镜包括第一压电元件径向外部的部分,该第一压电元件被配置用于重定向径向超声波在轴向方向上行进。

附图说明

[0009] 图1A是根据示例性实施方案的安装用于管中流动的流体的流量测量的示例性USM的框图,其中USM包括实现间接路径(反射路径)感测的第一压电元件和第二压电元件。

[0010] 图1B示出了所公开的重聚焦透镜和第二透镜相对于下壳体部分内部的压电元件的示例性布置。

[0011] 图2A示出了用具有第一压电元件的第一USM和具有第二压电元件的第二USM实现的直接路径配置,其中相应的USM位于管的相对侧上,其中相应的压电元件的面指向彼此。

[0012] 图2B示出了具有第一USM和第二USM的间接路径配置,其中相应的USM位于管的同一侧,该第一USM具有第一压电元件,该第二USM具有第二压电元件。

[0013] 图3示出了根据示例性实施方案的具有重聚焦透镜和半波长透镜的示例性USM的剖视图。

[0014] 图4示出了根据示例性实施方案的具有重聚焦透镜和半波长透镜的示例性USM的剖视图,该示例性USM具有外部壳体变型。所示USM具有填充有阻尼材料的很大的内部空间。

[0015] 图5示出了根据示例性实施方案的具有重聚焦透镜和第二透镜的示例性USM的剖视图,该示例性USM示出了又一个外部壳体变型。

具体实施方式

[0016] 参考附图描述了所公开的实施方案,其中相同的附图标记用于在所有附图中指代类似或等同的元件。附图未按比例绘制,并且其仅被提供用于示出本文所公开的方面。下面参考用于说明的示例性应用来描述若干公开的方面。应当理解,阐述了很多具体细节、关系和方法以提供本文所公开的实施方案的完全理解。

[0017] 然而,相关领域的普通技术人员将易于认识到,所公开的实施方案可在没有的一个或多个具体细节的情况下或用其他方法实践。在其他情况下,未详细示出公知的结构或操作以免模糊本文所公开的方面。本公开不受示出的动作或事件的顺序限制,因为某些动作可以不同的顺序发生和/或与其他动作或事件同时发生。此外,并非所有示出的动作或事件都是实现根据本公开的方法必需的。

[0018] 另外,如本文所用的没有进一步限定的术语“耦接到”或“与…耦接”(等等)旨在描

述间接或直接电连接。因此,如果第一设备“耦接”到第二设备,则该连接可通过直接电连接,其中在通路中仅存在寄生;或者可通过经由包括其他设备和连接的中间项的间接电连接。对于间接耦接,中间项通常不修改信号的信息,但可调整其电流电平、电压电平和/或功率电平。

[0019] 图1A是包括至少所公开的透镜组合的USM 100的框图,该透镜组合包括重聚焦透镜130和第二透镜140,并且一般还包括用于克服USM信号质量劣化因素的多个其他上述特征,该透镜组合安装在计主体内以用于基于超声的流量测量管160的区段中流动的流体。USM 100被示出为包括外部壳体108(也称为外壳),该外部壳体提供其中具有示出的压电元件对的计主体,该压电元件对包括在管160的同一侧上彼此间隔开示为d的距离的示为 T_1 的第一压电元件和第二压电元件 T_2 ,该USM实现了反射路径(间接路径)感测配置。所公开的USM也可仅具有单个压电元件,诸如下文所述的图2A所示。壳体108可包括黄铜、钛或铝合金,诸如包括镁和硅作为其主要合金元素的铝6061。

[0020] 尽管USM 100被示出为实现反射路径感测配置,但是也可实现图2A所示的直接路径配置,其中存在具有第一压电元件的第一USM 100a和具有第二压电元件的第二USM 100b,其中相应的USM替代地位于管160的相对侧上,其中相应的压电元件128的面指向彼此。如本领域中已知的,压电元件128一般具有盘形,该盘形为平坦的、薄的圆形物体,由于其薄性质而可被认为提供在USM中为径向方向的水平面,即垂直于由USM发出超声波的实际方向。图2B中的反射(间接)路径配置被示出为用具有第一压电元件128的第一USM 100c和具有第二压电元件128的第二USM 100d实现,其中相应的USM现在位于管160的同一侧。

[0021] USM 100附接到管160,一般使用气密且耐高压的机构被插入到管160中,或者被配置为安装在管160的外部上的夹紧设备。尽管在图1A中未示出,但是压电元件 T_1 和 T_2 可各自具有其自己的单独封装室(参见下文所述的图3所示的内部封装(隔离)室129),该单独封装室封装压电元件,并且被示出为还封装重聚焦透镜130。

[0022] 压电元件 T_1 和 T_2 采用压电晶体或压电陶瓷,该压电晶体或压电陶瓷在脉冲电压信号(从发射器接收)被施加到其压电元件时被设定进入振动,从而生成超声波。在操作中,超声波脉冲由压电元件对中的一个交替地发射,并且由压电元件对中需要用于流量测量的另一个压电元件接收。

[0023] 成角度的轴向信号路径在图1A中由管160内部的虚线示出。如本领域已知的,USM可包括图1A所示的超过2个压电元件 T_1 和 T_2 ,通常从两个到多达16个压电元件。USM 100包括发射器(Tx) 111和接收器(Rx) 112,或者替代如所示的分开的Tx和Rx,可存在单个收发器,由数字控制的多路复用器(MUX) 115分别耦接到 T_2 和 T_1 ,该多路复用器使压电元件 T_2 和 T_1 能够交换(交替)发射和接收角色,使得在一个时刻Tx 111接通并且在另一个时刻Rx 112接通。操作中的管160中具有流体,该流体为液体或气体,诸如天然气。流体可在通常介于0.1巴与40巴之间(诸如1巴至20巴)的低压或中压下。

