



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116802467 A

(43) 申请公布日 2023. 09. 22

(21) 申请号 202280011034.3

(22) 申请日 2022.01.20

(30) 优先权数据

17/154,698 2021.01.21 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.07.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2022/013113 2022.01.20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/159572 EN 2022.07.28

(71) 申请人 万机仪器公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 G·A·巴克

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

专利代理师 王万影 徐敏刚

(51) Int.Cl.

G01L 9/00 (2006.01)

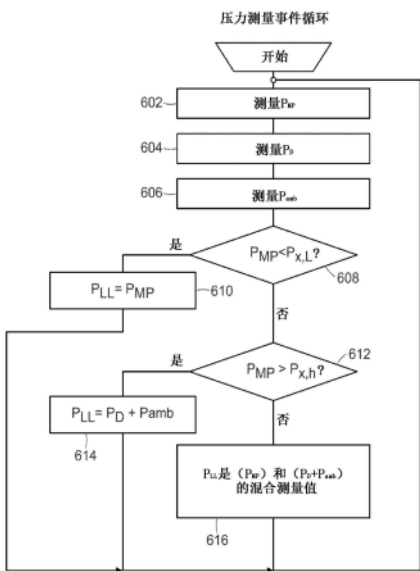
权利要求书3页 说明书9页 附图10页
按照条约第19条修改的权利要求书3页

(54) 发明名称

预真空锁量计

(57) 摘要

一种预真空锁压力计,包括壳体,该壳体被配置成联接到预真空锁真空腔室。壳体支撑绝对真空压力传感器和差动隔膜压力传感器,该绝对真空压力传感器在高真空压力范围内提供瞬时高真空压力信号,该差动隔膜压力传感器提供预真空锁压力与环境压力之间的瞬时差压信号。壳体进一步支撑绝对环境压力传感器。低真空绝对压力系根据瞬时差压信号和瞬时环境压力信号来计算的。位于壳体中的控制器能够基于传感器的测量电压和在压力计的正常操作期间在预真空锁中的压力的常规循环的情况下测量的环境压力来重新校准差动隔膜压力传感器。



1. 一种压力计,包括:

壳体,该壳体被配置成联接到真空腔室;

位于该壳体中的绝对真空压力传感器,该绝对真空压力传感器被配置成暴露于该真空腔室并且能够在高真空中操作以提供准确的瞬时高真空压力信号;

位于该壳体中的差动隔膜压力传感器,该差动隔膜压力传感器包括隔膜,该隔膜被配置成一个面暴露于该真空腔室并且相反面暴露于环境压力以提供瞬时差压信号;

位于该壳体中的绝对环境压力传感器,该绝对环境压力传感器暴露于环境压力以提供瞬时环境压力信号;以及

位于该壳体中的控制器,该控制器接收来自该绝对真空压力传感器的高真空压力信号、来自该差动隔膜压力传感器的差压信号、以及来自该环境压力传感器的环境压力信号,该控制器根据藉由一定范围的真空压力感测到的该瞬时差压信号和该瞬时环境压力信号来计算该真空腔室的计算的绝对压力,该控制器提供来自该差动隔膜压力传感器信号的差压输出、在高真空中从该绝对真空压力传感器信号获取的绝对真空压力输出、以及在低真空中来自该计算的绝对压力的绝对真空压力输出作为输出。

2. 如权利要求1所述之压力计,其中,该控制器进一步被配置成基于当该真空腔室处于环境压力时该差动隔膜压力传感器的环境压力电桥电压、当该真空腔室处于满量程高真空中时该差动隔膜压力传感器的满量程电桥电压、以及利用该绝对环境压力传感器测量的满量程环境压力来校准该差动隔膜压力传感器。

3. 如权利要求1所述之压力计,其中,该控制器进一步被配置成藉由以下方式校准该差动隔膜压力传感器:

测量当该真空腔室处于环境压力时该差动隔膜压力传感器的环境压力电桥电压;

测量当该真空腔室处于满量程高真空中时该差动隔膜压力传感器的满量程电桥电压;

利用该绝对气压压力传感器测量满量程环境压力;并且

根据该环境压力电桥电压、该满量程电桥电压和该满量程环境压力来确定该差动隔膜压力传感器的增益,此后根据瞬时电桥电压、该环境压力电桥电压和该增益来确定瞬时差压信号。

4. 如权利要求3所述之压力计,其中:

从以下计算增益:

$$a = \frac{V_{b,0} - V_{b,FS}}{P_{amb,FS}}$$

其中,a系增益, $V_{b,0}$ 系环境压力电桥电压, $V_{b,FS}$ 系满量程电桥电压,并且 $P_{amb,FS}$ 系满量程环境压力;并且

从以下计算压差:

$$P_D = \frac{V_b - V_{b,0}}{a}$$

其中, P_D 系瞬时压差,并且 V_b 系来自该差动隔膜压力传感器的瞬时电压。

5. 如权利要求1所述之压力计,其中,该控制器进一步从该绝对环境压力信号提供瞬时环境压力输出。

6. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 该绝对真空压力传感器在5托的高真空压力时具有7%或更高的准确度。

7. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 从该瞬时差压读数计算的绝对压力在60托具有1%或更高的准确度。

8. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 该控制器被配置成在中间真空压力时根据该瞬时高真空压力信号和该计算的绝对压力来计算混合压力, 并且在高真空压力范围内输出该瞬时高真空压力信号作为腔室压力信号, 在低真空压力范围内输出该计算的绝对压力作为该腔室压力信号, 并且在该等中间真空压力时输出该混合压力作为该腔室压力信号。

9. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 该控制器被配置成在环境压力时将该绝对真空压力信号归零。

10. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 该绝对真空压力传感器系热导传感器。

11. 如权利要求10所述之压力计, 其中, 该热导传感器系MEMS皮拉尼传感器。

12. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 该差动隔膜压力传感器系差动压阻式隔膜压力传感器。

13. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 该绝对环境压力传感器包括隔膜, 该隔膜的一个面暴露于参考真空, 并且相反面暴露于环境压力。

14. 一种控制预真空锁的预真空锁端口和传送端口之方法, 包括:

提供来自绝对真空压力传感器的瞬时高真空压力信号;

提供来自具有隔膜的差动压隔膜压力传感器的瞬时差压信号, 该隔膜的一个面暴露于该预真空锁并且相反面暴露于环境压力;

提供来自绝对环境压力传感器的瞬时环境压力信号;

在电子控制器中, 根据瞬时差压信号和该瞬时环境压力信号来计算计算的绝对环境压力;

仅在该预真空锁达到如由来自该绝对真空压力传感器的瞬时高真空压力信号指示的足够低的压力之后, 才将该传送端口打开到高真空腔室;

仅在来自该差动隔膜压力传感器的瞬时差压信号指示预真空锁压力至少与环境压力一样高之后, 才将该预真空锁端口打开到环境; 并且

从该控制器提供绝对真空压力输出, 该绝对真空压力输出系从在高真空下的该绝对真空压力传感器和在低真空下的该计算的绝对压力获取的。

15. 如权利要求14所述之方法, 其中, 该控制器进一步基于当该预真空锁在环境压力时该差动隔膜压力传感器的环境压力电桥电压、当该预真空锁处于满量程高真空时该差动隔膜压力传感器的满量程电桥电压、以及利用该绝对环境压力传感器测量的满量程环境压力来校准该差动隔膜压力传感器。

16. 如权利要求14所述之方法, 其中, 该控制器进一步藉由以下方式校准该差动隔膜压力传感器:

测量当该预真空锁暴露于环境压力时该差动隔膜压力传感器的环境压力电桥电压;

测量当该预真空锁处于满量程高真空时该差动隔膜压力传感器的满量程电桥电压,

当该预真空锁处于满量程高真空时, 利用该绝对环境压力传感器测量满量程环境压力; 并且

在该控制器中,根据该环境压力电桥电压、该满量程电桥电压和该满量程环境压力来计算该差动隔膜压力传感器的增益,此后根据瞬时电桥电压、该环境压力电桥电压和该增益来计算该瞬时差分读数。

17. 如权利要求14所述之方法,其中,

从以下计算增益:

$$a = \frac{V_{b,0} - V_{b,FS}}{P_{amb,FS}}$$

其中,a系增益, $V_{b,0}$ 系环境压力电桥电压, $V_{b,FS}$ 系满量程电桥电压,并且 $P_{amb,FS}$ 系满量程环境压力;并且

从以下计算压差:

$$P_D = \frac{V_b - V_{b,0}}{a}$$

其中, P_D 系瞬时压差,并且 V_b 系来自该差动隔膜压力传感器的瞬时电压。

18. 如权利要求14所述之方法,其中,该控制器进一步从该瞬时绝对环境压力信号提供瞬时环境压力输出。

19. 如权利要求14所述之方法,其中,该控制器在即时真空压力时根据该瞬时高真空压力信号和该计算的绝对压力信号来计算混合压力。

20. 如权利要求14所述之方法,进一步包括在环境压力时将该绝对真空压力信号归零。

预真空锁量计

[0001] 相关申请

[0002] 本申请是2021年1月21日提交的申请号为No.17/154,698的美国申请的延续。以上申请的全部教导通过引用并入本文中。

背景技术

[0003] 预真空锁系工业和实验真空处理腔室之标准特征。如图1所示,样品102通过预真空锁端口104装载到预真空锁106中,同时该预真空锁被排空到环境(大气)压力。大多数预真空锁在暴露于环境时预期将保持无颗粒。一旦样品进入并固定,预真空锁端口就关闭并且藉由真空泵108开始朝向高真空抽空。当预真空锁中的压力足够低时,传送端口110打开以将预真空锁腔室106连接到处理腔室112,该处理腔室具有其自己的真空泵112和压力计107。然后将样品通过传送端口传送到处理腔室中,在该处理腔室中对它们进行处理。当该过程完成时,将样品传送回仍然处于高真空的预真空锁中,关闭传送端口,并且将预真空锁排空,使得一旦预真空锁端口打开到环境或前开式统集盒(FOUP),就可以取出经处理的样品。

