

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6522624号
(P6522624)

(45) 発行日 令和1年5月29日 (2019.5.29)

(24) 登録日 令和1年5月10日 (2019.5.10)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 F 1/42 (2006.01) GO 1 F 1/42 Z

請求項の数 20 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2016-540898 (P2016-540898)	(73) 特許権者	591203428
(86) (22) 出願日	平成26年8月18日 (2014.8.18)		イリノイ トゥール ワークス インコー
(65) 公表番号	特表2016-531299 (P2016-531299A)		ポレイティド
(43) 公表日	平成28年10月6日 (2016.10.6)		アメリカ合衆国, イリノイ 60025,
(86) 国際出願番号	PCT/US2014/051560		グレンビュー, ハーレム アベニュー 15
(87) 国際公開番号	W02015/034663		5
(87) 国際公開日	平成27年3月12日 (2015.3.12)	(74) 代理人	100099759
審査請求日	平成29年8月18日 (2017.8.18)		弁理士 青木 篤
(31) 優先権主張番号	61/874,830	(74) 代理人	100102819
(32) 優先日	平成25年9月6日 (2013.9.6)		弁理士 島田 哲郎
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100123582
			弁理士 三橋 真二
		(74) 代理人	100153084
			弁理士 大橋 康史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 絶対圧差圧力トランスデューサー

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも第 1 の空洞および第 2 の空洞と、
少なくとも第 1 の圧力ポートおよび第 2 の圧力ポートと、
前記第 1 の空洞を前記第 1 の圧力ポートに印加される第 1 の流体圧にさらす第 1 の隔離膜と、
前記第 2 の空洞を前記第 2 の圧力ポートに印加される第 2 の流体圧にさらす少なくとも第 2 の隔離膜と、
前記第 1 の空洞および前記第 2 の空洞の一方において絶対圧にさらされる少なくとも 1 つの絶対圧検知素子と、
前記第 1 の空洞と前記第 2 の空洞との間の差圧にさらされる少なくとも 1 つの差圧検知素子とを具備し、
前記少なくとも 1 つの絶対圧検知素子と前記少なくとも 1 つの差圧検知素子は、ピエゾ抵抗半導体圧力センサーを具備する絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

【請求項 2】

前記第 1 の空洞および前記第 2 の空洞の少なくとも一方は液体で満たされる請求項 1 に記載の絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

【請求項 3】

少なくとも前記第 1 の空洞および前記第 2 の空洞は単一の本体内に形成される請求項 1 に記載の絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

【請求項 4】

少なくとも前記第 1 の空洞および前記第 2 の空洞は別々の本体内に形成される請求項 1 に記載の絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

【請求項 5】

前記第 1 の空洞および前記第 2 の空洞の少なくとも一方に熱的に結合される少なくとも 1 つの感温素子を更に具備する請求項 1 に記載の絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

【請求項 6】

前記絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーは、前記感温素子を用いて、任意のゲージ温度係数を補償する請求項 5 に記載の絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

10

【請求項 7】

変換器本体に結合される回路基板を更に具備する請求項 1 に記載の絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

【請求項 8】

前記回路基板は、前記絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーのための較正データを含むデータを記憶するメモリを更に具備する請求項 7 に記載の絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

【請求項 9】

前記回路基板は、その挙動が前記絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーによってもたらされる圧力信号の較正に影響を及ぼす計測増幅器および回路を更に具備する請求項 8 に記載の絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

20

【請求項 10】

前記回路基板は、前記絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーがさらされる任意の正味の重力および加速力の大きさおよび方向を示すことができる加速度計を更に具備する請求項 7 に記載の絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

【請求項 11】

前記第 1 の隔離膜および前記第 2 の隔離膜のうちの少なくとも 1 つは、可撓性の波形金属ダイヤフラムである請求項 1 に記載の絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

【請求項 12】

前記第 1 の隔離膜および前記第 2 の隔離膜のうちの少なくとも 1 つは、前記絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーの取り付け面から盛り上がっている厳密に指定された外形を有する請求項 1 に記載の絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

30

【請求項 13】

前記絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーの、プロセス流体に暴露した全ての表面が耐腐食性合金から形成される請求項 1 に記載の絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー。

【請求項 14】

層流素子と、

少なくとも第 1 の空洞および第 2 の空洞と、少なくとも第 1 の圧力ポートおよび第 2 の圧力ポートと、前記第 1 の空洞を前記第 1 の圧力ポートに印加される第 1 の流体圧にさらす第 1 の隔離膜と、前記第 2 の空洞を前記第 2 の圧力ポートに印加される第 2 の流体圧にさらす第 2 の隔離膜と、前記第 1 の空洞および前記第 2 の空洞の一方において絶対圧にさらされる少なくとも 1 つの絶対圧検知素子と、前記第 1 の空洞と前記第 2 の空洞との間の差圧にさらされる少なくとも 1 つの差圧検知素子とを含む、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーと、