[0024] USM 100一般还包括控制器120,该控制器一般包括微处理器、数字信号处理器(DSP)或微控制器单元(MCU),该控制器具有示出为“MEM”124的相关联的存储器,该存储器可存储算法的代码,该算法包括用于实现所公开的流体速度测量方法的算法。控制器120耦接到Tx 111和Rx 112,并且还耦接以控制MUX 115。控制器120还被配置为在指定的时隙中切换Tx和Rx角色。

[0025] 然而,如本领域中已知的,由控制器120运行的算法可由硬件实现或由软件实现。关于基于硬件的具体实施,算法方程可诸如使用VHDL(硬件描述语言)转换成数字逻辑门模式,然后该VHDL可使用可编程器件(诸如现场可编程门阵列(FPGA)或复杂可编程逻辑器件(CPLD)或专用的专用集成电路(ASIC))来实现,以实现逻辑门模式。关于基于软件的具体实施,算法的代码一般存储在存储器中,诸如可由控制器120实现的存储器124。

[0026] 图1A中还示出了耦接到控制器120的人机界面(HMI)126,如果认为需要,该人机界面可包括键盘和显示器。操作员可使用HMI 126调整USM的操作参数。

[0027] USM 100还包括所公开的透镜布置,该透镜布置可更好地见于下文所述的图1B,其中压电元件现在被示出为128。图1B是示出下壳体部分108b中的示例性布置的剖视图,该示例性布置示出了所公开的重聚焦透镜130和所公开的一般包括下壳体部分108b的底部区段的第二透镜140,以及它们如何相对于彼此和相对于压电元件128定位。示出了轴向方向和径向方向两者。径向方向与由压电元件128限定的水平面的方向相同,其中如上所述的压电元件128一般为盘形。

[0028] 图1B还示出了阻尼和抵消层168顶部的回填和阻尼材料135、压电元件128下方且侧面上的匹配和隔温层155,以及包括下壳体部分与匹配和隔温层155以及阻尼和抵消层168之间的侧阻尼172。

[0029] 透镜布置包括两者均定位在下壳体部分108b中的重聚焦透镜130和第二透镜140,其中重聚焦透镜130在第一压电元件128的径向外侧,并且第二透镜140的外部分在第一压电元件128的径向外侧。第二透镜140一般为盘形,该盘形一般为实心盘,并且定位在重聚焦透镜130下方,其中超声信号通过第二透镜140的内部分发射(例如,发出并且可选地也接收)。

[0030] 如本领域已知的,在USM 100操作期间,当压电元件128振动时,产生具有包括在径向方向上的拐点斜率的p波和s波两者。重聚焦透镜130被配置用于重定向来自第一压电元件128的径向超声波以提供衍射或拐点,从而在轴向方向上重定向这些径向超声波以减少信号损耗。

[0031] 如声学中已知的,匹配层的厚度一般等于声波长的四分之一($\lambda/4$),以最小化匹配层的前侧处的反射,从而有利于发射波。已找到最佳阻抗值,下一次确定用于找到具有该特定阻抗的材料。可使用作为理论匹配层建模算法的已知的Mason模型。还可能通过使用计算机数字模拟或比较测试找到最合适的厚度。

[0032] 第二透镜140还用于重定向其接收的径向超声波以在轴向方向上更定向地行进。第二透镜140的标称中心直径一般为 $\lambda/2$ (其一般可为 $\pm 20\%$),并且第二透镜140的标称厚度也与重聚焦透镜130一样一般由声学阻抗匹配考虑因素确定以提供匹配层。第二透镜140可具有 $\lambda/20$ 的标称厚度(其一般可为 $\pm 20\%$)以提供阻抗匹配层,该阻抗匹配层根据由发明人对特定的一组操作条件执行的比较测试的结果而确定为最佳声学匹配厚度。

[0033] 其中第二透镜140的直径为利用指定为一般约 $\lambda/2$ 的壳体的最底部部分的盘表面,以及其厚度为约 $\lambda/20$,通过这两个限定的几何参数,壳体的最底部部分用作透镜以重定向USM中接收的声波,诸如其中相同的压电元件作为发射器或接收器成对地交替。因此,壳体的最底部平坦表面提供了作为声学透镜的附加的新功能。

[0034] 如本领域已知的,在操作期间,当控制压电元件128振动时,产生具有包括在径向

方向上的拐点斜率的p波(也称为压缩波)和s波(也称为二次波)两者,其中当径向间距(压电元件128的外径到下壳体部分108b的内壁)太窄时可发生谐振,使得可产生驻波。

[0035] 重聚焦透镜130一般为具有直角三角形横截面(参见下文所述的图1B)的环形,并且被配置为重定向接收的超声波在轴向方向上远离,如上所述,该轴向方向垂直于压电元件128的水平面,使得不产生驻声波。具体地,由重聚焦透镜130提供的接收的径向超声波的拐点和衍射/拐点用于克服一般包括金属或金属合金的壳体与气体(诸如空气、天然气或氮气)的声学阻抗失配,这与隔温层155相比具有很大的阻抗差值,该隔温层被示出为定位在压电元件128与重聚焦透镜130和第二透镜140之间。