[0004] 在正确的预真空锁操作期间存在若干个重要的要求。

[0005] 预真空锁必须始终保持无颗粒。这需要确保当预真空锁端口打开时,应当存在相对于环境压力略微正的压力。这保证了当预真空锁端口打开时任何空气流都会离开腔室,并且防止房间中的灰尘颗粒进入预真空锁腔室。在没有环境空气涌入之情况下,避免了灰尘颗粒侵入。需要在预真空锁腔室与环境之间进行准确的差压测量,以确保预真空锁端口仅在预真空锁腔室中的压力大于环境压力时打开。预真空锁压力计预期提供非常准确的差分测量。

[0006] 在抽空期间还必须仔细监测预真空锁压力。传送端口仅在消除灰尘颗粒从预真空锁腔室到处理腔室的传送的足够低的压力时打开。通常,在预真空锁腔室中需要低于1托的压力,以排除在过渡期间将灰尘颗粒提升到高真空处理腔室。预真空锁操作员需要和要求在预真空锁腔室中的高真空下进行准确的绝对压力测量。

[0007] 因此,预真空锁腔室需要装配有能够以高准确度执行两项最重要的测量的高准确度压力测量计:

[0008] a.在将预真空锁端口打开到环境条件之前,测量预真空锁腔室与环境之间的差压。

[0009] b.测量在预真空锁腔室内的高真空下特别是在将传送端口打开到处理腔室之前的绝对压力。

[0010] 用于预真空锁腔室中的压力监测和控制的量计通常称为预真空锁量计。

[0011] 在美国专利6,672,171中揭露了一种满足以上要求之预真空锁量计。该量计既包括呈微机电系统(MEMS)皮拉尼传感器(Pirani sensor)形式的高真空绝对压力传感器(具体是MicroPiraniTM量计),又包括呈差动隔膜传感器形式的差压传感器,该差动隔膜传感器具有隔膜的暴露于预真空锁中的压力的一个面和隔膜的暴露于环境压力的相反面。尽管装

置满足以上要求,但是在控制传送端口所需的高真空压力时提供高准确度的MEMS皮拉尼量计在环境下的准确度仅为约 $\pm 25\%$ 。但是一些制程工程师期望在从环境到高真空的整个压力范围内,在预真空锁中进行准确的绝对压力测量。美国专利6,909,975解决了该附加要求。

[0012] 在美国专利6,909,975的一个实施方式中,差压传感器被两个绝对压力传感器取代,该两个绝对压力传感器为在预真空锁中的低真空压力时准确的绝对压阻式隔膜压力传感器和在预真空锁外部的环境压力时准确的绝对压力传感器。然后藉由计算低真空压力传感器与环境压力传感器之间的差值来满足用于打开预真空锁端口的差压要求。藉由依赖在高真空下的皮拉尼传感器、在低真空下的绝对压阻式隔膜传感器以及在中等真空水平下的两种输出的混合,获得了全绝对压力范围。该实施方式的早期实现方式系MKS 390压力计。MKS 390量计包括MEMS皮拉尼传感器、绝对压阻式隔膜传感器和气压计。该量计另外包括如美国专利6,909,975中还建议的电离压力计,该电离压力计用于在比皮拉尼传感器可以支持的真空甚至更高的真空下提供非常高的真空绝对压力读数。

[0013] 使用单独的绝对量计来计算感兴趣的差压的困难在于,感兴趣的差压不是直接感测的,并且基于不同传感器的所感测压力的计算容易出错。制程工程师更喜欢来自差动隔膜传感器的非常可靠的直接差分读数。

[0014] 美国专利6,909,975提出了一种方法,藉由该方法可以使用差动隔膜压力传感器输出来在低真空压力时提供准确的绝对压力读数。为此,在可以准确地且可靠地测量腔室中的绝对压力的情况下获取绝对压力测量值与差压测量值之间的相关因子,并且存储该相关因子。此后,利用相关因子调整差压测量值以提供虚拟的绝对压力测量值。尽管当差压被测量为零时可以在大气压力时获取并存储该相关因子,但是较佳的方法系在等于负环境压力的高真空下测量差压传感器的输出,并且将绝对值作为相关因子存储。然后将该相关因子添加到差压传感器的差分输出,以藉由预真空锁中的全压力范围提供绝对压力读数。此后,皮拉尼传感器的输出提供了准确的高真空绝对压力读数,根据差压传感器输出计算的虚拟绝对压力提供了在低真空下的绝对压力,而两者的混合提供了在中等真空压力时的绝对压力。该方法已经用于非常成功的MKS 901P量计,该量计十多年来一直是行业中使用最广泛的预真空锁量计。

[0015] MKS 901P量计依赖用于绝对高真空(低压)输出的MEMS皮拉尼传感器和用于差分输出和低真空虚拟压力输出的差动压阻式隔膜(DPRD)传感器。每次将预真空锁泵送到低于约1托时,都会测量差压的绝对值并且将其作为固定量值正数存储在内存中。这基本上是利用DPRD本身对环境压力进行的高准确度的新测量。从那时起,DPRD的所有差分读数都可以从该恒定值减去,以提供预真空锁腔室中的绝对压力。由于DPRD用于生成环境压力的存储值(在抽空期间),然后用于计算在排空期间的预真空锁腔室压力,因此在低真空下的读数比由皮拉尼传感器提供的读数更准确。

发明内容

[0016] MKS 901P量计从皮拉尼传感器提供了用于控制传送端口所需的非常高准确度的高真空压力、用于控制预真空锁端口的高准确度差压、以及还有即使在低真空下也使用美国专利6,909,975的虚拟压力方法的高准确度绝对压力。为了维持高准确度低真空绝对压

力,相关因子与实际环境压力相对应是很重要的。因此,每当预真空锁压力降低到高真空时,相关因子就会更新。然而,+/-10托的环境压力的波动可能会在一天中发生。如果相关因子更新不够频繁,则环境压力的波动可能会导致低真空绝对压力读数不准确。尽管该等读数对传送端口或预真空锁端口的操作并不重要,但它们并不是最佳的。为了即使在低真空压力时也能提供甚至更高的准确度,可以将另一个绝对压力传感器(诸如在MKS 390产品中使用的绝对压阻式隔膜传感器)添加到量计。然而,这种传感器显著增加了整个量计之成本,并且其本身具有不期望滞后的缺点。

[0017] 为了以合理之成本提高源自差动隔膜压力传感器的绝对低真空压力读数的准确度,将绝对环境压力传感器添加到量计。此类量计包括隔膜,该隔膜的一个面暴露于参考真空,并且相反面处暴露于环境压力。该等量计被广泛用作气压计,诸如高度计,并且因此以较低的额外成本提供非常准确的环境压力读数。利用量计中所包括的环境压力传感器,不再需要存储特定过程状态下的相关因子。相反,精确的瞬时环境压力可以藉由全预真空锁压力范围添加到非常准确的差压。量计中包括的环境压力传感器还允许皮拉尼量计在环境压力时的同步,并且在正常操作循环期间基于感测到的环境压力来自动重新校准差压传感器。

[0018] 一种压力计包括壳体,该壳体被配置成联接到真空腔室。位于该壳体中的绝对真空压力传感器,该绝对真空压力传感器被配置成暴露于该真空腔室并且可在高真空下操作以在高真空压力范围内提供准确的瞬时高真空压力信号。位于该壳体中的差动隔膜压力传感器包括隔膜,该隔膜被配置成一个面暴露于该真空腔室并且相反面暴露于环境压力以提供瞬时差压信号。位于该壳体中的绝对环境压力传感器暴露于环境压力以提供瞬时环境压力信号。位于该壳体中的控制器接收来自该绝对真空压力传感器的该高真空压力信号、来自该差动隔膜压力传感器的该差压信号和来自该环境压力传感器的该环境压力信号。该控制器根据藉由一定范围的真空压力感测到的该瞬时差压信号和该瞬时环境压力信号来计算该真空腔室的计算的绝对压力。该控制器提供来自该差动隔膜压力传感器信号的差压输出、在高真空下从该绝对真空压力传感器信号获取的绝对真空压力输出、以及在低真空下来自该计算的绝对压力的绝对真空压力输出作为输出。

[0019] 该控制器可以进一步被配置成基于当该真空腔室处于环境压力时该差动隔膜压力传感器的环境压力电桥电压、当该真空腔室处于满量程高真空时该差动隔膜压力传感器的满量程电桥电压、以及当该真空腔室处于满量程高真空时利用该绝对环境压力传感器测量的满量程环境压力来校准该差动隔膜压力传感器。

[0020] 该控制器可以被配置成藉由测量当该真空腔室处于环境压力时该差动隔膜压力传感器的环境压力电桥电压、测量当该真空腔室处于满量程高真空时该差动隔膜压力传感器的满量程电桥电压、以及当该真空腔室处于满量程高真空时利用该绝对气压压力传感器测量满量程环境压力来校准该差动隔膜压力传感器。该控制器可以根据该环境压力电桥电压、该满量程电桥电压和该满量程环境压力来确定该差动隔膜压力传感器的增益。此后可以根据瞬时电桥电压、该环境压力电桥电压和该增益来确定瞬时差压信号。增益可以从以下计算:

$$[0021] \quad a = \frac{V_{b,0} - V_{b,FS}}{P_{amb,FS}}$$

[0022] 其中, a 系增益, $V_{b,0}$ 系环境压力电桥电压, $V_{b,FS}$ 系满量程电桥电压, 并且 $P_{amb,FS}$ 系满量程环境压力。压差可以从以下计算:

$$[0023] \quad P_D = \frac{V_b - V_{b,0}}{a}$$

[0024] 其中 P_D 系瞬时压差, 并且 V_b 系来自该差动隔膜压力信号的瞬时电压。

[0025] 该压力计可以从该绝对环境压力信号另外提供瞬时环境压力输出。

[0026] 该绝对真空压力传感器在5托的高真空压力时可以具有7%或更高的准确度。从该瞬时差压读数计算的绝对压力在60托可以具有1%或更高的准确度。

[0027] 该控制器可以被配置成在中间真空压力时根据该瞬时高真空压力信号和该计算的绝对压力来计算混合压力。该控制器可以在高真空压力范围内输出该瞬时高真空压力信号作为腔室压力信号, 在低真空压力范围内输出该计算的绝对压力作为该腔室压力信号, 并且在该等中间真空压力时输出该混合压力作为该腔室压力信号。