40

前記層流素子内の流体の温度を提供する感温素子と、

前記流体の前記温度と、前記絶対圧と、前記差圧と、流体特性および層流素子特性の知識とを前記層流素子を通り抜ける質量流量を示す信号に変換する処理素子とを具備し、

前記少なくとも 1 つの絶対圧検知素子と前記少なくとも 1 つの差圧検知素子は、ピエゾ抵抗半導体圧力センサーを具備する質量流量計。

50

【請求項 15】

前記層流素子内の前記流体の前記温度を提供する前記感温素子は、前記絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー内に組み込まれる請求項 14 に記載の質量流量計。

【請求項 16】

前記層流素子内の前記流体の前記温度を提供する前記感温素子は、前記第 1 の空洞および前記第 2 の空洞の少なくとも一方に熱的に結合される請求項 15 に記載の質量流量計。

【請求項 17】

前記絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーは、前記感温素子を用いて、任意のゲージ温度係数を補償する請求項 15 に記載の質量流量計。

【請求項 18】

層流素子と、

少なくとも第 1 の空洞および第 2 の空洞と、少なくとも第 1 の圧力ポートおよび第 2 の圧力ポートと、前記第 1 の空洞を前記第 1 の圧力ポートに印加される第 1 の流体圧にさらす第 1 の隔離膜と、前記第 2 の空洞を前記第 2 の圧力ポートに印加される第 2 の流体圧にさらす第 2 の隔離膜と、前記第 1 の空洞および前記第 2 の空洞の一方において絶対圧にさらされる少なくとも 1 つの絶対圧検知素子と、前記第 1 の空洞と前記第 2 の空洞との間の差圧にさらされる少なくとも 1 つの差圧検知素子とを含む、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーと、

前記層流素子内の流体の温度を提供する感温素子と、

バルブドライブ信号に応答して、前記層流素子を通り抜ける流体の流量を制御する比例制御バルブと、

前記流体の前記温度と、前記絶対圧と、前記差圧と、流体特性および層流素子特徴の知識とを前記層流素子を通り抜ける質量流量を示す信号に変換し、前記層流素子を通り抜ける所望の流量を示す設定点信号を受信し、前記層流素子を通り抜ける質量流量を示す前記信号が前記受信された設定点信号に実質的に一致するように、前記バルブドライブ信号を制御する制御電子回路とを具備し、

前記少なくとも 1 つの絶対圧検知素子と前記少なくとも 1 つの差圧検知素子は、ピエゾ抵抗半導体圧力センサーを具備する質量流量コントローラー。

【請求項 19】

前記層流素子内の前記流体の前記温度を提供する前記感温素子は、前記絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー内に組み込まれる請求項 18 に記載の質量流量コントローラー。

【請求項 20】

前記絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーは、前記感温素子を用いて、任意のゲージ温度係数を補償する請求項 19 に記載の質量流量コントローラー。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、包括的には、流体の質量流量を制御するための方法およびシステムに関し、より詳細には、ガスおよび他の圧縮性流体用の質量流量コントローラーおよび質量流量計の動作に関する。

【背景技術】

【0002】

多くの産業プロセスが種々のプロセス流体の厳密な制御を必要とする。例えば、半導体産業では、質量流量計と、それらの質量流量計を用いるコントローラーとを用いて、プロセスチャンバーに導入されるプロセス流体の量を厳密に測定、制御する。そのようなデバイス内の質量流量に対して、熱、超音波飛行時間、コリオリおよび圧力に基づく技術を含む種々の技術を検討することができる。

【0003】

圧力に基づく質量流量計は、明確に定められた流れ絞りをを用いて、測定する流量に応じ

10

20

30

40

50

た圧力降下を作り、流体特性および流れ絞りの情報と組合せて、温度、結果として生じた圧力降下および（圧縮性流体の場合には）絶対圧の測定値を用いることによって質量流量を計算する。

【 0 0 0 4 】

「流体」という用語は、本明細書において、流動することができる任意の状態にある任意のタイプの物質を示すために用いられる。「気体」という用語は、本明細書において、理想気体または非理想気体、蒸気および超臨界流体のような、その密度が絶対圧に実質的に依存する任意の流体を示すために用いられる。「液体」という用語は、本明細書において、その密度が絶対圧に実質的に依存しない任意の流体を示すために用いられる。

【発明の概要】

10

【 0 0 0 5 】

開示した実施形態は、少なくとも第1の空洞および第2の空洞と、少なくとも第1の圧力ポートおよび第2の圧力ポートと、第1の空洞を第1の圧力ポートに印加される第1の流体圧にさらす第1の隔離膜と、第2の空洞を第2の圧力ポートに印加される第2の流体圧にさらす第2の隔離膜と、第1の空洞および第2の空洞の一方において絶対圧にさらされる少なくとも1つの絶対圧検知素子と、第1の空洞と第2の空洞との2つの間の差圧にさらされる少なくとも1つの差圧検知素子とを備える、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーを含む。

