



[12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 94194398.4

[51]Int.Cl⁶

G01F 1/66

[43]公开日 1996年11月27日

[22]申请日 94.10.11

[30]优先权

[32]93.10.25[33]DE[31]P4336370.9

[86]国际申请 PCT/DE94/01190 94.10.11

[87]国际公布 WO95/12110 德 95.5.4

[85]进入国家阶段日期 96.6.5

[71]申请人 西门子公司

地址 联邦德国慕尼黑

[72]发明人 T·沃恩茨

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

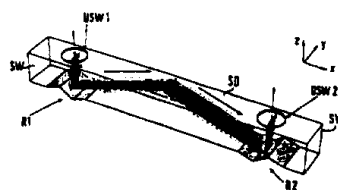
代理人 程天正 萧恂昌

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图页数 11 页

[54]发明名称 流量测量装置

[57]摘要

在测量管的一侧上具有按发射/接收方式交替地进行工作的两个超声波换能器。在该测量管与超声波换能器相对的一侧，有两个反射器按如上方式设置，使得 US 波呈螺旋线形地通过该测量管。这样可确保流量测量与主流动断面轮廓无关。



权利要求书

1.一种流量计,具有一个其中有气态的和液态的介质通过的测量管、一个对介质进行发声的超声波换能器(USW1)、一个设在测量管内的第一反射器(R1)和一个超声波接收换能器(USW2),其中,各个部分相互间的定位方式在于,超声波在测量管的一个壁上得到至少一次反射,其特征在于,第一反射器(R1)的一条平面法线在一个直角坐标系中具有三个分量,直角坐标系的一个轴平行于流动方向(F)伸展。

2.按照权利要求1所述的流量计,其特征在于,具有一个分段结构的第一反射器(R1),其中,反射段(RF11、RF12)的平面法线不相互平行伸展。

3.按照权利要求1或2所述的流量计,其特征在于,第一反射器(R1)设在测量管中的超声波换能器(USW1)的对面。

4.按照权利要求1至3之一所述的流量计,其特征在于,超声波换能器(USW1)把超声波垂直于流动方向射入测量管中。

5.按照权利要求1至4之一所述的流量计,其特征在于,具有一个设在测量管中的第二反射器(R2)。

6.按照权利要求5所述的流量计,其特征在于,第二反射器(R2)的一条平面法线在一个直角坐标系中具有三个分量。

7.按照权利要求5或6所述的流量计,其特征在于,具有一个分段结构的反射器(R2),其中,反射段(RF21、RF22)的平面法线不相互平行地伸展。

8.按照权利要求5至7之一所述的流量计,其特征在于,第二反射器(R2)设在测量管中的超声波接收换能器(USW2)的对

面。

9.按照权利要求 1 至 8 之一所述的流量计，其特征在于，具有一个平的第一和/或第二反射器（ R1 、 R2 ）。

10.按照权利要求 1 至 9 之一所述的流量计，其特征在于，第一和/或第二反射器（ R1 、 R2 ）的反射段（ RF11 、 RF12 、 RF21 、 RF22 ）是平的面。

11.按照权利要求 1 至 10 之一所述的流量计，其特征在于，超声波换能器（ USW1 ）的一个对称轴平行于超声波接收换能器（ USW2 ）的一个对称轴伸展。

12.按照权利要求 1 至 10 之一所述的流量计，其特征在于，超声波换能器（ USW1 ）的一个对称轴相对于超声波接收换能器（ USW2 ）的一个对称轴是倾斜的。

说明书

流量测量装置

本发明涉及一种如权利要求 1 的前叙部分所述的超声波流量计。

在用超声波对运动的液态或气态介质（流体）进行的流量测量中，存在的问题在于，由接收器（超声波换能器）提供的测量信号不仅与流量有关，而且也与在测量管内的流动断面轮廓及流过的流体的类别有关。根据不同的流动速度，产生不同的流动断面轮廓。在低速流动时，在测量管中出现图 1a 所示的、四角形断面的流动断面轮廓。绘在管内的线表示相同流速的范围。层流的流动断面轮廓可通过抛物线的形状（参见图 1c）来描述。最大的流速出现在管子的中央。流量越大，即流速越高，则流动断面轮廓越接近于一个箱形。图 1b 示出了紊流的流动断面轮廓，该轮廓是在高流速下出现的。在管子的很大范围内，流动速度是大致相同的。

以往公开的超声波换能器的灵敏度分布大致为高斯形状。超声波换能器的最大灵敏度是在超声波换能器的中心。其边缘处的灵敏度则显著降低。此外，在通过管壁进行反射的情况下，灵敏度受管壁性质的影响很大。如果像 DE4010148A1 公开的那样，用一个超声波换能器在一个流动通道内对运动的介质发声，以便由声传播时间中或借助多普勒效应确定流动速度，则尤其是在层流流动断面轮廓的情况下，与对在流动通道边缘出现的较低的流动速度的计值相比，会夸大对在流动通道中央出现的最高流动速度的计值。其结果是，要为每个流动断面轮廓和为每种流体得出一

个自身的测量特性曲线，为此，需要一个昂贵的数据分析单元。

此外，DE4010148A1描述的流量计的缺点还在于，基于测量管的结构，超声信号不仅可呈W形，而且也可呈寄生的V形传播并因此需采取用于遏制由此产生的信号部分的附加措施。

H.贝尔纳德在期刊 *messen+prufen+automatik* 1983年第5期第258至263页发表的“超声波-流量测量”一文中公开了一种具有一个被液态介质流过的测量管的流量计，其中，通过以下措施，即由多个超声波换能器产生的测量声束被分布在测量管的截面上，来减少流动断面轮廓的干扰。数据分析的费用随所用超声波换能器数量的增加而增加。

L.C.林沃特在圣·戴果科学出版社1989年出版的“用于过程控制的超声波测量”一书第288页中描述了一种流量计，其测量管具有一个超声波发射换能器和一个超声波接收换能器。超声波换能器的发射面和接收面是倾斜的，使被发射的声根据具体的实施形式在测量管中的一个、两个或四个反射位置被反射。