[0028] 该控制器可以被配置成在环境压力时将该绝对真空压力信号归零。

[0029] 绝对真空压力传感器可以是热导传感器, 诸如MEMS皮拉尼传感器。该差动隔膜压力传感器可以是差动压阻式隔膜压力传感器。也可以使用其他差动隔膜量计, 但压阻式量计具有体积小且价格便宜之优点。该绝对环境压力传感器可以包括隔膜, 该隔膜的一个面暴露于参考真空, 并且相反面暴露于环境压力。

[0030] 在控制预真空锁的预真空锁端口和传送端口之方法中, 可以从绝对真空压力传感器提供瞬时高真空压力信号。可以从具有隔膜的差动压隔膜压力传感器提供瞬时差压信号, 该隔膜的一个面暴露于该预真空锁并且相反面暴露于环境压力。可以从绝对环境压力传感器提供瞬时环境压力信号。在电子控制器中, 计算的绝对环境压力可以根据该瞬时差压信号和该瞬时环境压力信号来计算。仅在该预真空锁达到如由来自该绝对真空压力传感器的该瞬时高真空压力信号指示的足够低的压力之后, 才将该传送端口打开到高真空腔室。仅在来自该差动隔膜压力传感器的该瞬时差压信号指示预真空锁压力至少与环境压力一样高之后, 才将预真空锁端口打开到环境。来自该控制器的绝对真空压力输出系从在高真空下的该绝对真空压力传感器和在低真空下的该计算的绝对压力获取的绝对真空压力输出。

附图说明

[0031] 根据示例性实施方式的以下更具体的说明, 上述内容将是明显的, 如在该等附图中展示的, 其中, 在所有不同的视图中, 相同的附图标记指代相同的部分。该等图不一定是按比例绘出, 而是着重展示实施方式。

[0032] 图1系具有预真空锁量计的预真空锁之示意图, 该预真空锁联接到处理腔室。

[0033] 图2系实施本发明之预真空锁压力计之剖视图。

[0034] 图3A至图3C系图2的差动隔膜压力传感器在预真空锁的三种不同压力状态下之截面示意图。

[0035] 图4系图2的环境压力传感器之示意性剖视图。

[0036] 图5系图2的MEMS皮拉尼量计之示意性剖视图。

[0037] 图6系图2的量计的压力测量循环之流程图。

- [0038] 图7系针对差压绘制的来自图3A至图3C的差压传感器的电桥电压输出之曲线图。
- [0039] 图8A系用于差压传感器偏移确定的压力计控制器微处理器之流程图。
- [0040] 图8B系用于差压传感器的斜率确定和满量程校准的控制器微处理器之流程图。
- [0041] 图9系类似于图1但具有联接到预真空锁的附加的非常高真空压力传感器的系统之示意图。

具体实施方式

- [0042] 示例性实施方式的描述如下。
- [0043] 多传感器量计提供了藉由全压力范围准确地测量预真空锁腔室的绝对压力和差压两者而不受当前装置的限制的能力。MEMS皮拉尼传感器为传送端口控制提供高真空绝对压力。差动压阻式隔膜(DPRD)压力传感器提供了行业中对MKS 901P及其预真空锁开关的期望的单传感器差压测量。
- [0044] 添加气压计允许实时刷新环境压力测量值,以提供来自差压传感器的预真空锁腔室内部的最新绝对压力,这是对901P所存储的固定环境压力相关因子的改进,并且仅在预真空锁抽空期间刷新。无需全天重复抽空即可了解环境压力,并且从DPRD测量值计算准确的预真空锁腔室绝对压力。
- [0045] 还有机会同步传感器。
- [0046] 每当预真空锁腔室内部的高真空小于约0.5托时,差动传感器可以与环境传感器同步。当绝对压力小于0.5托(其大约是气压计的典型准确度)时,我们可以确保环境传感器和DPRD读数相同,在0.5托左右。如果不是,则差压传感器可以自动地重新校准,如下所论述。环境传感器继续以高精度向前移动跟踪环境压力,并且确保正确计算预真空锁腔室绝对压力。环境传感器在使用之前被精细地校准,并且在整个操作中可以依赖该环境传感器以便进行环境压力的可信测量。
- [0047] 每当将预真空锁腔室排空到环境时,MEMS皮拉尼大气读数都可以同步。此时差动传感器读数为零差压,并且皮拉尼与气压计同步。这改进了皮拉尼传感器在接近环境压力时的准确度。
- [0048] 图2展示了基于MKS 901P量计但对其进行改进的压力计,该压力计具有作为预真空锁量计的特定应用。区块202具有凸缘204以将量计安装到预真空锁腔室的侧面。区块内的体积206暴露于预真空锁腔室。从体积206穿过区块的导管208将管210暴露于预真空锁压力。管210延伸到差压传感器212,该差压传感器可以是差压压阻式隔膜传感器(DPRD)。(量计在图2中仅展示为实心区块;进一步的细节在图3A至图3C中呈现。)差动传感器212安装到传感器板213。该传感器板包括保护罐215,该保护罐允许差动传感器暴露于来自量计外部的环境压力。
- [0049] 区块202中的第二导管214延伸到体积216,MEMS皮拉尼绝对压力传感器218暴露于该体积。(传感器218在该图中仅被展示为实心区块并且将关于图5进一步描述。)皮拉尼量计218藉由电插脚219悬挂在传感器板213下方。
- [0050] 在901P量计中不可用的附加传感器系环境压力传感器220,该环境压力传感器可以是常规气压计。传感器220仅暴露于环境压力。气压计系广泛可用的,其具有低于正负2托的高准确度。藉由重新校准,该准确度可以提高到正负0.5托,较佳的是正负0.25托或更佳。

气压计通常包括温度补偿。

[0051] 包括控制器微处理器226的附加电子部件被安装到板213和微处理器板222。传感器和电子部件被包封在保护壳体223内。与压力计之间的通信系藉由电连接件224的。如以下详细论述的,微处理器226负责压力测量和输出。值得注意的是,微处理器负责皮拉尼传感器的压力同步以及差动隔膜传感器的同步和校准。

[0052] 图3A至图3C系在三种不同状态下的差压传感器212之示意图。传感器包括隔膜302,该隔膜暴露于上部体积304中的环境压力。该隔膜的相反面暴露于与管210流体连通的腔室306中的预真空锁压力。隔膜302例如可以具有硅并且具有安装在其上的压阻式应变组件。当体积304和306中的压力相同时,隔膜具有如图3A所示的零偏转,并且校准的装置提供零差压输出。如果向预真空锁施加正压,则如图3B所示向上推动隔膜以提供被转换为正差压输出的电压输出。当在预真空锁中抽真空时,隔膜被向下拉动,如图3C所示,并且传感器输出被转换为负差压读数的负电压输出。这是直接的、与气体种类无关的差压读数。

[0053] 图4系在环境压力传感器中使用的气压计之示意图。该气压计还包括隔膜,诸如硅隔膜402,该硅隔膜的顶表面暴露于藉由壳体410中的孔408暴露于环境压力的体积404。隔膜402的底表面在参考压力时暴露于封闭腔室。传感器可以是提供电压输出的压阻式隔膜传感器,其中,隔膜的挠曲由环境压力相对于腔室406中的参考压力驱动。当正确校准时,电压输出被转换为非常准确的环境压力读数。

[0054] 高真空绝对压力传感器218系热导传感器,具体是MEMS皮拉尼传感器。也可以使用其他传感器,诸如基于金属丝的皮拉尼传感器。热导传感器基于加热的传感器电阻器的温度与施加到传感器电阻器的加热功率量之间的关系来测量压力。例如,可以监测将细金属丝(传感器电阻器)维持在恒定温度 T_s 所需的加热功率量。随着气体的压力增大,气体的热导率增大,并且从加热的金属丝带走额外的热,并且使金属丝保持恒定温度所需的加热功率增大。将加热功率与压力关联的气体种类相关校准曲线允许进行压力测量。通常在工厂处针对纯氮气执行校准。这是间接压力测量,其中,加热功率与气体压力成比例。

[0055] 该原理用于众所周知的皮拉尼量计,其中,利用惠斯通电桥网络测量热损耗,该惠斯通电桥网络用于加热传感组件并测量其电阻。在皮拉尼量计中,温度敏感电阻作为惠斯通电桥的一个臂进行连接。温度敏感电阻被安装在暴露于要测量压力的真空环境的腔室中。

[0056] 常规的皮拉尼量计针对若干已知压力进行校准,以确定气体压力与气体功率损耗或电桥电压之间的关系。然后,假设端部损耗和辐射损耗保持不变,气体的未知压力可以由气体损耗的功率直接确定或者与电桥平衡时的电桥电压相关。