【 0 0 0 6 】

一実施形態では、第1の圧力ポートおよび第2の圧力ポートは、第1の隔離膜および第2の隔離膜を完全に包囲するシールまたは封止面である。適切なシールまたは封止面を含む隔離膜のための硬質カバーおよび硬質管または自在管を含む、数多くの他のタイプの圧力ポートが同様に可能であり、適している。

20

【 0 0 0 7 】

一実施形態では、第1の隔離膜および第2の隔離膜は、可撓性の波形金属ダイヤフラムである。可撓性の金属ベローズおよび弾性ダイヤフラムまたはベローズのような、数多くの他のタイプの隔離膜が同様に可能であり、適している。

【 0 0 0 8 】

1つのそのような実施形態では、それらのポートは隔離膜を完全に包囲する封止面からなり、隔離膜は、変換器本体の取り付け面からわずかに盛り上がっている厳密に指定された外形を有する可撓性の波形金属ダイヤフラムである。

30

【 0 0 0 9 】

一実施形態では、第1の空洞および第2の空洞がシリコン系オイルで満たされる。

【 0 0 1 0 】

一実施形態では、絶対圧および差圧検知素子は、シリコン歪みゲージを用いる微細加工されたシリコン素子からなる。金属膜歪みゲージを備える適切に支持されたダイヤフラム、或いは、キャパシタンス圧力ゲージのような、数多くの他のタイプの圧力検知素子も同様に適している。

【 0 0 1 1 】

幾つかの実施形態では、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーは、温度センサーも含むことができる。絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーは、温度センサーを用いて任意のゲージ温度係数を補償するように構成することができ、かつ/または、この統合型圧力トランスデューサーを使用するデバイスは、その流量が測定されている流体の温度の代わりとして、センサーによって報告される温度を使用するように構成することができる。

40

【 0 0 1 2 】

幾つかの実施形態では、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーは、変換器本体に取り付けられる回路基板も備える。回路基板は、限定はしないが、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーのための較正データのようなデータを記憶するメモリ構成要素を備えることができる。回路基板は、被測定圧に及ぶ重力または加速度の影響を自動的に補正でき

50

るようにする１または複数の加速度計を備えることができる。また、回路基板は、絶対圧検知素子および差圧検知素子、並びに他の構成要素の出力信号を増幅する計測増幅器または他の増幅器も備えることができる。

【００１３】

上記の概要は、単に、本明細書において開示される特定の実施形態の例を提供するだけであり、特許請求の範囲を網羅することや、制限することは意図していない。開示される実施形態の他の実施形態および利点は、詳細な説明において更に説明されることになる。

【００１４】

本発明の例示の実施形態は、添付図面の図を参照して以下で詳細に説明される。これらの図は、引用することによって本明細書の一部をなす。

【図面の簡単な説明】

【００１５】

【図１】特許請求される発明の一実施形態による、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーの断面図である。

【図２】特許請求される発明の一実施形態による、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーの正面図である。

【図３】特許請求される発明の一実施形態による、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーの背面図である。

【図４】開示される実施形態による絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーの実施形態を組み込むことができる質量流量コントローラーの一例を示す図である。

【図５】開示される実施形態による絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーの実施形態を組み込むことができる質量流量計の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【００１６】

示した図は、例示にすぎず、種々の実施形態を実施することができる環境、アーキテクチャ、設計またはプロセスに関する限定を主張することも意味することも何ら意図していない。

【００１７】

気体用の、圧力に基づく質量流量コントローラー（ＭＦＣ：mass flow controller）および質量流量計（ＭＦＭ：mass flow meter）は通常、何らかの形の流量制限器と、流量制限器の上流および下流の両方の圧力を計算できるようにするのに適切な場所に配置される２つ以上の圧力変換器とを利用する。

【００１８】

例えば、圧力に基づく多くのＭＦＭは、その性能が、速度ヘッド（気体を制限器内でその速度まで加速するために圧力降下が必要とされる）ではなく、主に層流特性によって決定される、層流素子として知られるタイプの流量制限器を使用する。最初に、層流素子を通り抜ける理想気体の流量を以下のように計算することができる。

【数１】

$$Q_s = K * (P_u^2 - P_d^2)$$

ただし、 Q_s は質量流量であり、 K は気体の温度、粘度および圧縮率と、層流素子の形状によって決まる値であり、 P_u は層流素子の上流の絶対圧であり、 P_d は層流素子の下流の絶対圧である。

【００１９】

デバイスレンジの小さなパーセンテージに等しい流量をもたらすのに、相対的に大きな上流圧が必要なので、この特性は、 P_d が低い値であるときに、すなわち、下流圧が上流圧よりはるかに小さいときに極めて有利である。例えば、流量制限器が、真空にするのに

10

20

30

40

50

、フルスケールにおいて1000Torr(約20PSIA)の圧力降下をもたらす場合には、真空への100Torrの圧力降下は、フルスケール流量の1%を与えるにすぎない。相対的に低い流量の場合であっても、結果として生成される圧力降下が相対的に大きいので、これは、真空への低い流量に関して良好な測定を可能にする。