本发明的任务在于提供一种流量测量装置，该装置具有较高的测量精度，其测量信号与流量有关，但不再与流体的种类和存在的流动断面轮廓有关。

按照本发明，解决以上任务的技术方案在于权利要求1所述的装置。

从属权利要求描述了本发明的优选的实施形式。

下面借助附图详细说明本发明。附图所示为：

图1 流动通道的截面中的一个层流流动断面轮廓和一个紊流流动断面轮廓的和可能的流动断面轮廓的侧视图。

图2 一个传统的、对流动通道进行与侧壁平行的透声的超声波-流量计。

图 3 图 2 所示的超声波流量计的误差分布曲线。

图 4 本发明的对流动通道进行螺旋形透声的超声波 - 流量计。

图 5 用于确定反射角的流动通道尺寸。

图 6 本发明的超声波 - 流量计的另一实施例。

图 7 图 4 所示的超声波 - 流量计的误差分布曲线。

图 8 图 4 所示的超声波 - 流量计的一个反射器。

图 9 图 6 所示的超声波 - 流量计的误差分布曲线。

图 10 是图 6 所示的超声波 - 流量计的一个反射器。

图 11 和 12 是本发明的具有多个超声波发射和接收换能器的或者具有轴向位移的超声波发射和接收换能器的超声波 - 流量计。

在用于其直径 $d \leq 50$ 毫米的流动通道的测量装置中，声一般平行于流动通道的侧壁 SW 由一个作为发射器的超声波换能器 USW1 向一个超声波接收换能器 USW2 传播（见图 2）。在所示的流量计中，声在一个 V 形的行程上通过流动通道，其中，所处位置面对发射器 USW1 的反射器 R1 把超声波向流动通道顶部 SD 的方向反射并且第二反射器 R2 把超声波向接收换能器 USW2 的方向反射。所用超声波换能器的方向特性使换能器之间的连线上灵敏度有所提高。其中，人们可假设由换能器的中心至边缘的灵敏度呈高斯形分布。在图 2 中，通过灰色标志表示出自换能器 USW1 的线形段的上述灵敏度（黑色：= 最高灵敏度，浅灰色：= 最低灵敏度）。如果超声波只平行于侧壁 SW 传播，则声束（以下简化地用声束的传播方向表示波前的传播方向）以最高的灵敏度通过流动通道的中心范围并因此也以一个较高的值记录较高的速度。而灵敏度小的声束通过流动通道的边缘范围，并用一个相应

低的值记录在边缘范围出现的、低的速度。其结果是，在低速（=小的流量）时，产生了具有很大误差的误差分布曲线，在较高的速度（=大的流量）时，上述误差缓慢缩小。在图 3 所示的误差分布曲线中，示出了超声波测量的相对测量误差与一个参考方法，如磁感应式流量测量法（MID）的对比。

为了确保一个很均匀的透声，即确保一个沿通道截面的、均匀的灵敏度，高灵敏度的声波，即由换能器 USW1 的中心出发的超声波，借助被适当定位的反射器 R1/R2 通过流动通道的所有范围（见图 4 和 6）。这一点是通过联合地和交替地利用声波在流动通道侧壁 SW、顶部 SD 和底部 SB 的反射实现的。在发明的流量计中，超声波螺旋形地通过流动通道，而不是仅仅平行于侧壁 SW 由一个第一超声波换能器向一个第二超声波换能器发射超声波，即仅仅利用顶部反射和底部反射。尤其是通过图 4b 和 6b 与图 2b 的对比，可清楚地了解以极不同的灵敏度的射束所达到的对流动通道的均匀透声。

下面描述的实施例涉及一个其长度为 l （ l :=换能器的中心距）、具有矩形截面（宽度 b ，高度 h ）的流动通道。

为了规定流动通道的几何尺寸，并为了对反射器 R1 和 R2 进行定位，必须计算反射角。除了常规的、在所示的实施例中造成声传播的典型 V 行程的顶部及底部反射角 α 之外，增加了一个新的侧壁反射角 ψ （见图 4c）。

按照发明，在考虑下列边界条件的情况下计算和组合这两个 α 和 ψ ：

1)各个声束的行程长度是同样长的，使分声束不会无意地通过干扰消音。波前的形状据此得到保持。

2)对角 α （底及顶反射）而言，在实施例中的换能器和反射器

所选择的布局中只有两种可能的声波行程，即 V 形的声行程和 W 形的声行程（垂直于流动方向 F 的超前行程和跟踪行程无助于测量信号并因此不予考虑）。

V 形的声行程的特征在于，声由换能器 USW1 经反射器 R1 到达流动通道的顶部 SD，再从顶部向方向 R2 反射并由 R2 向超声波换能器 USW2 反射（顶部反射，参见图 4d）。

在没有示出的、W 形的声行程中，由一个发射换能器发射的超声波经过各站，即第一反射器—流通通道的顶—流动通道的底—流动通道的顶—第二反射器，到达接收换能器（在流动通道的壁上三次反射）。

在没有横向声（ $\psi = 0$ ）的情况下，用于 V 形的声行程的仰角 α_v 和用于 W 形的声行程的仰角 α_w 的计算式为：

$$\alpha_v = 0.5 \cdot l \cdot \arctan (0.5 \cdot l/h)$$

$$\alpha_w = 0.5 \cdot l \cdot \arctan (0.25 \cdot l/h)$$

α_v = V 形的声行程中的仰角

α_w = W 形的声行程中的仰角

在有横向声（方位角 $\psi \neq 0$ ）的情况下，得出的两个仰角 α_v 和 α_w 为：

$$\alpha_v = 0,5 \cdot l \cdot \arctan (|0,5 \cdot l / \cos(\psi)|) = 0,5 \cdot l \arctan(l_{\alpha_v}/h)$$

$$\alpha_w = 0,5 \cdot l \cdot \arctan (|0,25 \cdot l / \cos(\psi)|) = 0,5 \cdot l \arctan(l_{\alpha_w}/h)$$

通过反射器的分段和定位可得到很多的方法角 ψ （横向声-在侧壁上的反射）值。可是，只有很少的方位角 ψ 值适于确保灵敏度的均匀分布。

可由第一反射器 R1 至侧壁 SW 上的反射点的距离 l_ψ 和流动通道宽度 b 确定方位角 ψ （见图 5）：

$$\psi = \pm \arctan(b/l_\psi)$$

从该等式中得出如下实施例:

第一实施例:

两个反射器 **R1** 和 **R2** 并且反射面 **RF1** 和 **RF2** 被转动一个方位角 ψ (见图 4C)。转动方向是无足轻重的, 因为形成的是对称结构。间距 l_ψ 可从以下群量中选择:

$$l_\psi = \{1/2 \cdot l; 1/4 \cdot l; 1/6 \cdot l\}$$

这里略去了更高的数阶, 因为否则会因反射次数多而损害信号的质量。

第二实施例:

一个反射器被转动一个方位角 ψ , 另一个反射器被转动一个方位角 $-\psi$ 。间距 l_ψ 则可被选为:

$$l_\psi = \{1/3 \cdot l\}$$

第三实施例:

