(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3723217号
(P3723217)
(45)発行日　平成17年12月7日(2005.12.7)　(24)登録日　平成17年9月22日(2005.9.22)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G01L 9/12　G01L 9/12
G01L 9/00　G01L 9/00 305H
G01L 9/00 305S

請求項の数 47　(全 20 頁)

(21)出願番号　特願平8-526354
(86)(22)出願日　平成8年2月22日(1996.2.22)
(65)公表番号　特表平11-501123
(43)公表日　平成11年1月26日(1999.1.26)
(86)国際出願番号　PCT/US1996/002522
(87)国際公開番号　WO1996/027123
(87)国際公開日　平成8年9月6日(1996.9.6)
審査請求日　平成15年2月4日(2003.2.4)
(31)優先権主張番号　08/395,778
(32)優先日　平成7年2月28日(1995.2.28)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者
ローズマウント　インコーポレイテッド
アメリカ合衆国　５５３４４　ミネソタ州、エデン　プレイリー、テクノロジー　ドライブ　１２００１
(74)代理人
弁理士　田中　香樹
(74)代理人
弁理士　平木　道人
(72)発明者　エリック，ロジャー　エル.
アメリカ合衆国　５６４５２　ミネソタ州、ハッケンサック、エイチシー７４　ボックス　１４４３

最終頁に続く

(54)【発明の名称】圧力トランスミッタおよび容量性圧力センサの製造方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
プロセス制御ループに圧力を送信するための、プロセス制御システム内で使用する圧力トランスミッタであって、
情報をループに送信するためにループに接続されるトランスミッタ回路（Ｉ／Ｏ）と、
センサから圧力に関する信号を受信し、これに応答して圧力情報を前記ループに送信するように前記トランスミッタ回路を制御する制御回路と、
前記トランスミッタ回路および前記制御回路を収容するハウジングと、
取り付け部材料で形成され、前記ハウジングにセンサを取り付けるためのセンサ取り付け部と、
前記ハウジング内において前記トランスミッタ回路と前記制御回路との間に設けられ、前記制御回路および前記センサ取り付け部側から前記トランスミッタ回路側へ圧力が漏れるのを阻止するプロセス障壁と、
前記センサ取り付け部に取り付けられたセンサとを具備し、
前記センサは、
前記センサ取り付け部の材料とは異なる脆性の耐腐食性材料で事実上作られた細長部材であって、その長手方向における一端部近くが前記取り付け部に結合され、そこを貫通する通路を有し、前記一端部とは反対側の他端部へのマウントストレスを低減する細長部材と、
前記細長部材の前記他端部にあって、プロセス流体圧力に関連する圧力をもつプロセス流