【0020】

しかしながら、出口圧が増加するとき、層流素子の圧力降下は実質的に減少する。本発明の例では、例えば、層流素子の下流が大気圧(760Torr)である場合、フルスケール流量の1%の圧力降下は、6.55Torrまでしか降下しない。これは、素子の下流が真空である場合と同じ流量における素子の圧力降下の7%未満であり、この構成のために必要とされる変換器レンジの1%よりはるかに小さい。その特性は、出口において真空である場合の性能に比べて、高い出口圧において流量計の精度を実質的に劣化させる。

10

【0021】

さらに、そのようなMFMを用いる質量流量コントローラー(MFC)も、同じ問題に直面する。

【0022】

層流素子を用いる圧力に基づく一般的なMFCおよびMFMは、2つの独立した絶対圧変換器を使用し、1つは層流素子の upstream にあり、1つは素子の downstream にある。しかしながら、このようにして、広い出口圧レンジにわたって良好に作動するように組み立てられたMFCの場合、2つの圧力変換器が厳密に一致することが不可欠である。これらの2つの圧力変換器は、正確にゼロに合わせる必要があるだけでなく、一致する利得および一致する非線形性を有する必要もある。2つの変換器の利得または非線形性に多少なりとも違いがあると、2つの変換器のゼロに何らかの違いがある場合と同様に、出口圧が変化するとつれて、流量計のゼロにシフトが生じることになる。

20

【0023】

臨界流ノズル、オリフィスまたは他の非層流素子を用いる圧力に基づくMFCおよびMFMは、低い流量において使用されるとき、そして更には適度に高い出口圧において使用されるときに、更なる劣化を受ける。

【0024】

圧力に基づく一般的なMFCおよびMFMは、2つの異なる方策を用いて、この問題に対処してきた。

30

【0025】

第1の手法は、通常、計測学仕様のMFMにおいて使用され、極めて高精度で、高額の変換器を使用することである。一例として、MolBox(商標)(DHI(商標))によって製造される圧力に基づく質量流量計のエレクトロニクス部分)は、Paro Scientific社によって製造される2つの水晶振動子式DigiQuartz(商標)圧力変換器を使用する。これらの圧力変換器は、精度および安定性があることでよく知られているが、コストがかなり高い高性能の変換器である。そのような変換器は、海底数千メートル下方から1cm未満の水深の変化を検出することができる津波検出器および層流素子として水晶能力を用いる少なくとも1つのNIST(商標)(National Institute of Science & Technology)層流計のような、他の極めて高精度の適用例においても使用される。

40

【0026】

多くの安価で小型の、圧力に基づくMFC(Horiba D200(商標)シリーズ等)およびMFMは、はるかに安価な絶対圧変換器を使用し、主として、高い出口圧における精度仕様を大幅に緩和することに頼る。例えば、D200シリーズは、出口圧が13.3kPa未満(~100Torr)であるとき、0.5%設定値までフルスケールの0.05%の精度を保証するが、出口圧が13.3kPa~53.3kPa(~400Torr)であるとき、フルスケールの0.1%の精度しか、そして2%設定値までしか保証しない。

【0027】

いずれの方策を用いるデバイスとも、変換器の定期的な「風袋引き(taring)」(すなわち、両方の変換器が同じ圧力にさらされるときに、同一の圧力示度を提供するように、

50

一方または両方の変換器のゼロオフセットを調整すること)に頼る。実際の動作時の出口圧における適切な風袋引きは、風袋引きのために用いられる出口圧におけるこれらのデバイスの性能を著しく改善することができる。しかし、多くのMFCおよびMFM適用例が、相対的に広い出口圧レンジにわたる(例えば、真空から400Torrまでの)性能を必要とする。風袋引きは、そのレンジ内の1つの圧力、すなわち、風袋引きが行われた圧力においてのみ適切な補正を確実にすることができる。変換器間の利得または非線形性に多少なりとも違いがあると、出口圧が、風袋引きが実行された圧力から外れるにつれて、大きな誤差を導入することになる。

【0028】

圧力に基づくMFCまたはMFMの性能を著しく改善する1つの方法は、絶対圧変換器のうちの1つを、素子にわたる圧力降下を直接報告することができる差圧変換器と置き換えることである。これは、制限器の上流および下流において同一の圧力にさらされるときに、依然として差圧変換器のゼロを定期的に調整する必要があるので、風袋引きを完全には不要にしない。しかし、2つの変換器の利得または非線形性の不一致が、流量ゼロ時の差圧変換器からの示度に影響を及ぼさないので、計算された流量がこれらの不一致から受ける影響を大幅に低減する。