反射器被分成各两个反射面。这些反射面中的各一个反射面均得到一个自己的取向 $+\psi$ 或 $-\psi$ (见图 6c)。第一反射器 **R1** 的反射面 **RF11** 被转动一个角 $-\psi$, 反射器 **R1** 的反射面 **RF12** 被转动了一个角 $+\psi$ 。第二反射器 **R2** 的反射面 **RF21** 和 **RF22** 以相同的方式被转动。与实施例 1 和 2 中的情况一样, 从以上等式中确定方位角 ψ 。通过反射器的这种组合, 入射的波前被分成两个沿不同方向继续伸展的波前。这两个波前在通过相同长的行程后在第二反射器 **R2** 中复合。可从以下群量中选择间距 l_ψ :

$$l_\psi = \{l; 1/2 \cdot l; 1/3 \cdot l; 1/4 \cdot l; 1/5 \cdot l \dots \dots \}$$

第四实施例:

方位角 ψ 是如此被选择的, 即第一反射器 **R1** 和第二反射器 **R2** 得到一个凹入的组合, 就是说, 第一反射器 **R1** 的第一反射面

RF11 被转动了一个方位角 $-\psi$ ，第一反射器 R1 的第二反射面 RF21 被转动了一个方位角 $+\psi$ ，第二反射器 R2 的第一反射面 RF12 被转动了一个方位角 $+\psi$ 并且第二反射器 R2 的第二反射面 RF22 被转动了一个方位角 $-\psi$ 。波前在第二反射器 R2 中的复合是借助灵敏度由中心至边缘、和反之由边缘至中心的重分布实现的。分布虽据此得到了改善，但会导致信号电平损耗。间距 l_ψ 应被选择为：

$$l_\psi = 2/3 \cdot l$$

第五实施例：

方位角 ψ 是如此被选择的，即第一反射器 R1 和第二反射器 R2 得到一个凸出的组合，就是说，第一反射器 R1 的第一反射面 RF11 被转动了一个方位角 $+\psi$ ，第一反射器 R1 的第二反射面 RF21 被转动了一个方位角 $-\psi$ ，第二反射器 R2 的第一反射面 RF12 被转动了一个方位角 $+\psi$ 并且第二反射器 R2 的第二反射面 RF22 被转动了一个方位角 $-\psi$ 。波前的复合的实现与第四实施例中的情况相同。可有利地把间距 l_ψ 选择为：

$$l_\psi = 2/3 \cdot l$$

在所有的、上述的实施例中，间距 l_ψ 不应低于给定值的范围，因为否则会因反射器数目多而损害信号的质量。

在试验中，图 4 所示的具有 V 形的声行程的实施例在特性曲线的线性和与材料的无关性方面显示了最佳结果（参见图 7）。在试验介质为乙二醇的情况下，在被试验的测量范围为 100 ~ 4000 升/小时时，误差小于 $\pm 1.5\%$ 。在小流量的情况下，在图 2 所示的、具有与侧壁平行的透声的超声波流量计中，测量误差大于 18%。对水而言，误差带 $\leq 0.8\%$ （以往是 9%），均是与磁感应流量计对比，磁感应流量计的最大测量误差可假设为 0.5%。

人们尤其可在图 4 所示的流量计中应用图 8 所示的反射器。该反射器是有利地用黄铜制作的并且在下表中列出的尺寸。该表也包括流动通道的尺寸。

表 1:

长度	$l = 130 \text{ mm}$
高度	$h = 22 \text{ mm}$
宽度	$b = 22 \text{ mm}$
反射器半径	$r = 14 \text{ mm}$
反射器尺寸	$bb = 3.11 \text{ mm}$
反射器尺寸	$x = 4.27 \text{ mm}$
左转角	$\Psi_L = -\text{ArcTan}[b/(0,5 \cdot l)] = -18.69^\circ$
右转角	$\Psi_R = \Psi_L = -18.699^\circ$
给定的 V 行程	$l_{t1} = 0,5 \cdot l$
转动了的 V 行程	$l_\alpha = \text{Abs}[l_{t1}/(\text{Cos}[\Psi_L])]$
底 - 顶定位角	$\alpha = 0,5 \cdot l \cdot \text{ArcTan}[l_\alpha/h] = 36.11^\circ$
侧壁定位角	$\varphi = 90 - 2\alpha = 17.77^\circ$

$$aa = r / (\text{Cos}[\alpha] + \text{Sin}(\alpha) / \text{Tan}[\text{Pi}/2 - 2\alpha])$$

$$x = aa \cdot \text{Cos}[\alpha]$$

$$bb = aa \cdot \text{Sin}[\alpha]$$

x 表示斜面 aa 的水平投影

bb 表示边缘的高度。

图 6 所示的实施例在特性曲线的线性和与材料的无关性方面获得同样好的结果（见图 9）。可是，有效信号电平比在第三实施例中的低一些。在 100 ~ 4000 升/小时的测量范围内，用乙二醇（水）做试验时的误差少于 $\pm 2\%$ （ 1% ）。

在图 6 所示的流量计内使用的反射器可由图 10 所示的如下构件构成：

由一对部分 B 中适合地剪裁出一份有灰色标志的部分和一份在 c 和 d 中标出的白色部分。由 c 和 d 的各一半组合成部分 E 和 F（两个灰色部分产生一个部分 E，两个白色部分产生一个部分 F）。尺寸和角度列于图 10 和表 2。

表 2

长度	$l = 130 \text{ mm}$
高度	$h = 22 \text{ mm}$
宽度	$b = 22 \text{ mm}$
反射器半径	$r = 14 \text{ mm}$
反射器尺寸	$bb = 3.11 \text{ mm}$
反射器尺寸	$x = 4.27 \text{ mm}$
第一左转角	$\Psi_L = -\text{ArcTan}[b/(0,5 \cdot l)] = -18.69^\circ$
第一右转角	$\Psi_R = -\Psi_L = 18.699^\circ$
第二左转角	$\Psi_L = -\Psi_L = 18.69^\circ$
第二右转角	$\Psi_R = \Psi_L = -18.699^\circ$
给定的 V 行程	$l_{\tau 1} = 0,5 \cdot l$
转动了的 V 行程	$l_{\alpha} = \text{Abs}[l_{\tau 1} / (\text{Cos}[\Psi_L])]$
底 - 顶定位角	$\alpha = 0,5 \cdot l \cdot \text{ArcTan}[l_{\alpha} / h] = 36.11^\circ$
侧壁定位角	$\varphi = 90 - 2\alpha = 17.77^\circ$

下面绘出了用以构成发明的测量装置的其它变化可能性：

- 轴向的和横轴向的反射器的所有组合
- 长度的变化
- 管尺寸的比例的变化
- 两个或多个具有不同的测量特性的测量管的组合

- 在较大的标称宽度情况下应用多个发射器
- 六角的截面
- 椭圆的或圆的截面
- 沿轴向的直径变化，锥形管
- 在不同的壁上的反射
- 被转动了的、平的反射器
- 被转动了的和分成多个反射面的反射器
- 被转动了的和/或未被转动了的、弯曲的反射器
- 设在流动通道一侧上的发射换能器和接收换能器
- 相互面对的发射换能器和接收换能器
- 轴向位移的发射换能器和接收换能器（见图 12）
- 多个发射换能器和接收换能器分布在不同的侧壁上（见图