[0036] 关于流动速度测量,来自压电元件 T_1 和 T_2 的声学脉冲穿过管160,如摆渡人穿过河流一样。在没有流体在管160中流动的情况下,声学脉冲以相同的速度在两个方向上传播。如果管160中的流体具有不同于零的流动速度,则随着流体流动向下游(从 T_1 到 T_2)行进的声学脉冲将移动得更快,而逆着流体流动向上游(从 T_2 到 T_1)行进的那些声学脉冲将移动得更慢。因此,与流体不移动时相比,下游行进时间“ t_{AB} ”将更短,而上游行进时间“ t_{BA} ”将更长。飞行时间(TOF)在本文中是指直接测量信号的行进时间,或者间接测量方法诸如基于Tx信号的系统互相关或基于后处理的互相关也可用于确定行进时间。下文的公式示出了计算原理,表示作为路径长度和路径相对于管160的角度的函数的行进时间、流体速度和流体中声的速度。

$$[0037] \quad t_{ABn} = \frac{L_n}{c_n + v_n \cos \varphi_n} \quad (1)$$

$$t_{BA n} = \frac{L_n}{c_n - v_n \cos \varphi_n} \quad (2)$$

$$[0038] \quad v_n = \frac{L_n}{2 \cos \varphi_n} \cdot \left(\frac{1}{t_{ABn}} - \frac{1}{t_{BA n}} \right) \quad (3)$$

$$c_n = \frac{L_n}{2} \cdot \left(\frac{1}{t_{ABn}} + \frac{1}{t_{BA n}} \right) \quad (4)$$

[0039] 其中: t_{ABn} 为公式中示为A的压电元件 T_1 与公式中示为B的压电元件 T_2 之间路径n的下游行进时间。

[0040] $t_{BA n}$ 为压电元件A与B之间路径n的上游行进时间。

[0041] L_n 为两个压电元件 T_1 (A)与 T_2 (B)之间声学路径n的直线长度。

[0042] Φ_n 为路径n相对于管的角度。

[0043] v_n 为由路径n的压电元件测量的流体的未校正的原始速度。

[0044] c_n 为由路径n的压电元件测量的流体中声的速度。

[0045] 图3示出了根据示例性实施方案的具有所公开的重聚焦透镜130和第二透镜140的示例性USM 300的剖视图。USM的工作波长一般在10mm至30mm的范围内。外部壳体108如图1A所示。图3具有附接到下壳体部分108b的上壳体部分108a。室连接螺纹117在图3中示出为将

上壳体部分108a耦接到下壳体部分108b。壳体108被配置为分开的上壳体部分108a和下壳体部分108b减少了当一般以液体形式添加的填充材料(诸如阻尼层165、阻尼和抵消层168和回填和阻尼材料135)使用常规的长管添加到壳体108的内部时引入的气泡量,以及在生产中填充壳体108的内部难度,并且还能够调节上壳体部分108a与下壳体部分108b之间的空气间隔(空气界面)中的接头,以减轻信号从USM 300的前部到后部然后再到前部的不期望的反耦合。

[0046] 壳体108可包括金属材料或非金属材料。上壳体部分108a具有被示出为用于附接到本文中具有流体的管的安装连接螺纹109的附接特征。关于术语,USM 300的顶部是USM的具有螺纹109的侧面,如图3所示,其中O形环113在螺纹109下方,该螺纹在相对于压电元件128的相对侧上,而USM 300的底部是具有压电元件128的端部,该压电元件是用于需要的声学发射和接收方向的前声学有源端,其中USM 300的底部(前端)被设计成向下定位在计主体的管内部,如图2A和图2B所示。压电元件128被示出在下壳体部分108b中。然而,压电元件128也可在上壳体部分108a与下壳体部分108b之间的边界区域中。压电元件128耦接到如图1所示的收发器(Tx 111/Rx 112),该收发器可与控制器120一起位于电子器件壳体(未示出)内。

[0047] 在压电元件128上方的是阻尼层165,该阻尼层一般包括具有低密度的材料诸如多孔泡沫或聚合物,以及阻尼和抵消层168,该阻尼和抵消层一般还包括具有低密度的材料诸如多孔泡沫或聚合物。阻尼层165的层厚度在朝向上壳体部分108a的后向轴向方向上一般约为 $\lambda/2$ 。压电元件128被匹配和隔温层155围绕,该隔温层一般包括具有低热导率的复合材料,诸如环氧树脂玻璃或热塑性复合泡沫。在阻尼和抵消层168外部并且部分在压电元件128和阻尼层165上方的匹配和隔温层155上方还存在侧阻尼层172。

[0048] 重聚焦透镜130根据压电元件128的振动模式以及压电元件128在壳体(下壳体部分108b)中的布置来配置。重聚焦透镜130被示出在匹配和温度隔热层155与下壳体部分108b之间的三角形空间中,并且可包括与硬化剂混合的粘合环氧树脂,以用于填充金属下壳体108b与匹配和隔温层155之间的间隙。使用粘合化合物的填充材料不仅在没有空隙的情况下粘结两种不同的材料,而且以指定形状密封间隙,使得重聚焦透镜130可在间隙中形成。

[0049] 如上所述的重聚焦透镜130可成形为直角三角形,可提供由结构中存在的间隙限定的一般大于或等于20度的斜边角度,并且中心宽度(厚度)为约 $1/50$ 波长,这是相对小的厚度,通常小于1mm。因此,在重聚焦透镜130与下壳体部分108b的 $\lambda/8$ 壁之间朝向USM 300的侧面泄漏的大多数超声信号将被重聚焦透镜130和 $\lambda/8$ 厚的壳体壁反射,以不干扰信号在USM 300的底部(其为声学有源前端)向前行进。

[0050] 图3中还示出了封装压电元件128的内部封装室129,该内部封装室也被示出为封装重聚焦透镜130。一般为壳体的一部分(底部部分)的第二透镜140在封装室129外部。

[0051] 重聚焦透镜130取向一般为环形并且径向定位在压电元件128外部,但是相对于压电元件128在下壳体部分108b中较低,而第二透镜140一般在重聚焦透镜130下方。如上所述的第二透镜140一般是下壳体部分108b的区域,并且不是单独的部件。用于提供第二透镜140的该壳体区域可为盘形的,具有 $\lambda/2$ 的标称中心直径和约 $\lambda/20$ 的厚度。因此,重聚焦透镜130和第二透镜140被配置为使得来自其自己声学的反射和折射的超声波被定向和/或重定