【0029】

1つの変換器からのドリフトのみが差圧測定に寄与するので、差圧変換器を使用すると、時間または温度にわたる変換器の未補正ゼロドリフトの影響も著しく低減される。

【0030】

本明細書において使用可能な差圧変換器は通常、何らかの「コモンモード」感度(すなわち、絶対圧の関数としてのゼロの小さなシフト)を有するので、差圧変換器を使用しても、差圧変換器の圧力に対する感度を完全には除去しない。しかし、このコモンモード感度は通常小さく、容易に、かつ安価に測定することができ、概ね完全に補償することができ、変換器の温度または寿命のいずれにわたってもほとんど変化しないはずである。

【0031】

しかしながら、差圧変換器と、別の絶対圧変換器との両方を用いることにも以下の欠点がある。

【0032】

コスト。圧力変換器のコストの大きな要因のうちの1つは、単に、接液材と、その製造および処理とに関するコストである。検知素子が、被検知媒質から隔離されることを必要とする環境(大部分の半導体産業の適用例のように)の場合に、変換器のコストは、必要とされるダイヤフラムまたは他の隔離膜の数によって大きく左右される。ウェット/ウェット差圧変換器は、2つの高純度のダイヤフラムと、被検知媒質にさらされる関連付けられるシールとを有するので、差圧変換器が取って代わる絶対圧変換器より、購入および設置の両方に関して実質的により高いコストがかかる。

【0033】

サイズ。一般的な差圧変換器は絶対圧変換器より大きく、通常、一般的な低レンジMFCまたはMFMの標準的なフォームファクターにおいて不都合である配管接続を必要とする。

【0034】

信頼性。あらゆるシールおよび隔離膜につき、故障が起こり得る箇所がもたらされる。それ以外の全てが等しいとき、3つの圧力変換器シールおよび3つの隔離膜を備えるシステムは、2つのみのシールおよび隔離膜を備える同等のシステムより、50%以上高いシールおよび隔離膜故障を被るおそれがある。

【0035】

これらの問題のうちの幾つかを克服するために、本開示は、圧力に基づく流量計および流量コントローラーにおいて使用するのに適した絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーを提供する。開示される実施形態による絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーの実施形態の一例が図面に示される。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 6 】

以下の検討は主に気体流量計に当てはまるが、液体流量計が、たとえ、絶対圧に対して相対的に反応しにくいことに起因して、通常は差圧変換器のみを用いて別の方法において十分に機能するにしても、本明細書において開示される絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーは、液体流量コントローラーにおいても役に立つ場合がある（制御システムに対して有用な情報をもたらすことができる）。さらに、以下の検討はMFCおよびMFMに向けられるが、同じ問題のうちの少なくとも幾つかは、気体用の、圧力に基づく容積式流量計（GFM）にも影響を及ぼす。

【 0 0 3 7 】

図1～図3は各々、特許請求される発明の一実施形態による、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー200の断面図、正面図および背面図を示す。絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー200の例示的なサイズは、50mm×26mmとすることができる。

10

【 0 0 3 8 】

図1～図3を参照すると、一実施形態では、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー200は、圧力ポート216および隔離膜214を介して流量計の上流の圧力にさらされる少なくとも2つの空洞210を有する本体208を含む。

【 0 0 3 9 】

一例として、一実施形態では、圧力ポート216は、本体の面に機械加工されるシールディテールであり、隔離膜214は、可撓性の波形金属ダイヤフラムであり、空洞210は、シリコンオイルまたは他の適切な液体で満たされる。

20

【 0 0 4 0 】

一実施形態では、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー200は、液体で満たされた空洞210のうちの1つにおける絶対圧を報告するための絶対圧検知素子220を含む。一実施形態では、絶対圧検知素子220は、ピエゾ抵抗半導体圧力センサーとすることができるが、他の技術を用いることもできる。

【 0 0 4 1 】

また、開示される実施形態では、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー200は、液体で満たされた空洞間の差圧を報告するための差圧検知素子230を含む。一実施形態では、差圧検知素子230は、第2のピエゾ抵抗半導体圧力変換器とすることができるが、他の技術を用いることもできる。

30

【 0 0 4 2 】

図1は、液体で満たされた空洞210の各々の中に位置する1つの圧力検知素子を示すが、特定の実施形態では、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー200は、液体で満たされた同じ空洞210内に絶対圧検知素子220および差圧検知素子230の両方が位置するように作製することができる。

【 0 0 4 3 】

別の実施形態では、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー200は、液体で満たされた各空洞210内に、差圧検知素子230に加えて、絶対圧検知素子220を備えるように作製することができる。この実施形態によれば、1つの絶対圧検知素子と、1つの差圧検知素子とを組み合わせただけでは検出できない幾つかの圧力変換器障害（長期ドリフトまたは未補償ゼロまたはスパン温度係数誤差等）を検出できるようになる。