[0057] 在此使用的特定热导传感器系MEMS皮拉尼传感器,如图5所示。该传感器包括氮化硅膜502,该氮化硅膜跨具有体积504和体积506的腔室延伸。体积504和506与压力计中的体积216连通,并且因此在预真空锁压力时。在508处,在膜502上形成加热的电阻组件。由于传感器的几何形状,空腔内无法发生对流,并且因此传感器对安装位置不敏感。气体分子仅藉由扩散传递到加热组件,在此测量气体的热损耗。与常规的皮拉尼量计一样,热量在510和512处从加热的电阻器、从膜502上的电阻组件传导到周围气体中。与常规的皮拉尼量计一样,随着气体的压力增大,气体的热导率增大,并且从加热的电阻器带走额外的热量,并且使金属丝保持恒定温度所需的加热功率增大。校准曲线将加热功率与压力关联。MEMS皮拉

尼传感器在高真空下提供非常准确的压力读数,并且因此特别适合将传送端口控制到高真空处理腔室。然而,如上所论述,在接近环境压力的较高压力时,该传感器的准确度要低得多。

[0058] 为了在低真空下获得准确的绝对压力读数,而无需昂贵且可能不太准确的绝对压力传感器,该系统从利用DPRD传感器感测的差压来确定预真空锁压力中的绝对压力。由于差压系相对于环境压力的,因此绝对真空压力可以藉由增加环境压力来确定。该计算类似于专利6,909,975的方法,不同的是在计算中使用实际瞬时环境压力而不是存储的相关因子。如果差压传感器的两个面都暴露于环境,则差压读数为零。因此,从环境下的差压计算绝对压力需要将由气压计感测到的环境压力与差压相加。类似地,在预真空锁被抽空到较低压力时,该等绝对压力可以从下式计算

$$[0059] \quad P_{LL} = P_D + P_{amb} \quad (1)$$

[0060] 其中, P_{LL} 系预真空锁绝对压力, P_D 系差压,并且 P_{amb} 系由气压计感测的瞬时环境压力,即在计算时的环境压力。

[0061] 预真空锁压力计为预真空锁压力提供绝对压力输出 P_{LL} ,该绝对压力输出在高真空(极低压力)下来自皮拉尼量计并且在低真空(压力更接近环境压力)下来自DPRD传感器的差压加上来自气压计的环境压力。由于预真空锁压力的单个输出 P_{LL} 从皮拉尼测量值转变为差压加上环境测量值,因此如果预真空锁中的气体不是用于校准传感器的纯氮气,则可以预期两个测量值之间的差值。为了避免在输出中出现转变的阶跃,在行业中众所周知并且用于MKS 901P产品的技术系在一定压力范围内混合两种测量值。在混合的一个示例中,两个工厂设置的阈值定义了何时仅从皮拉尼传感器获取测量值、仅从差动传感器和气压计传感器获取测量值,或者系两者的混合。低于阈值 $P_{X,L}$,仅使用皮拉尼测量值。高于阈值 $P_{X,H}$,仅使用从 P_D 和 P_{amb} 计算的测量值。在该等阈值之间,某种形式的混合允许从纯皮拉尼连续转变到纯 P_D 加上 P_{amb} 测量值。混合可以是线性的或非线性的,但在接近下阈值时,混合值对皮拉尼测量值的权重更大,并且朝向上阈值,测量值对计算测量值的权重更大。典型的下阈值为20托并且可能是用户可配置的,而上阈值可能是60托并且是用户可配置的。

[0062] 高阈值和低阈值可以相同,或者可以将简单值 P_X 设置为诸如约40托。在任一种情况下,都不会出现混合,但是随着压力升高或下降,读数之间会发生突然转变,并且在转变时压力输出 P_{LL} 中可能会出现阶跃。

[0063] 图6系经由测量循环在压力计中进行压力测量之流程图。以任何顺序,在602处由皮拉尼传感器测量预真空锁压力,在604处由DPRD传感器测量预真空锁压力与环境压力之间的差值,并且在606处由气压计测量环境压力。在整个测量循环中,预真空锁操作员可以使用该等测量值中的每一个。在608处,确定皮拉尼压力读数 P_{MP} 是否小于低混合阈值 $P_{X,L}$ 。如果是,则在610处将预真空锁压力 P_{LL} 设置为等于 P_{MP} 。如果皮拉尼压力在608处不低于下阈值,则在612处将皮拉尼压力与高混合阈值 $P_{X,H}$ 进行比较。如果皮拉尼压力高于该阈值,则在614处,使预真空锁压力 P_{LL} 等于 P_D 和 P_{amb} 的总和。如果皮拉尼压力不低于下阈值或高于上阈值,则压力在混合压力范围内,并且在616处根据皮拉尼压力 P_{MP} 和计算压力 P_D 加上 P_{amb} 的混合来确定预真空锁压力 P_{LL} 。在步骤610、614或616中定义的压力对用户可用。然后系统循环返回以获取另一组测量值。在整个操作中,由皮拉尼传感器提供的压力 P_{MP} 、由DPRD提供的差压 P_D 、由气压计提供的环境压力 P_{amb} 和确定的预真空锁压力 P_{LL} 可供使用者用于控制和监测

目的。

[0064] DPRD传感器系工厂校准的,并且准确度为正负1%托或更高。传感器输出非常稳定且线性的(跨压力范围通常优于0.1%的线性度,并且优于正负1%的重复性),并且传感器保持校准良好。然而,随时间推移,电压偏移和维持准确度所需的增益可能会发生变化。在整个操作中进行实时环境压力测量允许在正常操作期间对DPRD进行例行校准。

[0065] 来自DPRD的输出信号系电桥电压 V_b ,该电桥电压与隔膜上的差压基本上线性相关。电桥电压与差压的关系在图7中示出。当预真空锁腔室暴露于环境以使得 P_{LL} 等于 P_{amb} 并且 P_D 因此等于0时,电桥电压处于某个偏移 $V_{b,0}$ 。随着预真空锁被抽空到真空压力,电桥电压变得更负。由于 P_{LL} 为大约0,通常小于1.2托,可能为约0.5托,因此DPRD隔膜朝向预真空锁压力有最大负偏转,并且在 P_D 等于 $-P_{amb,FS}$ 时达到满量程电桥电压 $V_{b,FS}$ 。如前所述, V_b 与 P_D 之间的关系系基本上线性的,因此以下关系适用:

$$[0066] \quad V_b = V_{b,0} + \left(\frac{V_{b,0} - V_{b,FS}}{P_{amb,FS}} \right) P_D \quad (2)$$

[0067] 其中, $V_{b,0}$ 系在零差压下的电压偏移。从该等式可以看出,图7的斜率a,即应用于 P_D 的增益,为:

$$[0068] \quad a = \left(\frac{V_{b,0} - V_{b,FS}}{P_{amb,FS}} \right) \quad (3)$$

[0069] 将等式2简化为 $b = \text{偏移} = V_{b,0}$,压差 P_D 为:

$$[0070] \quad P_D = \frac{V_b - b}{a} \quad (4)$$

[0071] MKS 901P量计系工厂校准的。该校准通常服务于量计的使用寿命,但压力计也可以藉由以下方式在现场重新校准:藉由通信连接件22使用特殊代码、使用精密外部环境压力参考量计、以及藉由经由环境和高压状态运行预真空锁量计以确定偏移b和斜率a以用于后续差压测量值 P_D 。在此揭露的量计可以在正常操作期间进行自校准。

[0072] 每当预真空锁暴露于环境时,如系统控制器可以藉由通信输入224所指示的,可以确认偏移 $V_{b,0}$ 并且根据需要更新存储值。随后,在约零满量程的预真空锁压力时,可以测量 $V_{b,FS}$ 和 $P_{amb,FS}$ 两者以允许计算斜率(增益)a。以这种方式,如果需要,可以在每个操作循环中重新确定偏移和斜率的DPRD校准参数。在操作期间在压力计微处理器226中执行的校准程序可以与在工厂中执行的校准程序基本上相同。将环境压力传感器220包括在压力计中的显著优点在于,只要确定有必要,诸如当在高真空下由差压计算所指示的绝对压力与负测量环境压力不匹配时,该程序就可以在现场自动地执行。

[0073] 图8A展示了在微处理器控制下的偏移确定。当在802处将预真空锁排空到环境(例如从系统控制器发信号通知的)时,已知预真空锁压力 P_{LL} 等于环境压力 V_{amb} 并且差值 P_D 为零。在804处,在预真空锁排空的情况下,藉由经由高分辨率模数转换器读取电压 V_b 来测量在 $P_D=0$ 时的电桥电压 V_b ,即 $V_{b,0}$ 。在806处,将该测量电压作为电压偏移b存储在校准内存中。

[0074] 在图8B的微处理器程序中针对满量程校准确定斜率。预真空锁在正常操作中被抽空到为约零的预真空锁压力、大约在气压计的准确度范围内,如由皮拉尼传感器测量的。在该压力时,在808处,压差等于 $-P_{amb,FS}$ 。在810处,测量满量程电桥电压 $V_{b,FS}$,并且使用气压计测量精确的满量程环境压力 $P_{amb,FS}$ 。在812处, $V_{b,FS}$ 和 $P_{amb,FS}$ 两者都存储在校准内存中。在814处,计算图7的斜率,该斜率系应用于确定差压之增益。在816处,将该斜率a存储在校准内存

中。

[0075] 此后,将存储值 $V_{b,0}$ 和 a 与在任何压力时的瞬时电压 V_b 组合,以使用等式(4)来计算压差 P_D 。预真空锁压力 P_{LL} 可以藉由等式(1)使用 P_D 和 P_{amb} 的实时测量值来计算。

[0076] 与901P一样,也可以提供DPRD测量值的温度补偿。

[0077] 除了在此描述的多传感器实现方式之外,本揭露内容之范围可以扩展到将第四传感器(诸如电离传感器)添加到如图9中的902所示的数组的非常高真空和超高真空水平。在添加了电离计(冷或热实现方式)的情况下,使用者现在可以处理需要抽空到远低于皮拉尼传感器在驱动传送阀之前可以监测的压力的预真空锁腔室。这种多传感器在允许将预真空锁腔室准确地排空到环境时以及在将样品传送到高真空(非常低的压力)下的处理腔室中之前检查高真空水平时非常通用。