11）

发明的测量装置不仅适用于测量各种不同的液体的流量，而且也适用于测量各种不同的气体的流量，并且也适用于加热 - 冷却系统中的、称做热计数器的水流量计。

图1a z y

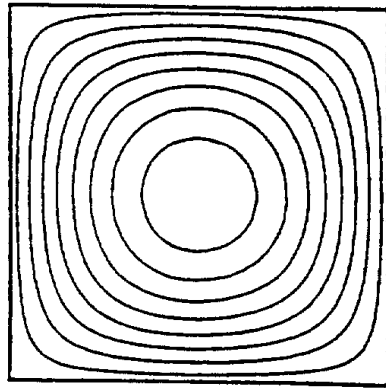


图1b z y

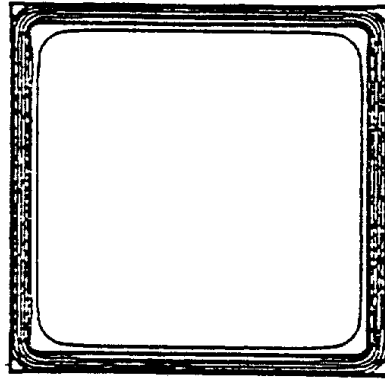
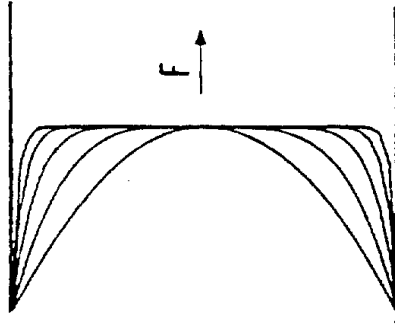
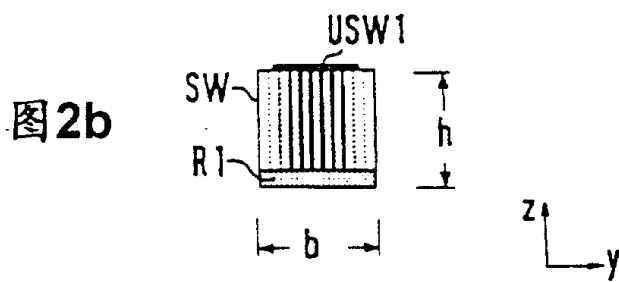
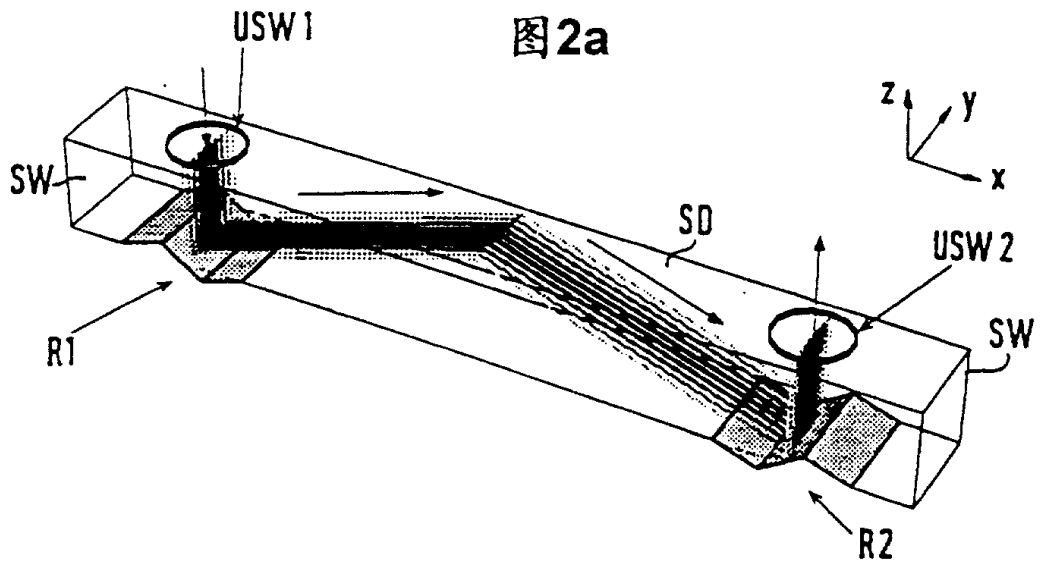


图1c z x





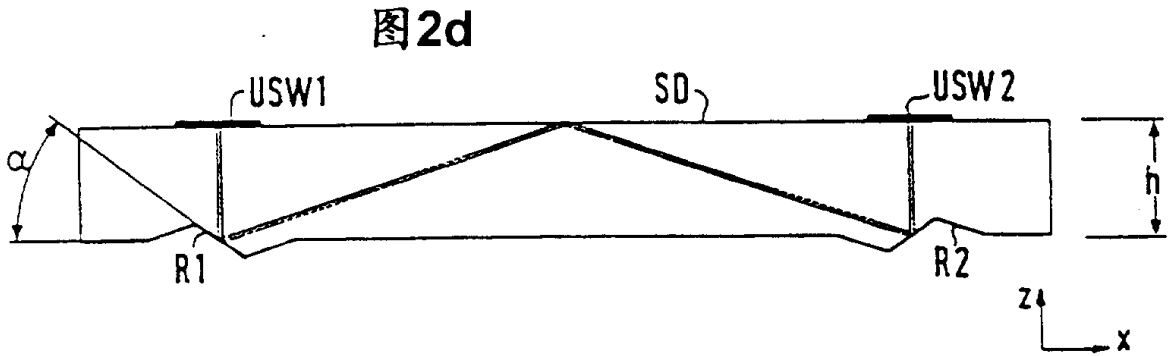
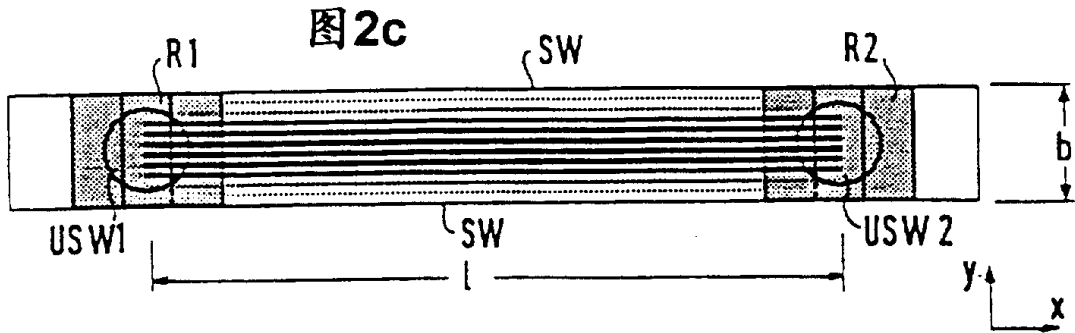