40

【 0 0 4 4 】

一実施形態では、変換器本体208の背面に回路基板204が取り付けられる。特定の実施形態では、回路基板204は、フラッシュメモリおよびフレキシブルケーブルコネクタ212を含む。また、回路基板204は、任意の変換器特有のバランス抵抗器または他のトリム抵抗器を取り付ける場所も提供することができる。特定の実施形態では、回路基板204は、埋め込まれた圧力変換器の出力を増幅するために必要とされる計測増幅器と、必要とされるドライブ回路のうちの幾つかまたは全てと、定電流ドライブによって必要とされるか、または、定電圧ドライブで変換器温度を検知するために必要とされる電流検知抵抗器と、変換器較正または他の所望のデータののための記憶装置等を設けることもでき

50

る。回路基板 204 は、本体内に含まれる圧力検知素子 220、230 との電氣的接続をもたらす、変換器本体 208 からのピンによって支持することができる。幾つかの実施形態では、回路基板 204 は、ねじ頭を取り付ける変換器周囲にクリアランスを与えるために、1 または複数のノッチ 202 または穴を含むことができる。

【0045】

特定の実施形態では、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー 200 は、温度センサー 240 を含むことができる。温度センサー 240 は、任意のゲージ温度係数を補償するために、かつ流量が計算されることになる流体の温度に代わるものとして用いることができる。一実施形態では、温度センサー 240 は、平均測定値を得るために、図 1 に示すように、変換器本体 208 に埋め込むことができる。限定はしないが、温度センサー 240 の例は、熱電対、サーミスター、RTD または別の集積回路デバイスを用いることを含む。

10

【0046】

他の実施形態では、温度は、絶対圧検知素子 220 または差圧検知素子 230 のうちの 1 つまたは複数に埋め込まれた歪みゲージブリッジの抵抗を測定し、被測定抵抗を温度に変換することによって求めることができる。

【0047】

一実施形態では、隔離膜 214 は、高純度ステンレス鋼若しくは Hastelloy (商標) のような任意の適切な金属、または、他の適切な材料から製造される薄い可撓性ダイヤフラムからなり、厳密に指定された外形 (例えば、 $\pm 0.15 \text{ mm}$ に指定された外形) を有するように製造され、変換器本体 208 の面からわずかに突出するように位置決めされる。この実施形態は、低い流量レンジの場合に、バルブを閉じた後に長いブリードダウン時間に直面する気体流量コントローラにおいて有用である。このブリードダウン時間は、上流制御バルブと層流素子との間の容積を占有する気体から生じ、その気体は層流素子を通して排出しなければならない。開示される実施形態によれば、厳密に制御される隔離膜形状を与えることによって、この容積を依然として最小化し、それゆえ、ブリードダウン時間を最小化しながら、変換器構造が取り付けられるデバイスを容易に製造できるようになる。

20

【0048】

別の実施形態では、圧力ポート 216 は、隔離膜の大部分を覆う硬質カバーを含むように製造することができ、膜とカバーとの間にごく小さく、厳密に制御された間隙を設け、容積および結果として生じるブリードダウン時間を同様に最小化する。

30

【0049】

他の実施形態では、圧力ポートは、変換器本体 208 の取り付け面と同一平面をなすことができるか、或いは取り付け面から後退することができる。

【0050】

さらに、幾つかの実施形態では、限定はしないが、ペローズのような他の材料またはデバイスを隔離膜として用いることができる。

【0051】

特定の実施形態では、変換器本体 208 は、気体 / 液体経路に露出される全ての表面に関して、限定はしないが、Hastelloy (商標) または 316L VIM-VAR のような耐腐食性合金から形成することができる。他の表面は、任意の従来のステンレス鋼から形成することができる。

40

【0052】

図 4 は、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー 200 の一実施形態を組み込むことができる圧力に基づく質量流量コントローラ 400 の一例を概略的に示す。圧力に基づく質量流量コントローラ 400 は、流体流量の変化が、流体制限器の上流および / または下流の流体圧の変化を引き起こし、そこから流体流量を計算することができるという原理に基づいて動作する。

【0053】

50

図示される実施形態では、質量流量コントローラー 400 は、数ある中でも、電源コネクタ 402 と、ディスプレイインターフェース 404 と、通信インターフェース 406（例えば、RS 485 通信インターフェースコネクタ）と、制御電子回路 460 と、流体通路 422 と、1 または複数の温度センサー / 検知素子 424 と、流量制御バルブアセンブリ 450 と、開示される絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー 200 の少なくとも 1 つの実施形態とを含む。

【0054】

質量流量コントローラー 400 は、デバイスに流体を導入するための入口 420 と、（例えば、処理チャンバーに）流体が出る出口 430 とを更に含む。流体は、流体通路 422 に沿って、質量流量コントローラー 400 の中を流れる。幾つかの実施形態では、流体通路 422 は、ヒーターと、流体通路 422 に沿って温度を検知するための 1 または複数の温度センサー（温度センサー 424 および / または特定の実施形態では温度センサー 240 等）とを用いて一定の温度に保持される。

10

【0055】

図示される実施形態では、流量制御バルブアセンブリ 450 は、入口 420 付近の流体通路 422 に沿って配置される。流量制御バルブアセンブリ 450 は、質量流量コントローラー 400 を通り抜ける流体の量を制御するために調整可能である比例制御バルブを含む。