[0078] 迄今为止,本揭露内容集中于添加标准气压传感器以提供实时、不间断的环境压力测量值。气压计非常独特,因为它们允许以非常高的分辨率测量海平面与最高山峰之间的环境压力。气压计通常用作高度计。然而,本揭露内容之范围超出了那些标准传感器,包括能够准确地测量环境压力的任何传感技术。这包括高端隔膜偏转传感器,诸如压阻式、电容式和光学偏转隔膜传感器。

[0079] 本系统不限于使用差动压阻式隔膜传感器。还可以使用例如依赖于差动隔膜偏转的光学和电容式测量的差动隔膜传感器来构建仪器。电容式和光学隔膜偏转压力传感器可以例如由金属、陶瓷或蓝宝石膜制成。

[0080] 所有专利、公开的申请以及本文引用的参考文献的传授内容都藉由援引方式以其全文并入。

[0081] 虽然已经具体示出和描述了示例性实施方式,但是熟悉该项技术者将理解,可以在不背离由所附权利要求涵盖的实施方式之范围的情况下在其中做出在形式和细节方面的各种改变。

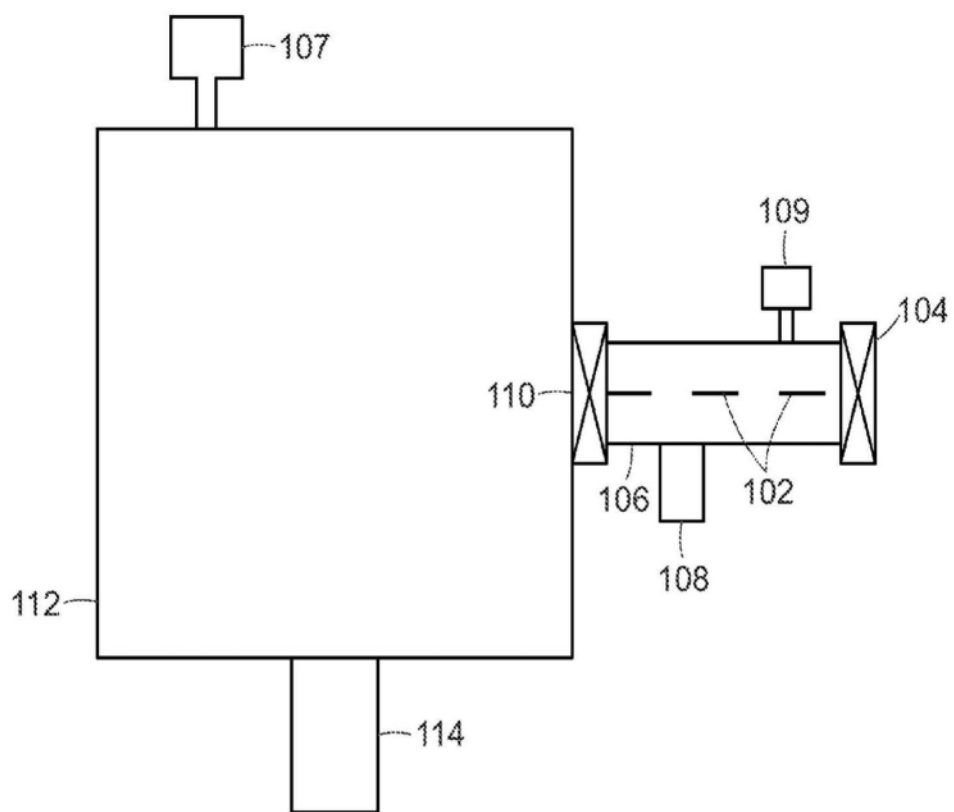


图1

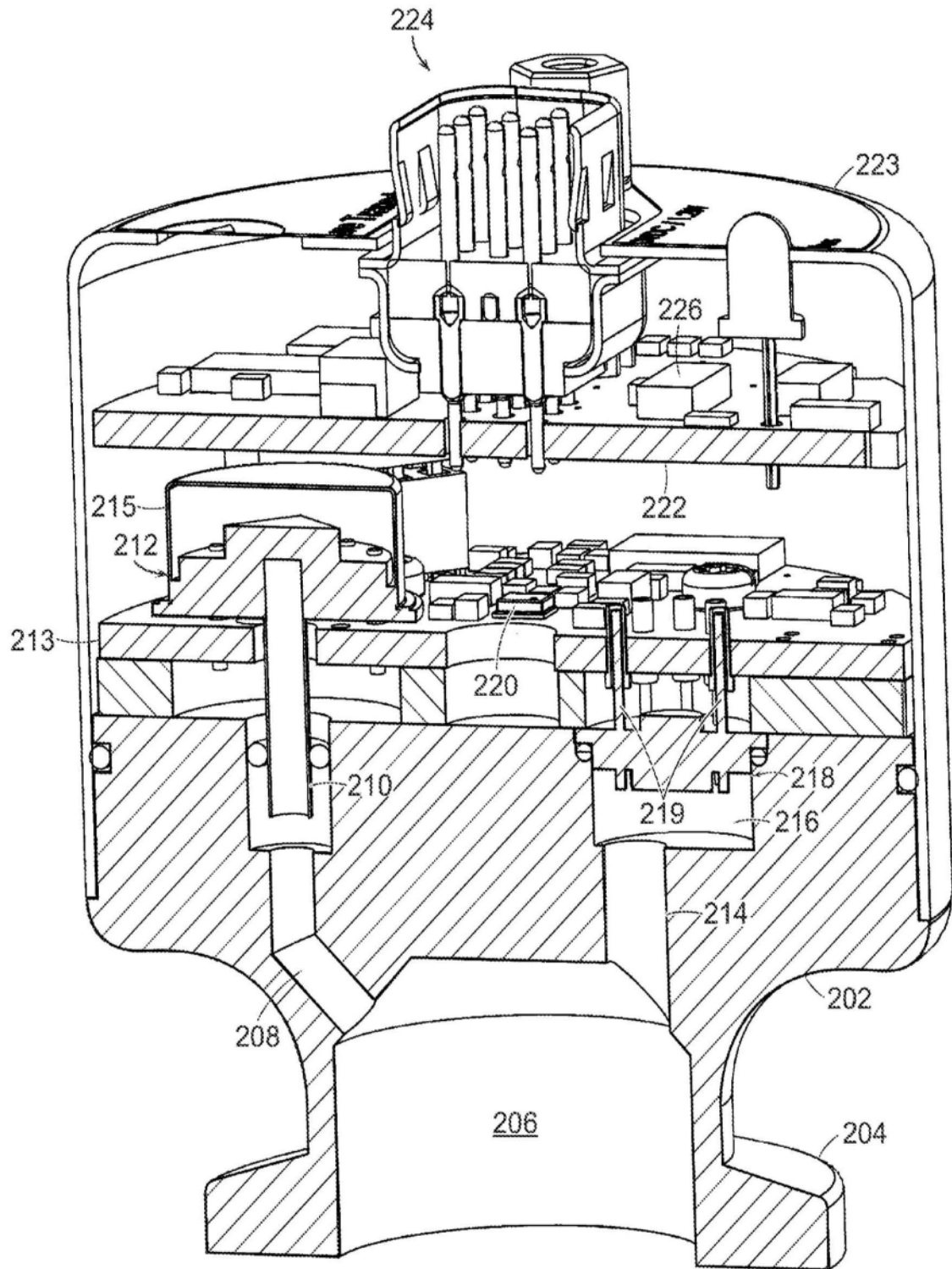


图2

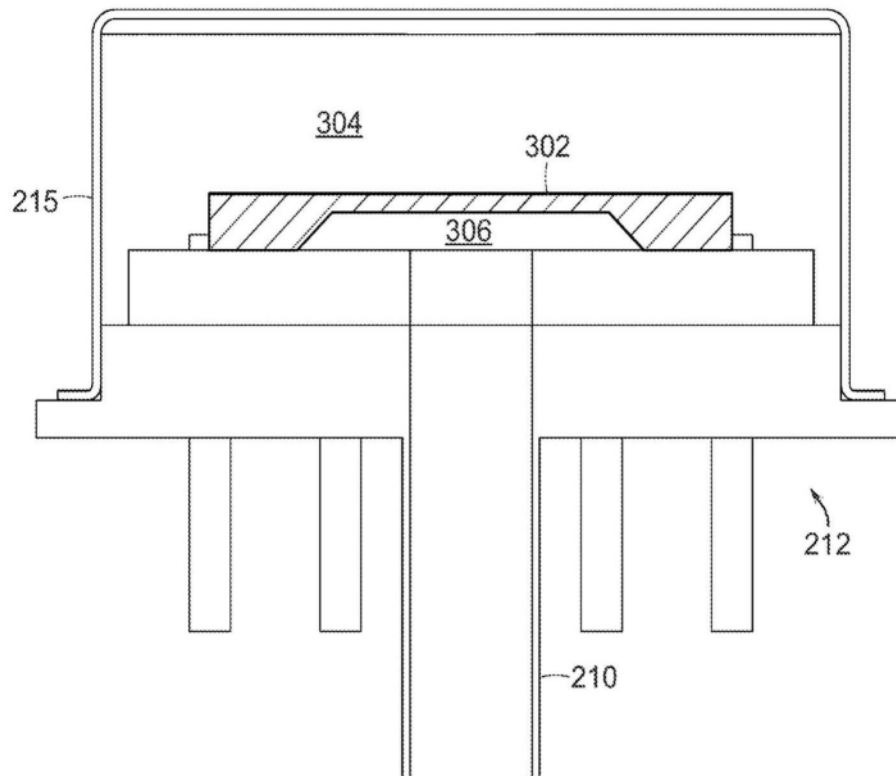


图3A

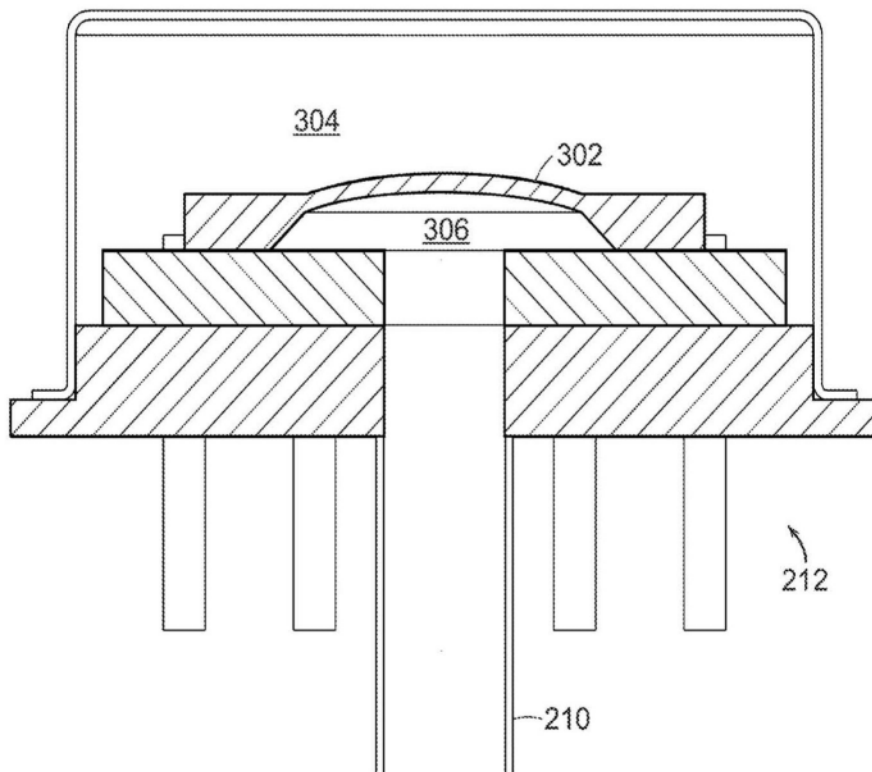


图3B

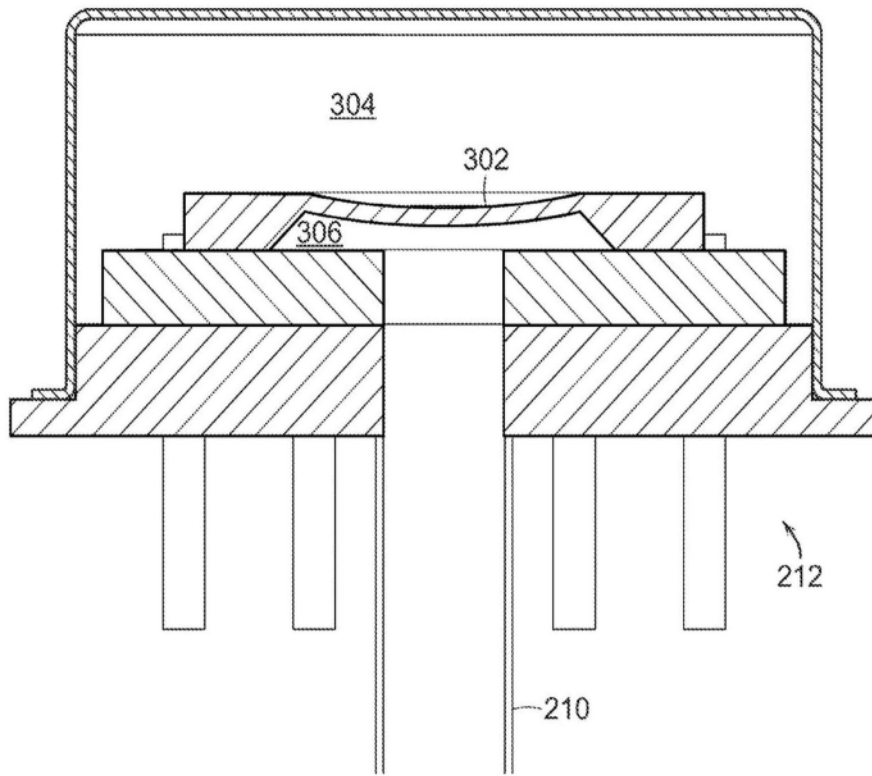


图3C

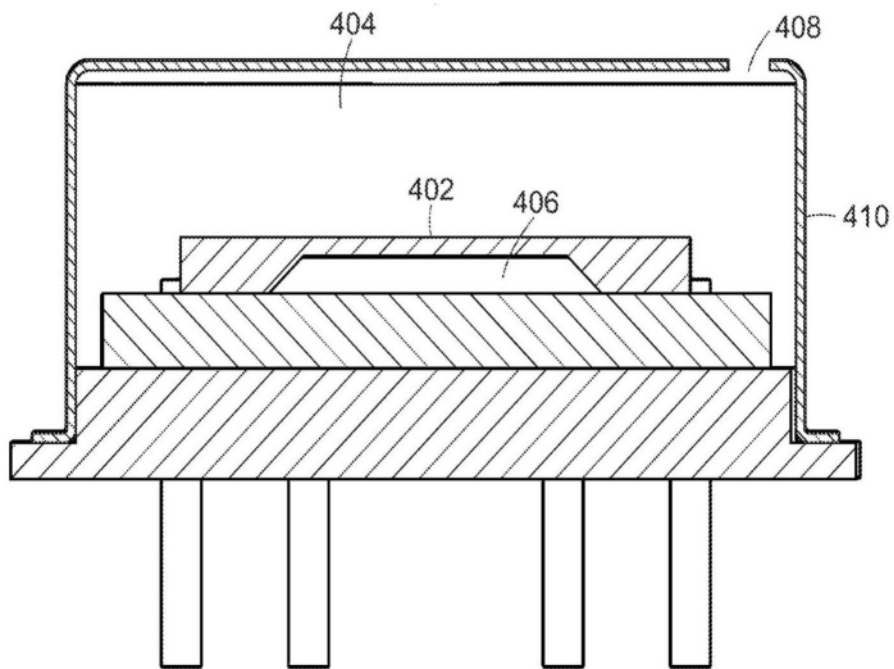


图4

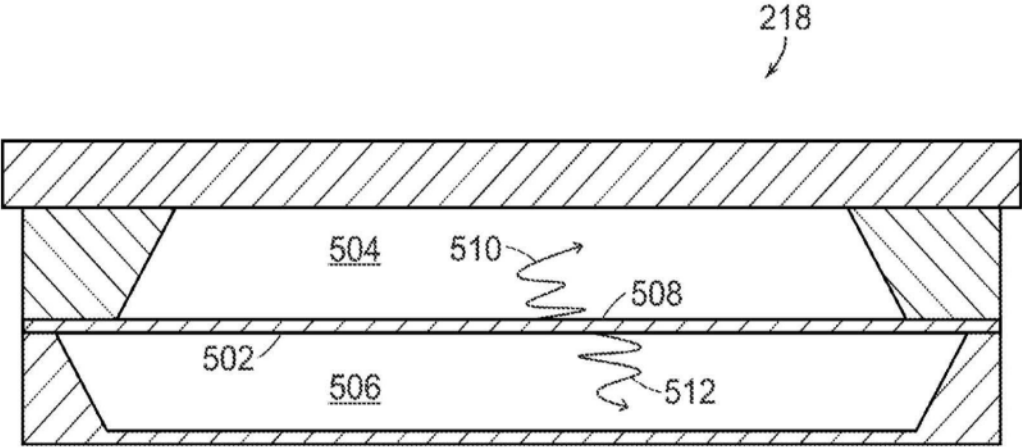


图5

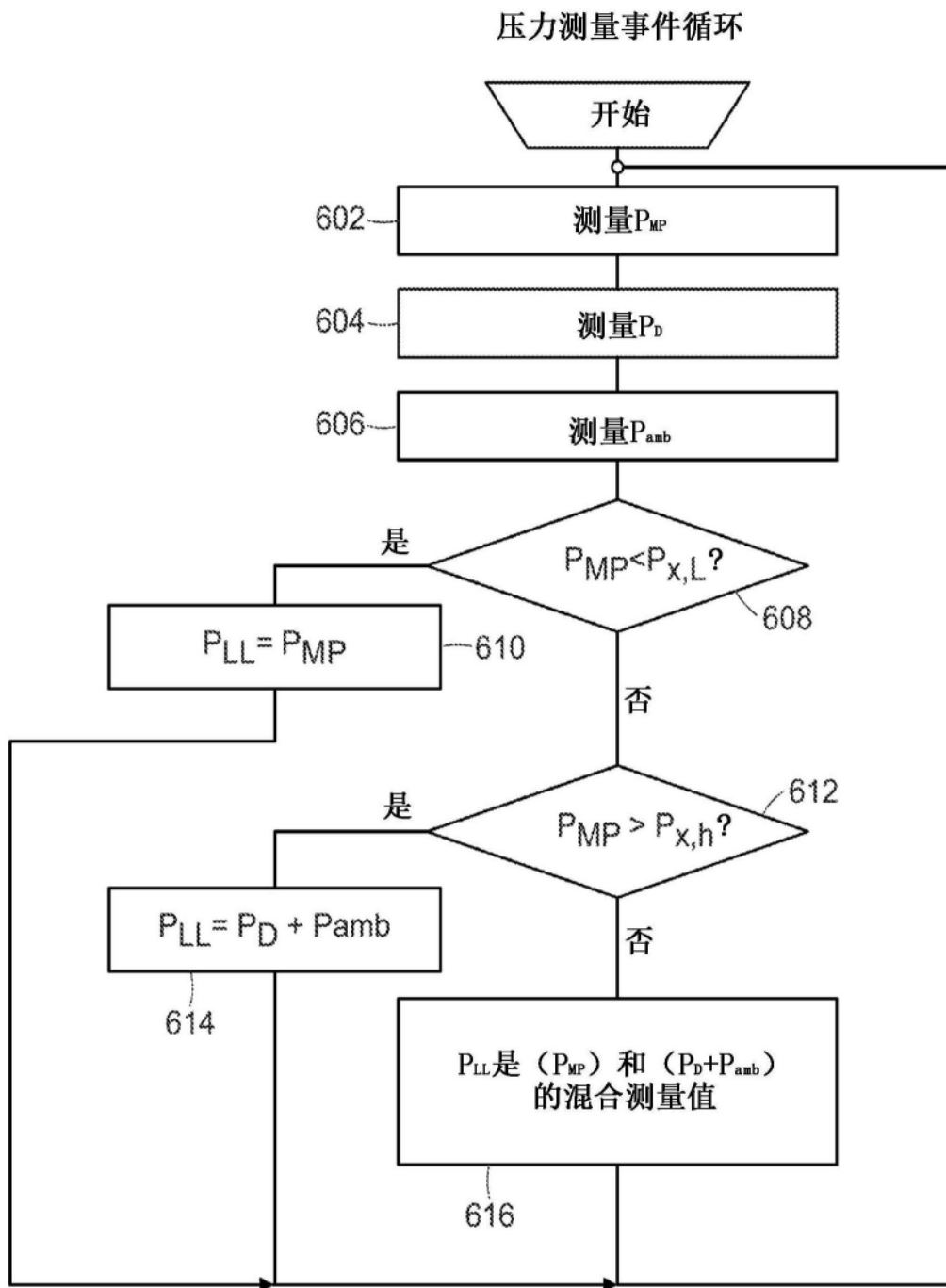


图6

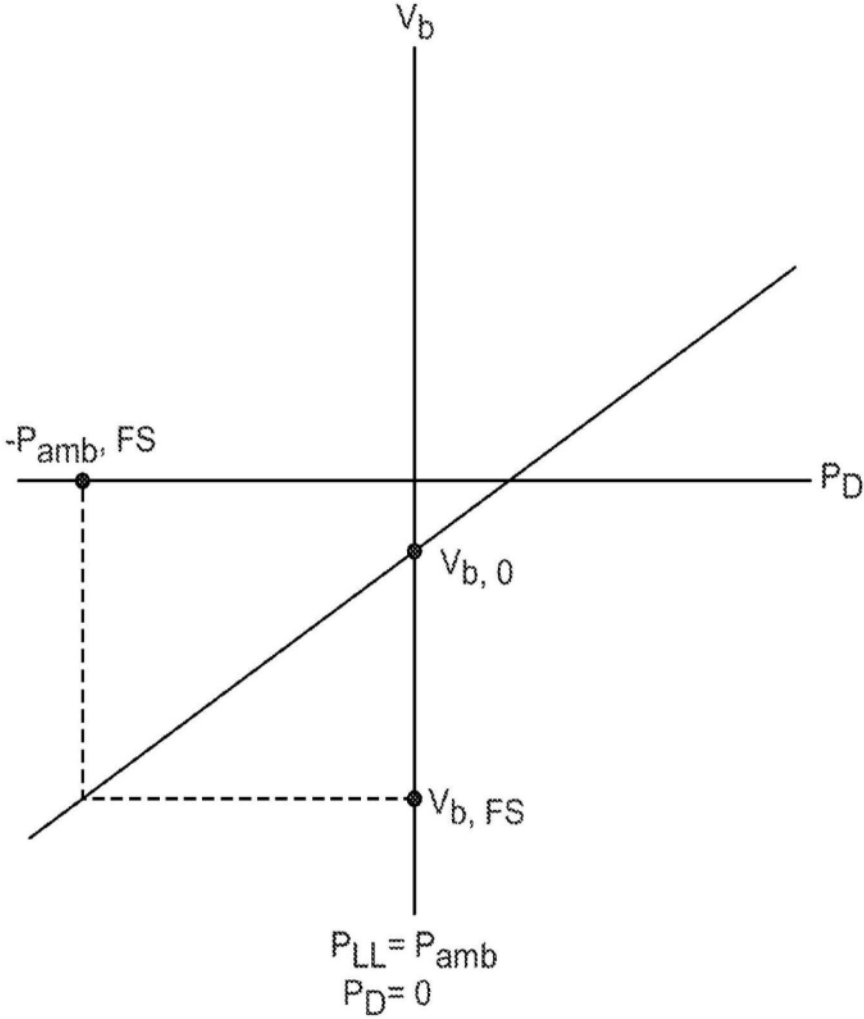


图7

偏移确定

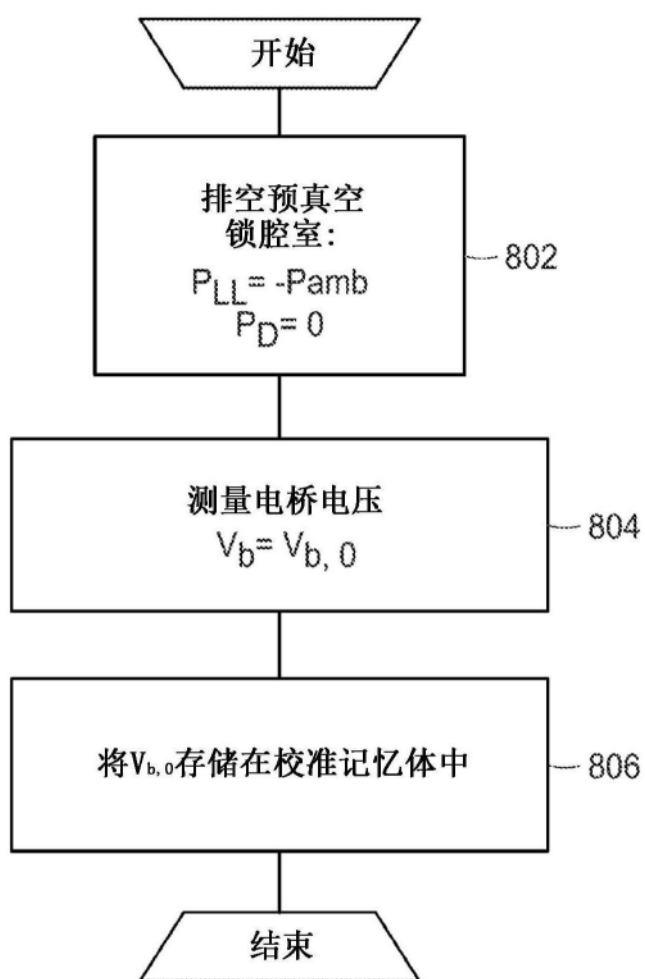


图8A

斜率确定—满量程校准

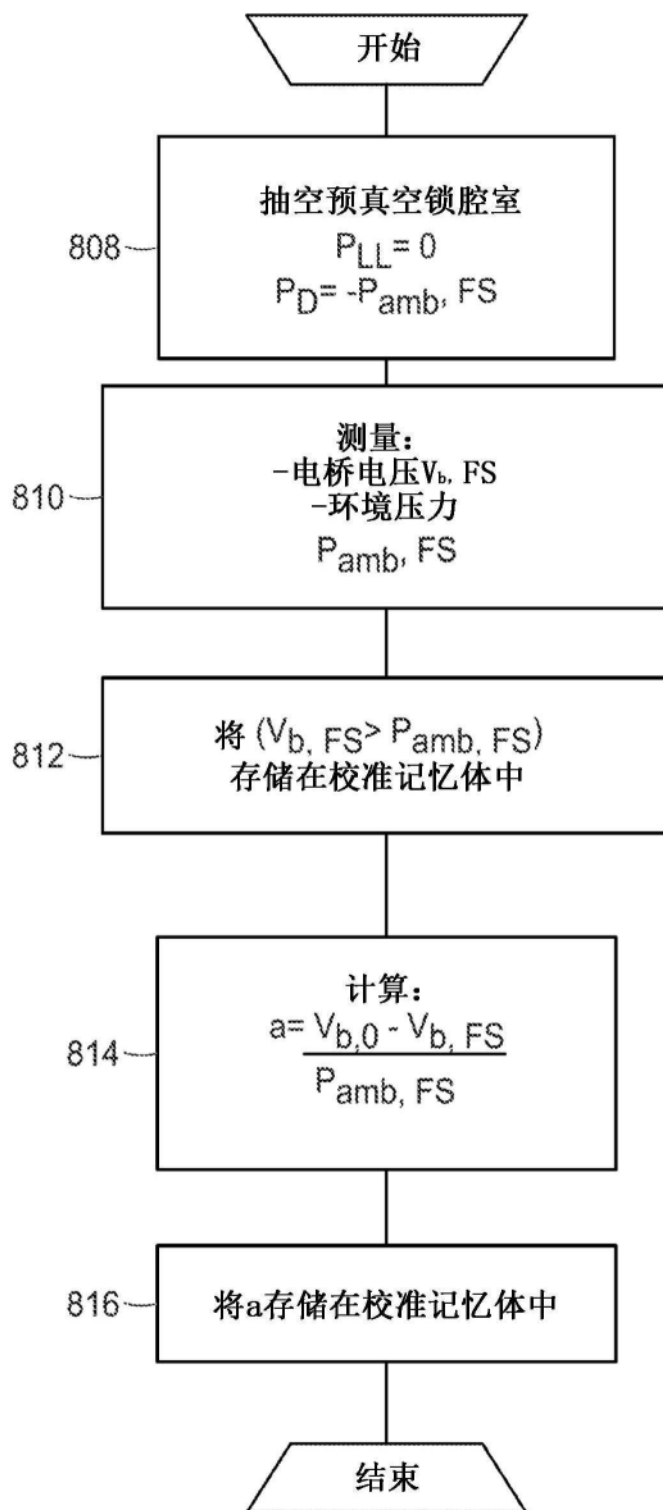


图8B

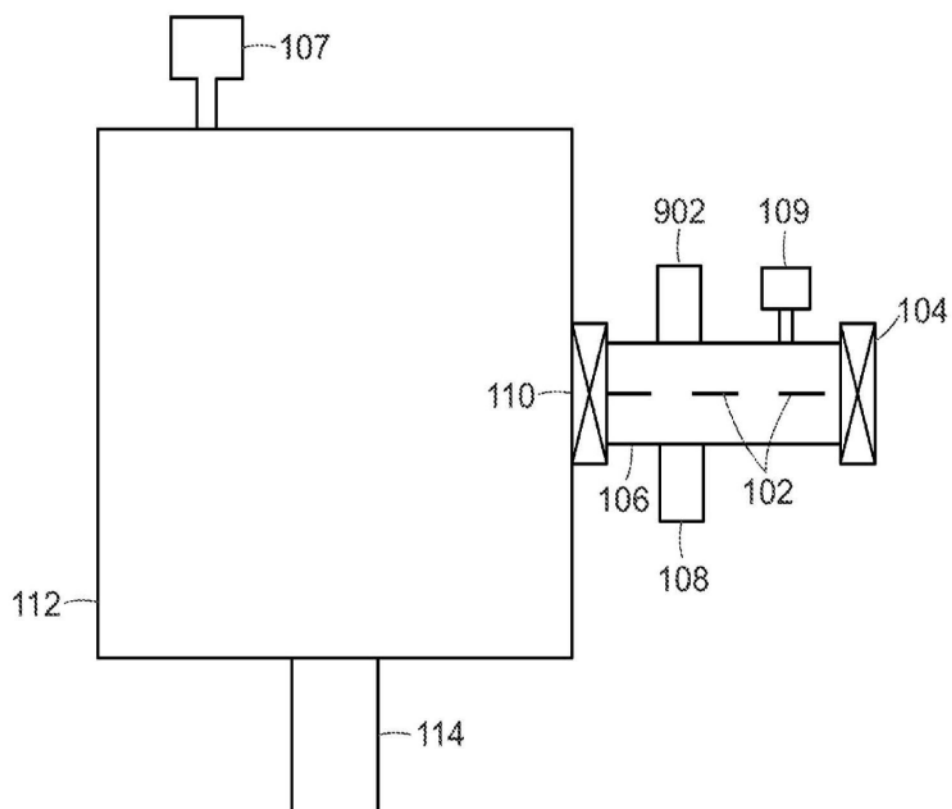


图9