向在轴向方向上朝向管中的流体介质,其中已知不同介质的声学阻抗的所谓失配引起不期望的反射回到压电元件128。

[0052] 因此,45度的角(由如图3所示的第二透镜140上方的壳体壁设定)通过将侧向波重定向到前声学有源端以避免在相对小的空间内的多次反射和用于抵消驻谐波,不会干扰由压电元件128从作为USM 300的前声学有源端的下壳体部分108b发射的信号。重聚焦透镜130被配置用于抵消到达一般包括金属的壳体壁的超声波的泄漏,其中阻抗不连续性在下壳体的外表面处更严重。这种失配还可在压电元件128的区域与重聚焦透镜130之间产生多次反射(驻波)。因此, $\lambda/8$ 壳体壁厚度意在抑制该空间中的驻波以增强来自压电元件128的轴向超声波。

[0053] 如上所述,第二透镜140的盘形的中心直径可为 $\lambda/2 \pm 20\%$,其中如上所述, λ 是用于感测应用的超声信号的波长,诸如10mm至30mm。一般为下壳体部分的一部分的用于第二透镜140的材料可包括金属或非金属,但是一般将是被认为是良好地适用于恶劣环境条件的壳体材料的金属,诸如不锈钢或钛。图1B所示的第二透镜140的外部区域减少了垂直于轴向方向的径向超声波传播(即,以反相抵消它们),并且抑制了旁瓣以使超声波在轴向方向上更定向地行进。

[0054] 重聚焦透镜130和第二透镜140一般彼此部分地同心,其中第二透镜140径向延伸到重聚焦透镜外部,并且至少部分地在重聚焦透镜130下方,该重聚焦透镜一般被示出为完全在重聚焦透镜130下方。如上所述,压电元件128通常是盘形的,并且重聚焦透镜130一般为压电元件128的径向外侧的直角三角形的环,并且如上所述,第二透镜140一般是下壳体部分108b的区段,该第二透镜通常为盘形的并且相对于压电元件128的正面128a定位在压电元件128下方。

[0055] 用于重聚焦透镜130和第二透镜140的透镜材料一般被选择为适用于如上所述多达40巴的低压和中压条件,该透镜材料不应太软而不能承受压力条件。例如,可使用钛、SS304、SS316、铝合金或非金属材料(诸如塑料),这取决于流体测量条件的要求,例如腐蚀性或灰尘。这就是 $1/4\lambda$ 匹配层被示出为匹配和隔温层155的原因,并且重聚焦透镜130被配置为将旁瓣超声波重定向到USM 300的前部并且抑制可在一般金属刚性壳体108a、108b内发生的多次反射。

[0056] 因此,重聚焦透镜130和第二透镜140用于重定向接收的径向超声波并且防止下壳体部分108b的壁内的多次反射。重聚焦透镜130和第二透镜140将重定向接收的径向超声波在轴向方向上朝向其在压电元件对中的对应压电元件。图4示出了外部壳体具有重聚焦透镜130和第二透镜140的示例性USM 400的剖视图。示出为179的区域是紧固件,诸如包括重型橡胶环。

[0057] 图5示出了根据示例性实施方案的具有重聚焦透镜130和第二透镜140的示例性USM 500的剖视图,该示例性USM具有外部壳体变型。所示外部壳体的变型消除了诸如图3和图4所示的外部台阶,现在在图5中为直圆柱,并且包括回填和阻尼材料135和136的内部后部结构可包括环氧树脂或室温硫化(RTV)橡胶。回填和阻尼材料135与阻尼和抵消层168之间的回填和阻尼材料136用于更好地填充回填和阻尼材料135并且减少反信号耦合。回填和阻尼材料区域136可为预成形的,诸如包括橡胶。

[0058] 总之,用于所公开的USM解决USM信号质量劣化因素的主要特征为:

[0059] 1. 包括两者均在压电元件的径向外部的重聚焦透镜130连同下壳体部分108b中的第二透镜140一起的透镜组合在轴向方向上以拐点斜率和以衍射/拐点重定向径向超声波, 以克服包括下壳体部分108b的一般金属与管中可具有很大的阻抗差值的流体的失配。声学阻抗是材料密度与声速度的乘积。常规地, 使用厚度为 $1/4\lambda$ 的所谓匹配层, 其中对于所公开的USM, 除了在图3至图5中指示为匹配和隔温层155的常规 $1/4\lambda$ 匹配层之外, 还放置了重聚焦透镜130和第二透镜140, 并且匹配层的阻抗比为 $Z_m = \sqrt{Z_c \cdot Z_p}$, 其中 Z_c 为压电元件128的声学阻抗, Z_p 为流体介质的声学阻抗。例如, 如果 $Z_c = 35 \text{MRayl}$, 并且 $Z_p = 0.0004 \text{MRayl}$ (空气的 Z_p 值), 则 Z_m 大约等于 0.11MRayl 以便与空气具有良好的阻抗匹配 (天然气的阻抗比相同压力和密度下的空气大了大约1.3), 但是对于固体和刚性材料难以实现此类阻抗比。所公开的重聚焦透镜130与所公开的第二透镜140一起可解决该问题。

[0060] 2. 封装压电元件128的封装室129最大化向前超声辐射效率, 同时承受流体压力。封装室129可包括泡沫材料。泡沫的替代物包括聚合物、环氧树脂或具有与压电元件128的阻抗并且相对于空气很匹配的阻抗的一般任何类型的材料。