体中に浸され、該プロセス流体圧力に応答して変形する圧力応答部分と、
前記圧力応答部分に結合され、前記細長部材の通路を通る電気的導体により前記制御回路に接続された感知部とを有し、前記感知部および電気的導体は前記細長部材によってプロセス流体から隔離され、
前記制御回路は、前記プロセス障壁で密封されたフィードスルーにより前記トランスミッタ回路へ接続され、
前記細長部材および圧力応答部分が実質上異物を含まない溶融接合を有する圧力トランスミッタ。
【請求項２】
前記細長部材の通路は、基準圧を圧力応答部分へ供給するための空洞を規定する請求項１に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項３】
前記センサ取り付け部に、第２の細長部材、第２の圧力応答部分、および前記制御回路に接続された第２の感知部を有する第２のセンサが取り付けられ、前記圧力情報は差圧に関連する請求項１に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項４】
前記細長部材および前記圧力応答部分は、幅をｗ、厚みをＴとしたとき、ｗ／Ｔが約４．０よりも小さい請求項１に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項５】
前記細長部材および前記圧力応答部分は、幅をｗ、厚みをＴとしたとき、ｗ／Ｔが約２．３よりも小さい請求項４に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項６】
前記細長部材および前記圧力応答部分は、幅をｗ、厚みをＴとしたとき、ｗ／Ｔが約１．０よりも小さい請求項５に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項７】
前記細長部材にインプラント(implant)された電気的導体を含み、前記感知部と前記制御回路の間に電気的接続が与えられる請求項１に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項８】
前記細長部材のプロセス流体にさらされる長さをＬ、最大幅をＷとしたとき、Ｌ／Ｗが約３．０よりも大きい請求項１に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項９】
プロセス制御ループに圧力に関連するプロセス変数を送信するための、プロセス制御システム内で使用する圧力トランスミッタであって、
プロセス制御ループにプロセス流体の差圧に関する出力を送信するトランスミッタ回路を含むトランスミッタ本体と、
単結晶材料からなる第１の基板と単結晶材料からなる第２の基板とを接合することにより形成され、一端部が前記トランスミッタ本体に結合され、前記一端部から他端部の圧力応答部分に延びる貫通通路を有し、前記一端部から他端部の圧力応答部分に加わるマウントストレスを低減し、脆性で耐腐食材料の細長いストレス隔離圧力応答構造体と、
前記ストレス隔離圧力応答構造体の圧力応答部分に結合され、前記プロセス流体からの印加圧力に起因する圧力応答部分の変形に応答して容量性出力を発生する容量性感知部とを具備し、
前記トランスミッタ回路は、前記容量性感知部に接続され、前記印加圧力に関連するプロセス変数を測定し、該プロセス変数を前記プロセス制御ループに応答的に送信し、
前記第１および第２の基板間の接合が、実質上異物を含まない溶融接合であり、前記単結晶材料の強度に実質上等しい接合強度を有し、前記単結晶材料の融点の絶対温度の約６８～９５％の温度で形成される圧力トランスミッタ。
【請求項１０】
前記ストレス隔離圧力応答構造体は、その中に形成される空洞の幅をｗ、厚みをＴとするとき、ｗ／Ｔが約４．０よりも小さい請求項９に記載の圧力トランスミッタ。

【請求項１１】
前記貫通通路が、前記容量性感知部の近くに基準圧を与える請求項９に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項１２】
前記ストレス隔離圧力応答構造体が、そこを通して延在し、接合形成のための温度に耐える電気的導体を含む請求項９に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項１３】
前記電気的導体は、前記ストレス隔離圧力応答構造体にインプラント(implant)された請求項１２に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項１４】
前記ストレス隔離圧力応答構造体の材料はサファイアである請求項１２に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項１５】
プロセス制御ループにプロセス流体の圧力に関連するプロセス変数を送信するための、プロセス制御システム内で使用する圧力トランスミッタであって、
プロセス制御ループにプロセス流体の差圧に関する出力を送信するトランスミッタ回路を含むトランスミッタ本体と、
単結晶および耐腐食性材料で構成され、プロセス流体と結合するために幅ｗおよび厚さＴをもつ細長い構造の圧力応答構造体であって、一端部が前記トランスミッタ本体に結合され、他端部へのマウントストレスを低減する圧力応答構造体と、
前記圧力応答構造体の他端部に結合され、プロセス流体からの印加圧力に起因する前記圧力応答構造体の他端部の変形に応答して容量性出力を発生する容量性感知部とを具備し、
前記トランスミッタ回路は、前記印加圧力に関連するプロセス変数を測定する前記容量性感知部に接続され、前記プロセス変数を前記プロセス制御ループに応答的に送信し、
ｗ／Ｔが約４．０よりも小さく、前記圧力応答構造体が、実質的に異物を含まない溶融接合により接合されている圧力トランスミッタ。
【請求項１６】
前記圧力応答構造体は１より多い基板を含み、基板間の接合は溶融接合であり、単結晶材の強度に実質的に等しい強度を有し、材料の融点に相当する絶対温度の約６８～９５％の接合温度で形成される請求項１５に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項１７】
前記圧力応答構造体中の電気的導体が、前記接合温度より大きな溶融点をもつ請求項１６に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項１８】
前記圧力応答構造体が、そこを通して延びる空洞を含み、前記容量性感知部の近くに基準圧を供給する請求項１５に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項１９】
前記圧力応答構造体に(implant)された電気的導体を含む請求項１５に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項２０】
前記圧力応答構造体は、圧力トランスミッタハウジングに結合された請求項１５に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項２１】
前記圧力応答構造体は、プロセス圧力流体に囲まれかつさらされている請求項２０に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項２２】
前記圧力応答構造体および前記圧力トランスミッタハウジングの間の結合が溶融接合である請求項１５に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項２３】
前記容量性感知部は空洞の間隙の対向面上の導電体ストリップで形成された導電電極を含