【0056】

さらに、質量流量コントローラー 400 は層流素子 440 を含む。層流素子 440 は、細い流路内の層流を確実にするように構成され、流体内に剪断力に起因する圧力降下を引き起こす。さらに、幾つかの実施形態では、1 または複数の温度センサー 424 および / または温度センサー 240 は、層流素子 440 内の流体の温度を提供するように構成することができる。

20

【0057】

絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー 200 は、流量制御バルブアセンブリ 450 の下流の流体通路 422 に結合される。絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー 200 は、上記で説明されたように、少なくとも 1 つの絶対圧検知素子と、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー 200 の少なくとも 2 つの空洞間の差圧にさらされる少なくとも 1 つの差圧検知素子とを用いて、絶対圧と、層流素子にわたる差圧降下とを求める。

30

【0058】

一実施形態では、質量流量コントローラー 400 は制御電子回路 460 を含み、この制御電子回路は、ロジック、回路、メモリおよび 1 または複数の処理素子（プロセッサ）から構成することができる。制御電子回路 460 は、所望の質量流量を示す設定点に従って、流量制御バルブアセンブリ 450 内のバルブの位置を制御する。例えば、一実施形態では、制御電子回路 460 は、温度センサー 424 および / または温度センサー 240 のような温度検知素子から層流素子 440 内の流体の温度と、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー 200 から絶対圧および差圧と、層流素子を通り抜ける所望の流量を示す設定点信号とを受信する。制御電子回路 460 は、受信された情報を用いて、絶対圧差圧および温度依存性の流体特性および層流素子の特性の両方に関する知識を、層流素子を通り抜ける質量流量を示す信号に変換する。例えば、一実施形態では、制御電子回路 460 は、ハーゲン - ポアズイユの式を用いて、圧力降下を容積流量に関連付けるように構成され、その後、所与の温度および圧力における密度補正を用いて、容積流量が質量流量に変換される。その後、制御電子回路 460 は、層流素子を通り抜ける質量流量を示す信号が、受信された設定点信号と実質的に一致するように、比例制御バルブを制御するためのバルブドライブ信号を生成する。例えば、一実施形態では、制御バルブドライブ信号は、流体の所望の質量流量を示す設定点信号と、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー 200 を用いて制御電子回路 460 によって求められる実際の質量流量に関連付けられるフィードバック信号との間の差である誤差信号に基づいて生成される。

40

【0059】

50

図5は、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー200の一実施形態を組み込むことができる圧力に基づく質量流量計500の一例を示す概略図である。圧力に基づく質量流量計500は、質量流量計500および制御電子回路160が、デバイスを通り抜ける流体の質量流量を求めるだけで、流体の量を制御しないことを除いて、質量流量コントローラ400の構成要素に類似の構成要素を含む。その場合に、質量流量計500は、質量流量コントローラ400において説明されたような、流量制御バルブアセンブリ450を備えていない。

【0060】

したがって、開示される実施形態は、気体および液体両方に関して圧力に基づく質量流量計および質量流量コントローラにおいて用いるのに適した絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサーの種々の実施形態を提供する。

10

【0061】

これまで、最良の形態であると思なされるものおよび/または他の例を説明および図示してきたが、本発明において種々の変更を加えることができること、本明細書において開示される主題が種々の形および例において実施できること、そして、それらの教示が数多くの適用例において適用することができ、そのうちの幾つかのみが本明細書に示されたことを理解されたい。当業者は、本開示が種々の変更および/または改善を受け入れることができることを認識されよう。そのような変更は、本教示の真の範囲内に含まれることを意図している。

【0062】

20

例えば、複数の図面が、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー200を、他の小型の市販のMFCに類似のフォームファクターを有する質量流量コントローラとともに使用するために適用可能である、本体の同じ面上に両方の圧力ポート（波形ダイヤフラム）を備える単一の機械本体として示すが、開示される実施形態による他の構成は、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー200の両端に、或いは、隣接する面に圧力ポートを有することもできる。さらに、特定の実施形態では、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー200は、液体で満たされた自在管によって接続される2つの個別の機械的単位（おそらく、長方形または円筒形のいずれか）として製造される場合がある。

【0063】

さらに、特定の実施形態では、絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー200は3つ以上の空洞を含む。例えば、2つの層流素子および単一の3空洞絶対圧および差圧変換器の周囲に2入力単出力混合流量コントローラを組み立てることができる。幾つかの実施形態では、3ポート統合型圧力トランスデューサーが、1つの空洞内の（両方の層流素子の下流において圧力にさらされる）絶対圧変換器と、各層流素子の上流の圧力にさらされる別の空洞と、層流素子のうちの1つにわたる圧力降下を各々報告する2つの差圧変換器とを有することができる。