1. 一种压力计,包括:

壳体,该壳体被配置成联接到真空腔室;

位于该壳体中的绝对真空压力传感器,该绝对真空压力传感器被配置成暴露于该真空腔室并且能够在高真空中操作以提供准确的瞬时高真空压力信号;

位于该壳体中的差动隔膜压力传感器,该差动隔膜压力传感器包括隔膜,该隔膜被配置成一个面暴露于该真空腔室并且相反面暴露于环境压力以提供瞬时差压信号;

位于该壳体中的绝对环境压力传感器,该绝对环境压力传感器暴露于环境压力以提供瞬时环境压力信号;以及

位于该壳体中的控制器,该控制器接收来自该绝对真空压力传感器的高真空压力信号、来自该差动隔膜压力传感器的差压信号、以及来自该环境压力传感器的环境压力信号,该控制器根据藉由一定范围的真空压力感测到的该瞬时差压信号和该瞬时环境压力信号来计算该真空腔室的计算的绝对压力,该控制器提供来自该差动隔膜压力传感器信号的差压输出、在高真空中从该绝对真空压力传感器信号获取的绝对真空压力输出、以及在低真空中来自该计算的绝对压力的绝对真空压力输出作为输出。

2. 如权利要求1所述之压力计,其中,该控制器进一步被配置成基于当该真空腔室处于环境压力时该差动隔膜压力传感器的环境压力电桥电压、当该真空腔室处于满量程高真空中时该差动隔膜压力传感器的满量程电桥电压、以及利用该绝对环境压力传感器测量的满量程环境压力来校准该差动隔膜压力传感器。

3. 如权利要求1所述之压力计,其中,该控制器进一步被配置成藉由以下方式校准该差动隔膜压力传感器:

测量当该真空腔室处于环境压力时该差动隔膜压力传感器的环境压力电桥电压;

测量当该真空腔室处于满量程高真空中时该差动隔膜压力传感器的满量程电桥电压;

利用该绝对气压压力传感器测量满量程环境压力;并且

根据该环境压力电桥电压、该满量程电桥电压和该满量程环境压力来确定该差动隔膜压力传感器的增益,此后根据瞬时电桥电压、该环境压力电桥电压和该增益来确定瞬时差压信号。

4. 如权利要求3所述之压力计,其中:

从以下计算增益:

$$a = \frac{V_{b,0} - V_{b,FS}}{P_{amb,FS}}$$

其中,a系增益, $V_{b,0}$ 系环境压力电桥电压, $V_{b,FS}$ 系满量程电桥电压,并且 $P_{amb,FS}$ 系满量程环境压力;并且

从以下计算压差:

$$P_D = \frac{V_b - V_{b,0}}{a}$$