む請求項１５に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項２４】
前記導電ストリップは空洞間隙の間隔に実質上等しいか、それよりも小さい幅と間隔を有する請求項２３に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項２５】
前記圧力応答構造体の材料はサファイアである請求項１５に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項２６】
プロセス制御ループにプロセス流体の差圧に関する出力を送信するための、プロセス制御システム内で使用する圧力トランスミッタであって、
プロセス制御ループにプロセス流体の差圧に関する出力を送信するトランスミッタ回路を含むトランスミッタ本体と、
第１のプロセス圧力に結合され、実質上単結晶材料で構成された第１の圧力応答構造体と、
前記第１の圧力応答構造体に結合され、第１のプロセス圧力に対する前記第１圧力応答構造体の応答に関連する出力を発生する第１の感知部と、
実質上単結晶材料で作られ、前記第１の圧力応答構造体をトランスミッタ本体に結合し、前記第１の感知部へのマウントストレスを低減する第１の細長い応力分離部材と、
第２のプロセス圧力に結合され、実質上単結晶材料で構成された第２の圧力応答構造体と、
前記第２の圧力応答構造体に結合され、第２のプロセス圧力に対する前記第２圧力応答構造体の応答に関連する出力を発生する第２の感知部と、
実質上単結晶材料で作られ、前記第２の圧力応答構造体をトランスミッタ本体に結合し、前記第２の感知部へのマウントストレスを低減する第２の細長い応力分離部材とを具備し、
前記トランスミッタ回路は、前記第１および第２の感知部に結合され、第１および第２のプロセス圧力間の圧力差を決定し、両者間の差圧に関する出力を送信し、
前記圧力応答構造体および細長い応力分離部材は、実質上異物を含まない溶融接合で接合された基板により形成されている圧力トランスミッタ。
【請求項２７】
前記第１および第２の圧力応答部材は前記プロセス流体に直接露出され、前記単結晶材料は前記プロセス流体に対して実質上耐腐蝕性を有する請求項２６に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項２８】
前記第１および第２の感知部はコンデンサ電極を有し、出力は圧力に関係した容量である請求項２６に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項２９】
前記第１および第２の圧力応答構造体は、第１および第２の基準圧に結合され、これらの圧力感知構造体は基準圧とプロセス圧との差に応答する請求項２６に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項３０】
前記第１および第２の基準圧は一緒に結合され、互いに等しい請求項２９に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項３１】
前記第１および第２の基準圧はプロセス圧から実質上独立である請求項３０に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項３２】
前記第１および第２の基準圧は事実上真空である請求項３１に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項３３】
前記第１および第２の基準圧が気体を介して伝達される請求項２９に記載の圧力トランス