图3

超声波流量计的测量误差
与磁感应流量计的比较

黄铜管,垂直的正方形截面,
2兆赫,乙二醇30-32°C

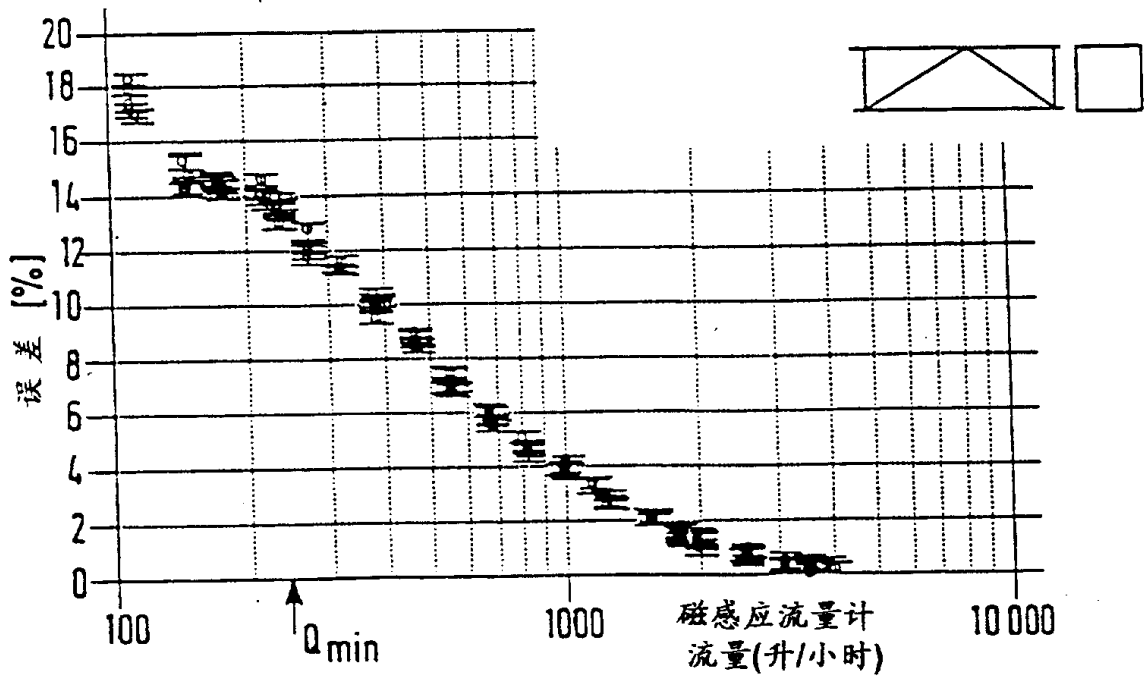


图4a

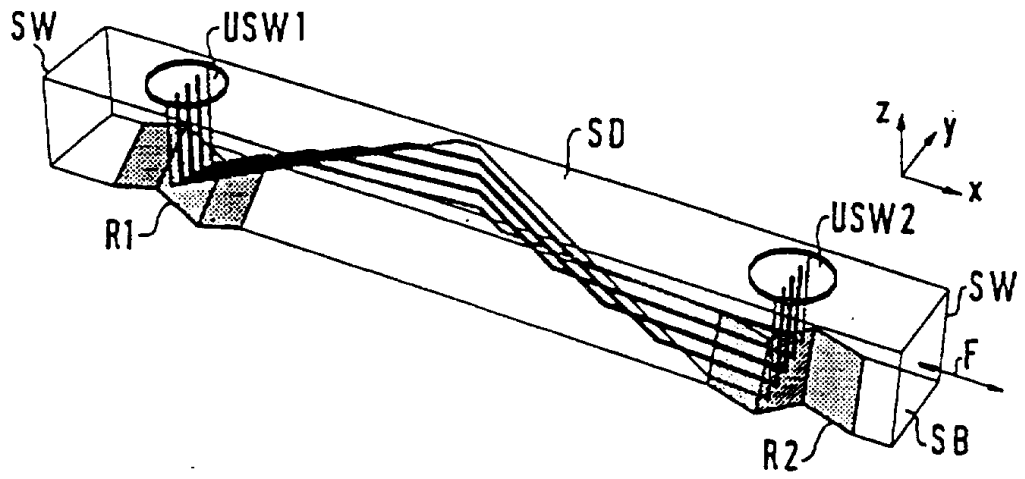
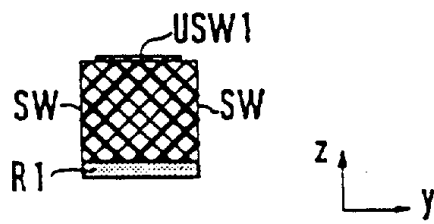
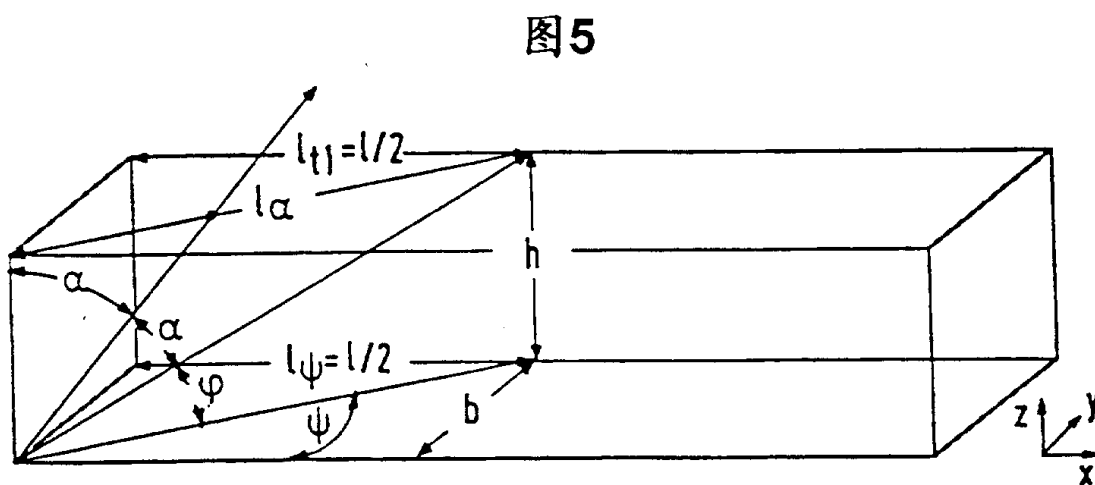