[0061] 3. 下壳体部分108b的壁可具有 $\lambda/8 \pm 15\%$ 的壁厚度 (如图2至图4所示), 以用于抵消驻波并且还以指定角度 (例如, 计算的角度和公差 (范围)) 重定向 (部分) 反射, 诸如 $45^\circ \pm 5^\circ$ 。

[0062] 4. 隔温层155一般为具有低热导率的复合材料, 以用于在压电元件128包括压电晶体时保护压电元件的常规晶体材料 (-20°C 至 $+60^\circ\text{C}$) 免于现场可能存在的很大温度变化, 例如 -40°C 至 $+85^\circ\text{C}$ 。

[0063] 5. 如所述的一般为盘形的压电元件128可包括 >10 的相对大的直径与厚度比的陶瓷材料, 该陶瓷材料被特定配置用于径向模式振动以增加其效率, 同时减少多个模式。这提供了高的系统灵敏度和信号效率, 使得能够使用低电压来更易于满足固有安全要求, 并且被设计用于通过提供低功耗由电池驱动。

[0064] 6. 拧在内壁或外壁上的特殊布置, 包括与到信号激励的印刷电路板 (PCB) 和接收电路的布线引脚一起的某物。压电元件128和PCB一般由线缆与正端子、负端子和接地端子连接。当执行从回填和阻尼材料135的后侧添加填充材料时, 一般将产生负压, 使得可能难以将回填和阻尼材料135推到壳体中, 如果材料具有粘剂形式或呈液体形式, 则由于内部气泡可能更难以将该回填和阻尼材料推到壳体中。使壳体呈两部分 (上部分和下部分, 如图1A、图1B和图3中的108a和108b所示) 使得回填和阻尼材料135填充过程更容易, 并且更可控且更灵活以也减轻可能的反耦合。

[0065] 现在提供了用于制造所公开的USM的示例性组装顺序。在第一步骤中, 压电元件128可粘结到隔温层155, 该隔温层内衬下壳体部分108b, 因此在第二透镜140上方, 这是一个核心组装步骤, 一般需要特别关注操作条件, 诸如温度、预载、灰尘和静电。在第二步骤中, 阻尼层165在液体形式时可被倾倒在压电元件128的顶部。在第三步骤中, 上述部件可与侧阻尼层172组装在一起, 然后阻尼和抵消层168在液体形式时可被倾倒其中。

[0066] 在第四步骤中, 上述部件可组装在下壳体部分108b内, 这是一个核心组装步骤, 并且需要特别关注底部和侧耦接, 诸如注意完全配合的接头, 从而不留气隙, 诸如使用匹配和隔温层155填充间隙。第五步骤可包括将上壳体108a组装到下壳体部分108b, 以上被示出为

室连接螺纹117。在第六步骤中,回填和阻尼材料135在液体形式时可被倾倒入壳体中,注意中间位置的线缆以及粘合并。在第六步骤中,如上所述,液体材料将转化成固体,同时避免气泡。

[0067] 虽然以上已描述了各种所公开的实施方案,但是应当理解,它们仅以示例而非限制的方式呈现。在不脱离本公开的精神或范围的情况下,可根据本文公开内容对所公开的实施方案做出很多改变。因此,本公开的广度和范围不应受任何上述实施方案限制。相反,本公开的范围应根据以下权利要求书及其等同物来限定。

[0068] 尽管已相对于一个或多个具体实施方案示出和描述了所公开的实施方案,但是在阅读和理解本说明书和附图时,本领域其他技术人员将想到等同的改变和修改。尽管特定特征可已相对于若干具体实施中仅一个具体实施而公开,但是此类特征可与其他具体实施的一个或多个其他特征组合,如可期望或有利于任何给定或特定的应用。