其中, P_D 系瞬时压差,并且 V_b 系来自该差动隔膜压力传感器的瞬时电压。

5. 如权利要求1所述之压力计,其中,该控制器进一步从该绝对环境压力信号提供瞬时环境压力输出。

6. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 该绝对真空压力传感器在5托的高真空压力时具有7%或更高的准确度。

7. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 从该瞬时差压读数计算的绝对压力在60托具有1%或更高的准确度。

8. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 该控制器被配置成在中间真空压力时根据该瞬时高真空压力信号和该计算的绝对压力来计算混合压力, 并且在高真空压力范围内输出该瞬时高真空压力信号作为腔室压力信号, 在低真空压力范围内输出该计算的绝对压力作为该腔室压力信号, 并且在该等中间真空压力时输出该混合压力作为该腔室压力信号。

9. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 该控制器被配置成在环境压力时将该绝对真空压力信号归零。

10. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 该绝对真空压力传感器系热导传感器。

11. 如权利要求10所述之压力计, 其中, 该热导传感器系MEMS皮拉尼传感器。

12. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 该差动隔膜压力传感器系差动压阻式隔膜压力传感器。

13. 如权利要求1所述之压力计, 其中, 该绝对环境压力传感器包括隔膜, 该隔膜的一个面暴露于参考真空, 并且相反面暴露于环境压力。

14. 一种控制预真空锁的预真空锁端口和传送端口之方法, 包括:

提供来自绝对真空压力传感器的瞬时高真空压力信号;

提供来自具有隔膜的差动压隔膜压力传感器的瞬时差压信号, 该隔膜的一个面暴露于该预真空锁并且相反面暴露于环境压力;

提供来自绝对环境压力传感器的瞬时环境压力信号;

在电子控制器中, 根据瞬时差压信号和该瞬时环境压力信号来计算计算的绝对环境压力;