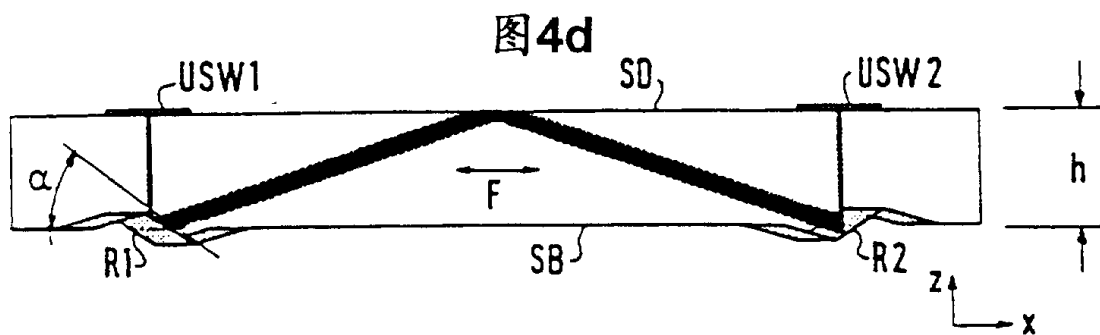
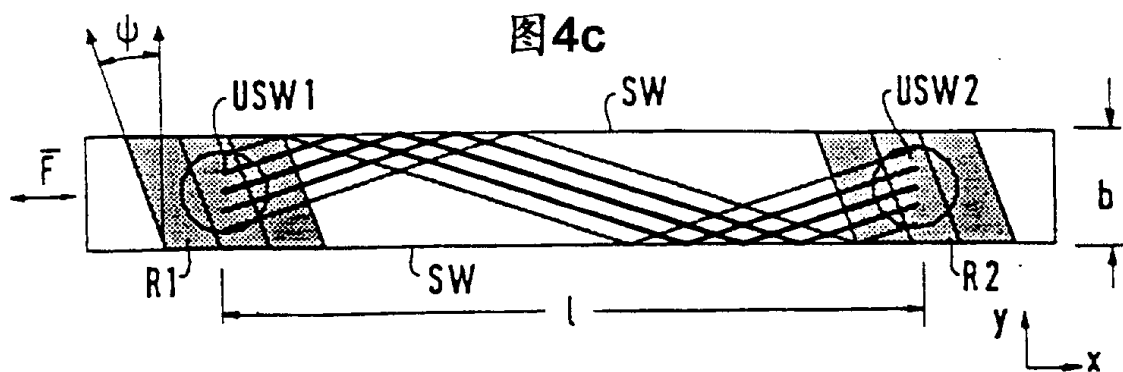
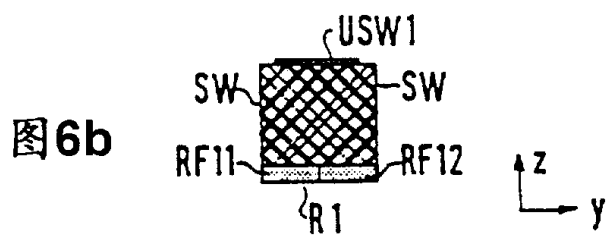
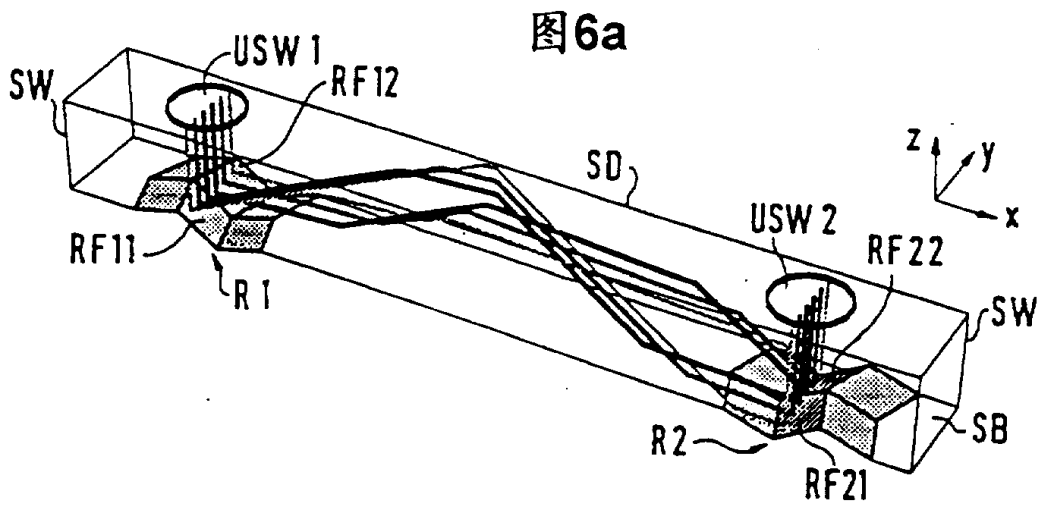
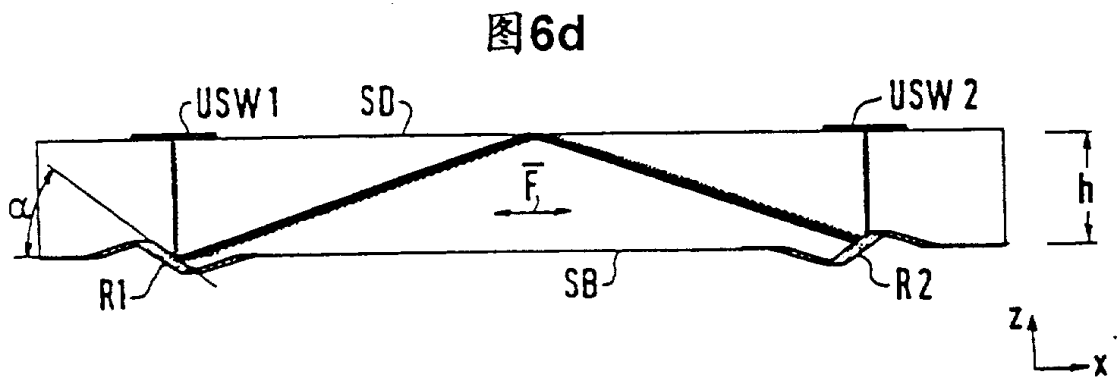
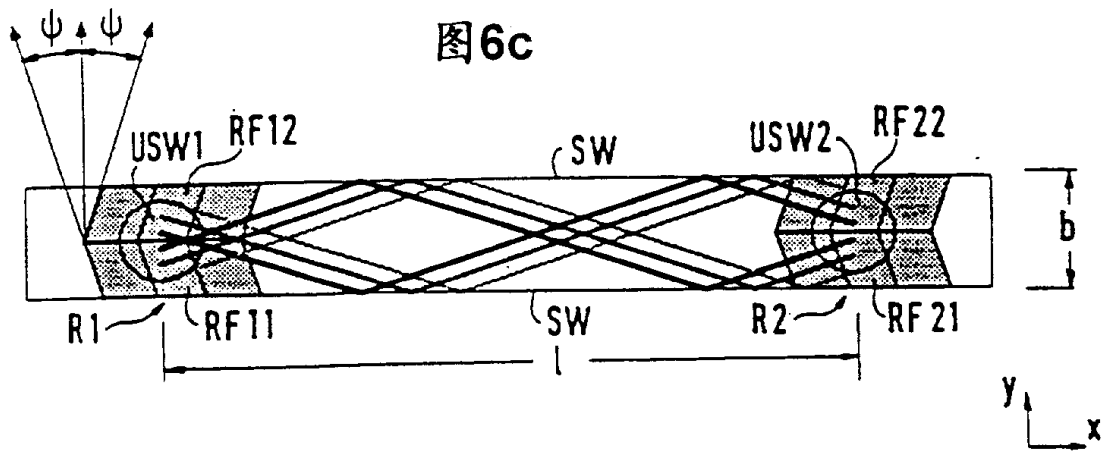