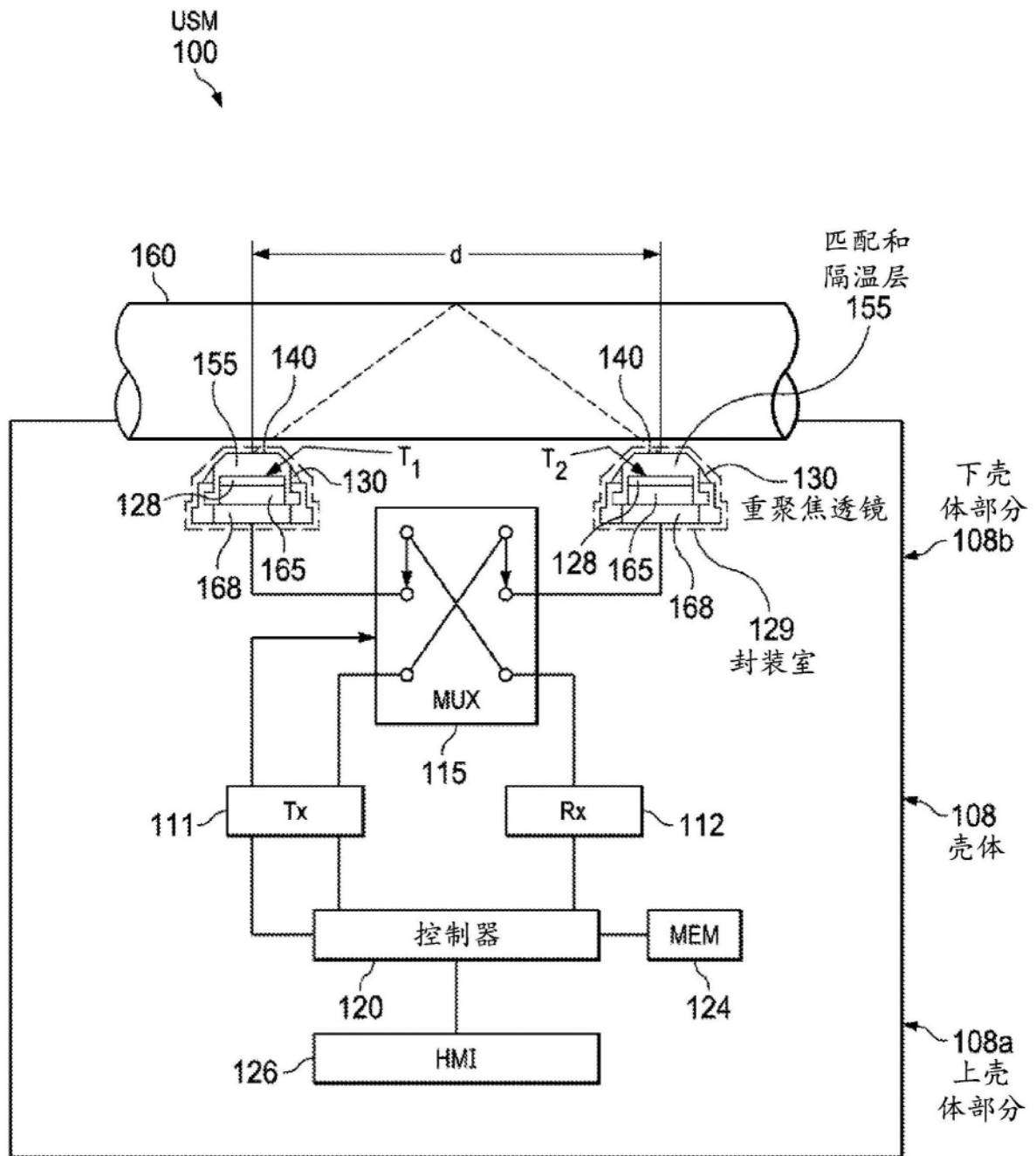


图1A

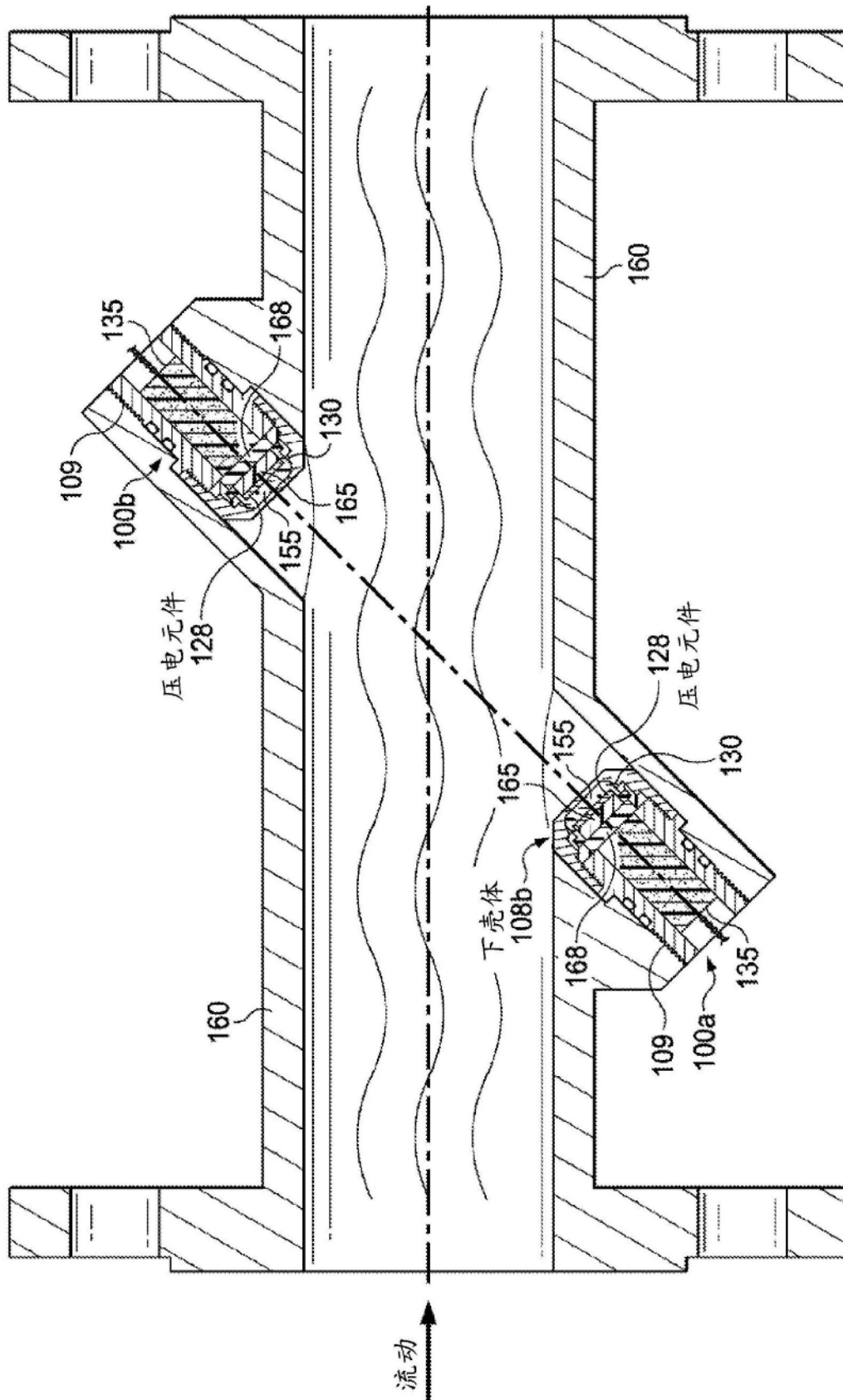