仅在该预真空锁达到如由来自该绝对真空压力传感器的瞬时高真空压力信号指示的足够低的压力之后, 才将该传送端口打开到高真空腔室;

仅在来自该差动隔膜压力传感器的瞬时差压信号指示预真空锁压力至少与环境压力一样高之后, 才将该预真空锁端口打开到环境; 并且

从该控制器提供绝对真空压力输出, 该绝对真空压力输出系从在高真空下的该绝对真空压力传感器和在低真空下的该计算的绝对压力获取的。

15. 如权利要求14所述之方法, 其中, 该控制器进一步基于当该预真空锁在环境压力时该差动隔膜压力传感器的环境压力电桥电压、当该预真空锁处于满量程高真空时该差动隔膜压力传感器的满量程电桥电压、以及利用该绝对环境压力传感器测量的满量程环境压力来校准该差动隔膜压力传感器。

16. 如权利要求14所述之方法, 其中, 该控制器进一步藉由以下方式校准该差动隔膜压力传感器:

测量当该预真空锁暴露于环境压力时该差动隔膜压力传感器的环境压力电桥电压;

测量当该预真空锁处于满量程高真空时该差动隔膜压力传感器的满量程电桥电压,

当该预真空锁处于满量程高真空时, 利用该绝对环境压力传感器测量满量程环境压力; 并且

在该控制器中,根据该环境压力电桥电压、该满量程电桥电压和该满量程环境压力来计算该差动隔膜压力传感器的增益,此后根据瞬时电桥电压、该环境压力电桥电压和该增益来计算该瞬时差分读数。

17.如权利要求14所述之方法,其中,

从以下计算增益:

$$a = \frac{V_{b,0} - V_{b,FS}}{P_{amb,FS}}$$

其中,a系增益, $V_{b,0}$ 系环境压力电桥电压, $V_{b,FS}$ 系满量程电桥电压,并且 $P_{amb,FS}$ 系满量程环境压力;并且

从以下计算压差:

$$P_D = \frac{V_b - V_{b,0}}{a}$$

其中, P_D 系瞬时压差,并且 V_b 系来自该差动隔膜压力传感器的瞬时电压。

18.如权利要求14所述之方法,其中,该控制器进一步从该瞬时绝对环境压力信号提供瞬时环境压力输出。

19.如权利要求14所述之方法,其中,该控制器在中间真空压力时根据该瞬时高真空压力信号和该计算的绝对压力信号来计算混合压力。

20.如权利要求14所述之方法,进一步包括在环境压力时将该绝对真空压力信号归零。