图4b



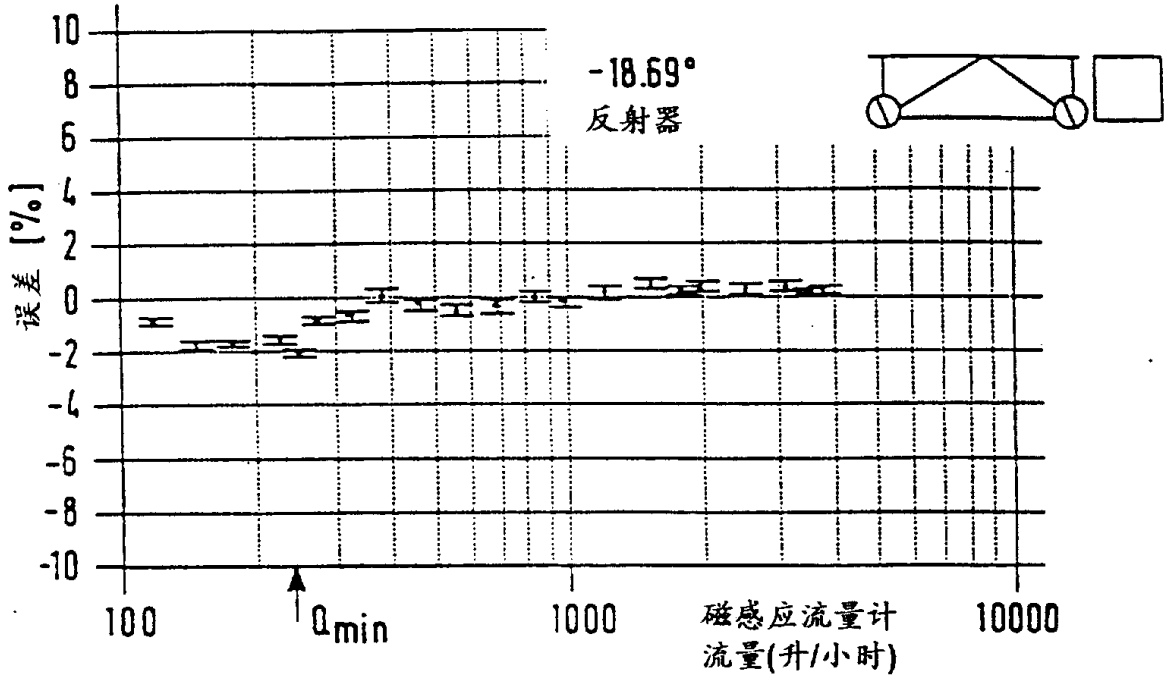






超声波流量计的测量误差
与磁感应流量计的比较

黄铜管, 正方形的截面,
2兆赫, 乙二醇 29-31°C



超声波流量计的测量误差
与磁感应流量计的比较

黄铜管, 正方形的截面,
2兆赫, 乙二醇 29-30°C

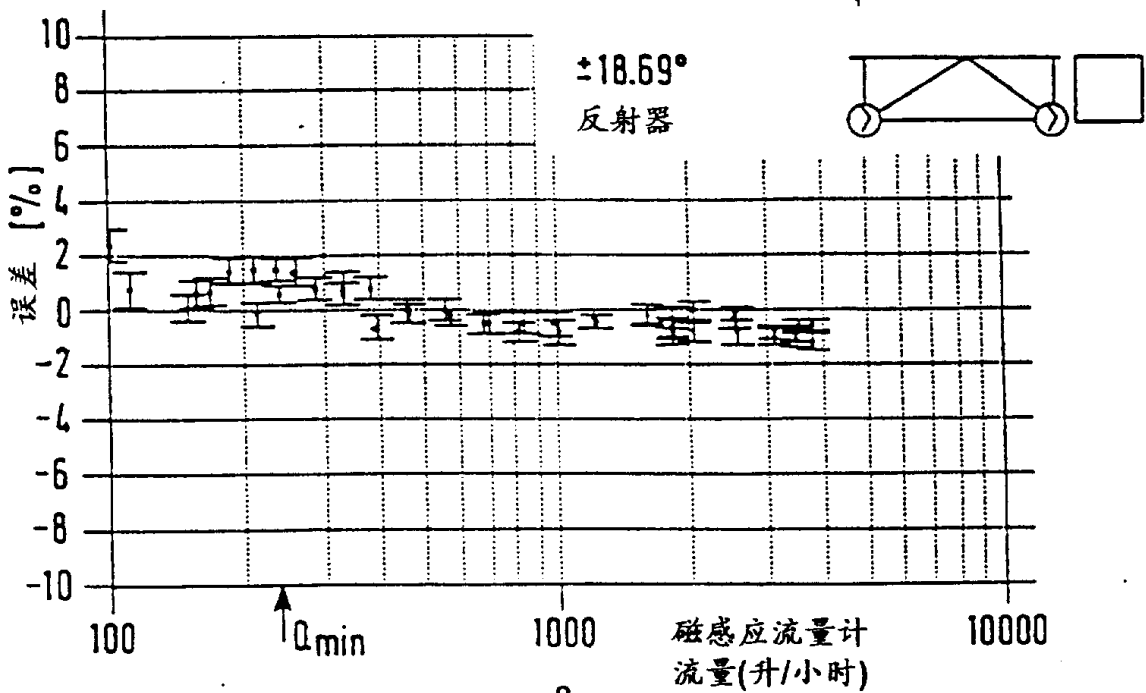
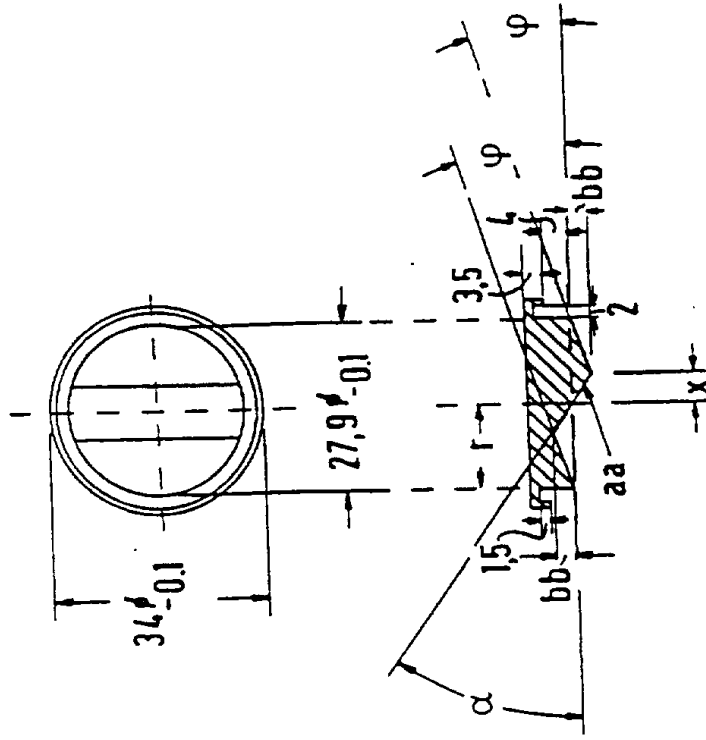
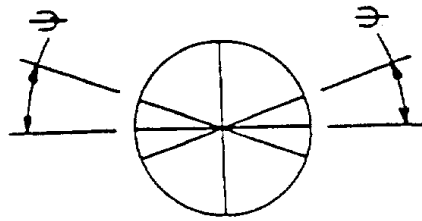