图2A

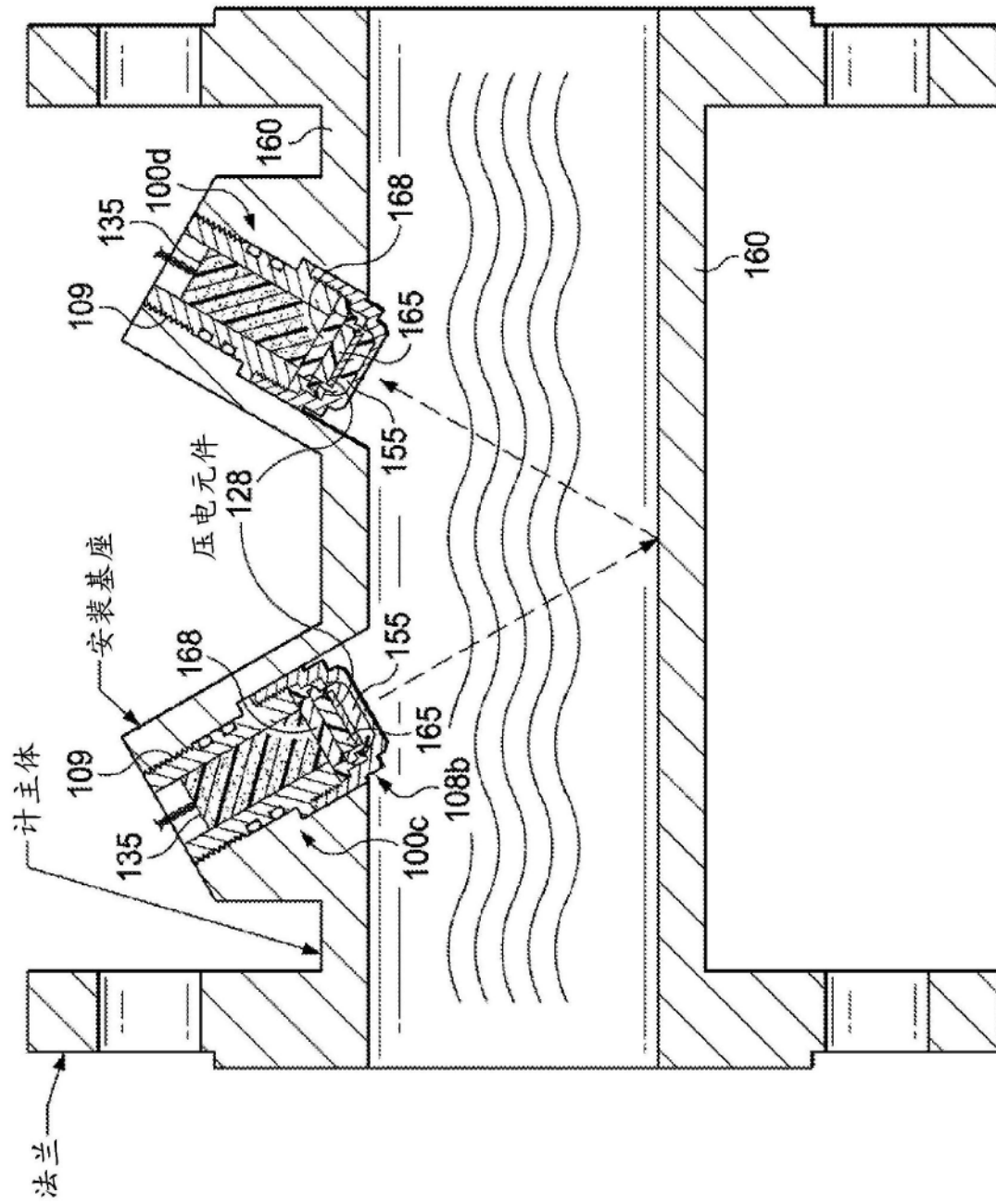


图2B