30

【0064】

数量が特定されていないもの（"a", "an" and "the"）は、本明細書において用いられるとき、文脈が複数形を含まないことを明確に示していない限り、複数形も同様に含むように意図されている。「備える」という用語は、この明細書および/または特許請求の範囲において用いられるとき、明記した特徴、完全体、ステップ、作用、要素および/または構成要素が存在することを明示しているが、1または複数の他の特徴、完全体、ステップ、作用、要素、構成要素、および/または、それらの群が存在することまたは追加されることを排除していないことが更に理解されるであろう。添付の特許請求の範囲における全ての手段またはステップに機能を加えた要素の対応する構造、材料、作用および均等物は、その機能を、具体的に請求項に記載されている他の請求項に記載の要素と組み合わせるための任意の構造、材料または作用を含むように意図されている。本発明の説明は、例示および説明の目的で提示されており、網羅的であることも、開示した形態の発明に限定されることも意図するものではない。

40

【0065】

50

上記の通り、本発明の範囲および趣旨から逸脱することなく、多くの変更形態および変形形態が当業者に明らかであろう。実施形態は、本発明の原理および実用的な用途を説明するとともに、他の当業者が、考慮されている特定の使用に適するように様々な変更を有する様々な実施形態について本発明を理解することを可能にするために選ばれて記載されている。請求項の範囲は、開示した実施形態および任意のそのような変更を広く包含するように意図されている。

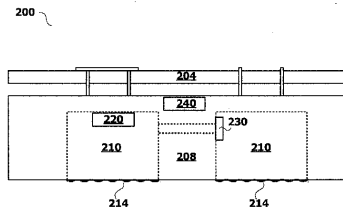
【符号の説明】

【 0 0 6 6 】

1 6 0	制御電子回路	
2 0 0	絶対圧差圧統合型圧力トランスデューサー	10
2 0 2	ノッチ	
2 0 4	回路基板	
2 0 8	変換器本体	
2 1 0	空洞	
2 1 2	フレキシブルケーブルコネクタ	
2 1 4	隔離膜	
2 1 6	圧力ポート	
2 2 0	絶対圧検知素子	
2 3 0	差圧検知素子	
2 4 0	温度センサー	20
4 0 0	質量流量コントローラー	
4 0 2	電源コネクタ	
4 0 4	ディスプレイインターフェース	
4 0 6	通信インターフェース	
4 2 0	入口	
4 2 2	流体通路	
4 2 4	温度センサー	
4 3 0	出口	
4 4 0	層流素子	
4 5 0	流量制御バルブアセンブリ	30
4 6 0	制御電子回路	
5 0 0	質量流量計	

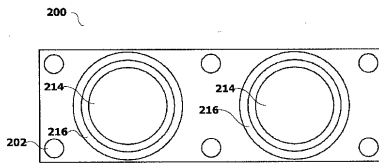
【 図 1 】

FIG. 1



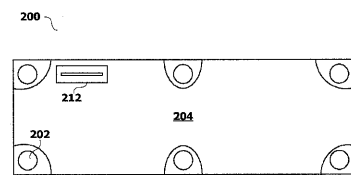
【 図 2 】

FIG. 2



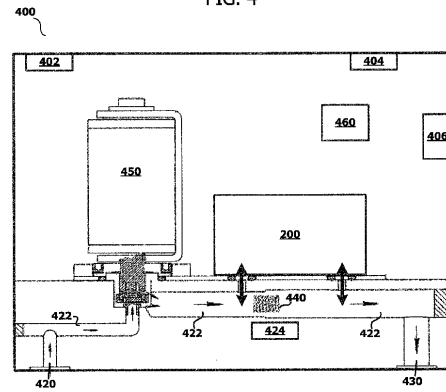
【 図 3 】

FIG. 3



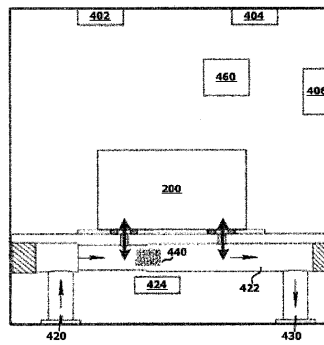
【 図 4 】

FIG. 4



【 図 5 】

FIG. 5



フロントページの続き

(74)代理人 100147555

弁理士 伊藤 公一

(74)代理人 100171251

弁理士 篠田 拓也

(72)発明者 ジョン エム・ラル

アメリカ合衆国, イリノイ 60025, グレンビュー, ハーレム アベニュー 155, シーノ
ー イリノイ トゥール ワークス インコーポレイティド

審査官 山下 雅人

(56)参考文献 実開昭59-106034(JP, U)

特開2004-020524(JP, A)

特開平08-160072(JP, A)

特開2005-291740(JP, A)

特開2004-157719(JP, A)

米国特許第04347745(US, A)

特開2012-002688(JP, A)

特表2013-531791(JP, A)

特開平11-241966(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01F 1/34 - 1/50

G01L 9/00 - 15/00

H01L 29/84