图8

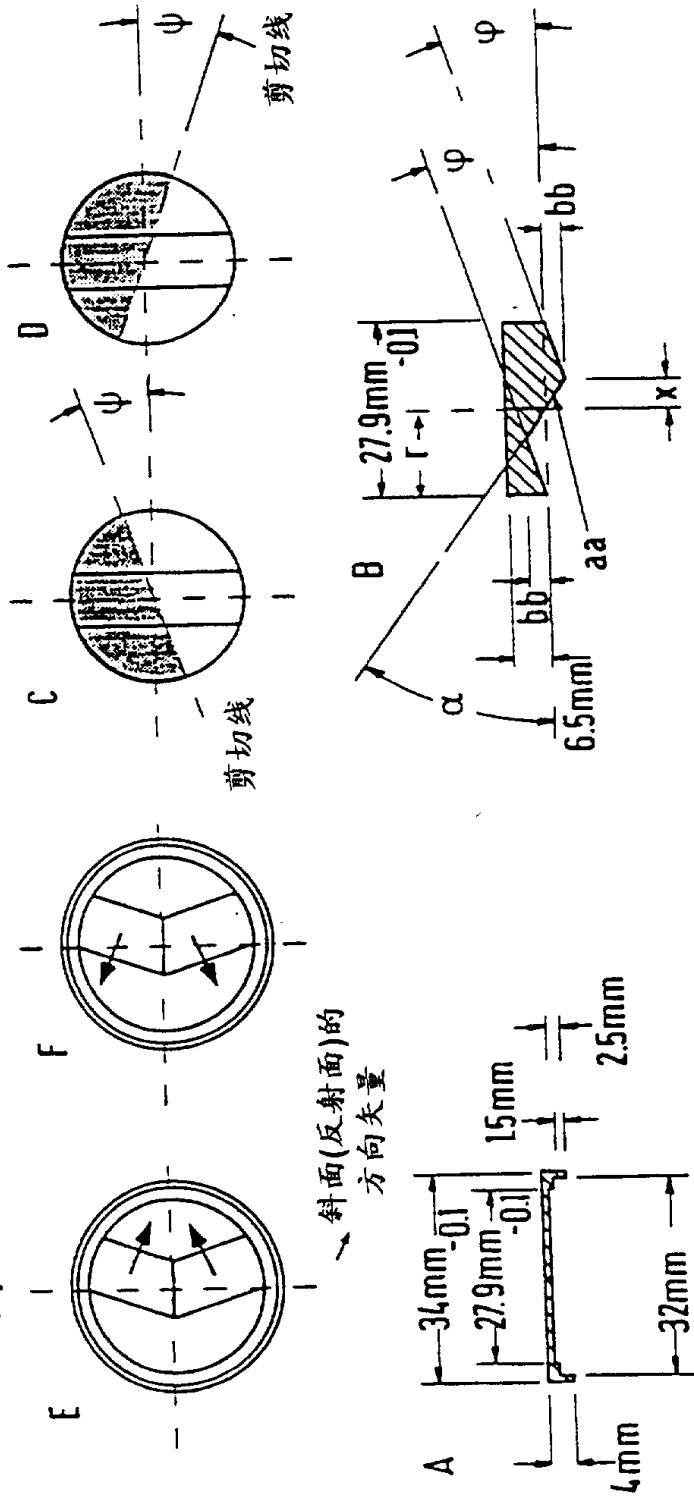


材料: 黄铜
用于2兆赫测
量管的反射器



	$\alpha [^\circ]$	$\varphi [^\circ]$	$bb [mm]$	$x [mm]$	$\psi [^\circ]$
1)	36.11	17.77	3.11	4.27	18.69

图10



材料:黄铜

剪裁为C和D所示的B:

从每一对B中适当地剪裁出一份标有

划影线部分和一份白的部分.

由C和D的每一半组合成部分E和F

(两个划影部分产生一个部分E,两个白的部分产生一个部分F).

	α	ψ	bb	x	ψ
I	36.11	17.77	3.11	4.27	18.69

图11

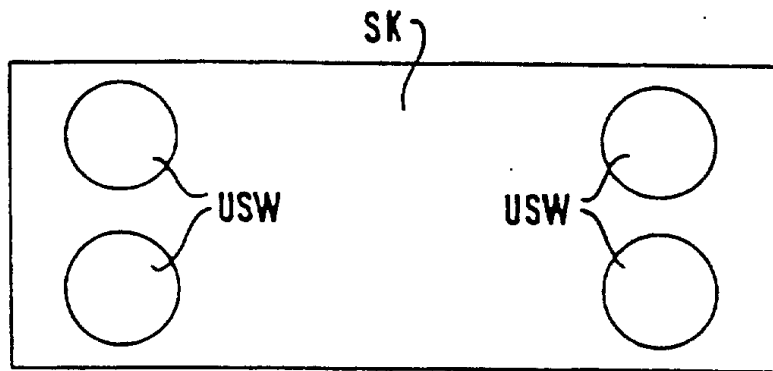


图12