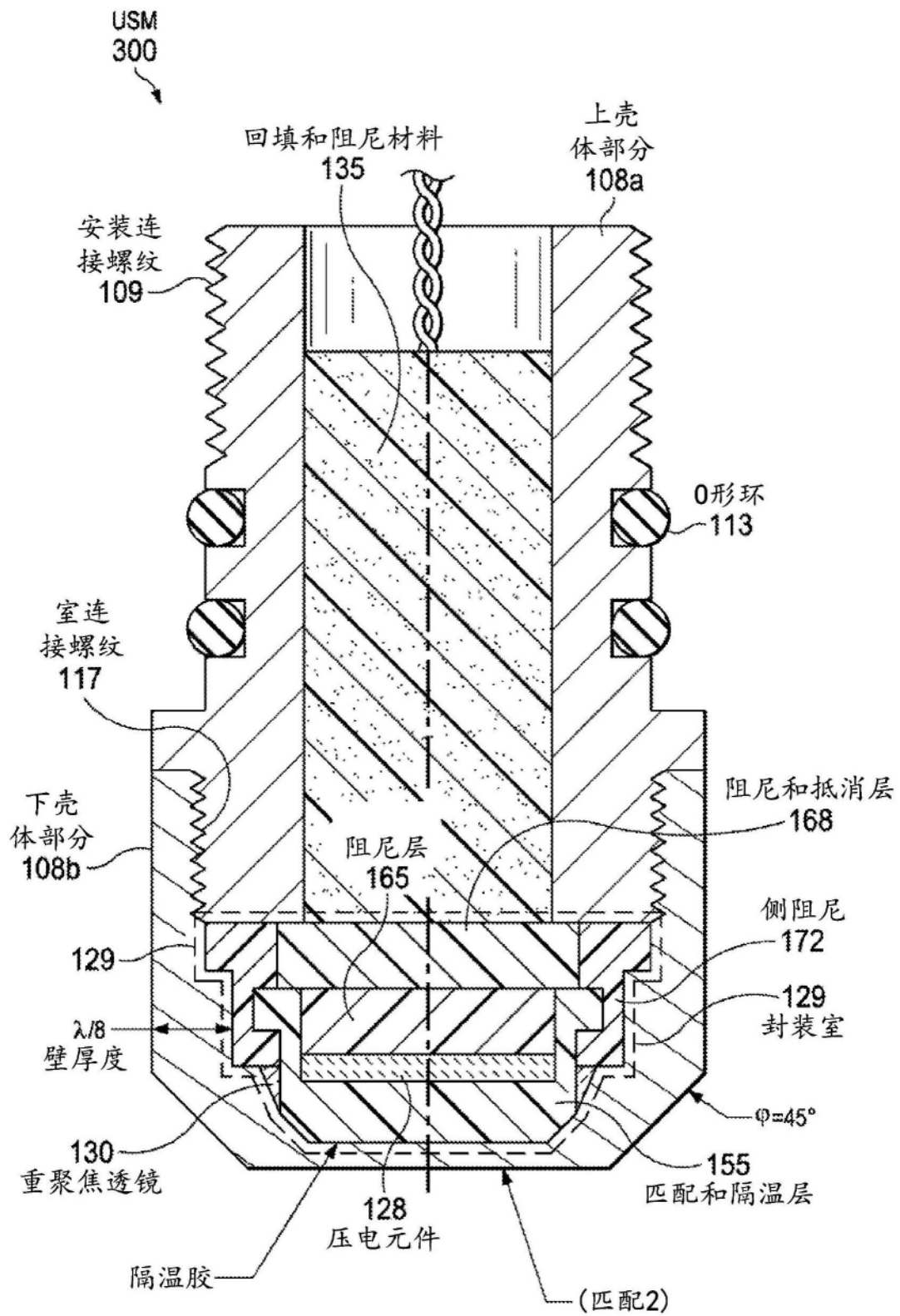


图3

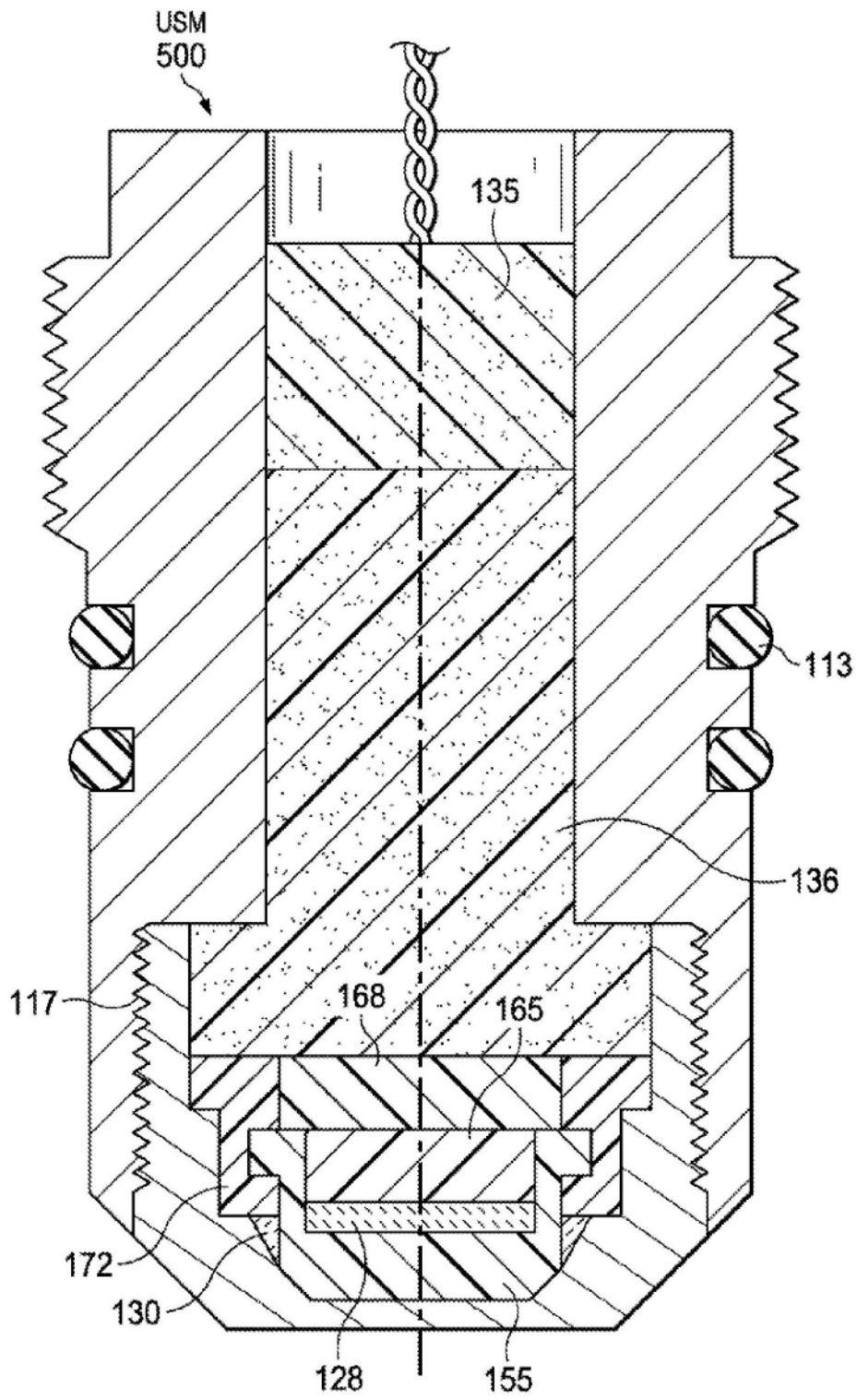


图5