ミッタ。
【請求項３４】
前記単結晶材料はサファイアである請求項２６に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項３５】
前記第１および第２の圧力応答構造体は、実質上同じ温度に保たれる請求項３４に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項３６】
前記第１および第２の圧力応答構造体は、トランスミッタハウジング内の予定の温度勾配の範囲では、予定のレンジ内の温度差に保たれるように隔離されている請求項３５に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項３７】
プロセス圧のレンジは１０００psiより大きく、差圧レンジは３０psiよりも小さい請求項２６に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項３８】
前記第１および第２の圧力応答構造体の各々は、その全体にわたって事実上同じ温度に保たれる請求項２６に記載の圧力トランスミッタ。
【請求項３９】
請求項１に記載の圧力トランスミッタの製造方法であって、
平坦に研磨された第１の片方の基板を有するサファイアの第１の圧力センサ基板を形成し、
空洞を形成するために、該第１の圧力センサ基板をエッチングし、
前記第１の圧力センサ基板上に第１のコンデンサ板を設け、
第２のコンデンサ板と平坦に研磨された第２の他方の平面を有するサファイアの第２の圧力センサ基板を形成し、
前記第１および第２の圧力センサ基板を加熱し、第１および第２の圧力センサ基板を合わせて溶融接合し、
前記エッチングを熱い$POCl_3$ガスで行うことにより、
前記センサを製造する圧力トランスミッタの製造方法。
【請求項４０】
前記コンデンサ板は、インプラント(implant)される請求項３９に記載の圧力トランスミッタの製造方法。
【請求項４１】
前記第１および第２の圧力センサ基板の加熱は、サファイアの融点絶対温度の６８％～９５％である請求項３９に記載の圧力トランスミッタの製造方法。
【請求項４２】
さらに、前記第１の圧力センサ基板をSiO_2でマスクすることを含む請求項３９に記載の圧力トランスミッタの製造方法。
【請求項４３】
前記第１および第２の圧力センサ基板は、単結晶サファイアである請求項３９に記載の圧力トランスミッタの製造方法。
【請求項４４】
請求項１に記載の圧力トランスミッタであって、
前記センサは、その中に食刻された第１の空洞を有する平坦に研磨された第１の面と該空洞の中に第１のコンデンサ板をもつサファイアの第１の圧力センサ基板と、
第２のコンデンサ板と前記平板に研磨された第１の面に溶融接合される平坦に研磨された第２の面をもつサファイアの第２の圧力センサ基板とを具備し、
前記第１の空洞が熱い$POCl_3$ガスで食刻され、前記平坦に研磨された第１の面が、サファイアの融点絶対温度の６８％～９５％で加熱することにより、平坦に研磨された第２の面に溶融接合される容量性圧力センサである圧力トランスミッタ。
【請求項４５】

前記コンデンサ板が、インプラント(implant)されている請求項４４の圧力トランスミッタ。
【請求項４６】
前記第１および第２の圧力センサ基板が、単結晶サファイアである請求項４５の圧力トランスミッタ。
【請求項４７】
前記第１の圧力センサ基板が、SiO_2でマスクされている請求項４６の圧力トランスミッタ。
【発明の詳細な説明】
発明の背景
本発明はプロセス制御工業に関する。本発明は特に圧力トランスミッタに使用する圧力センサに関する。
プロセス制御の用途に用いられる圧力トランスミッタはプロセスの圧力を測定し、例えば４－２０mA電流ループのような２線式プロセス用途ループを介してその情報を応答的に交信する。トランスミッタ内の圧力センサは、典型的には、印加圧力に応答して移動する偏向ダイアフラムを備えた適宜の型の圧力応答構造を有する。これらの構造は絶対圧および差圧の両方の測定に採用できる。ここで差圧センサは、比較的広い絶対圧の範囲に亘って比較的小さい差圧（流管に配置されたオリフィスの両端に生ずるか、あるいは流体を充填したコンテナ内の違った高さ位置間に生ずるような）を測定するセンサである。差圧を測定するための従来の代表的なトランスミッタにおいては、２つの違った圧力が前記構造の両側に加えられて測定対象の構造に相対的な変形を生じさせる。前記変形の測定は、例えば、前記構造に保持されたコンデンサ電極の移動に基づく静電容量の変化を測定することにより、あるいは抵抗歪みゲージの抵抗の変化を検知することによって行なわれる。
非常に高精度の絶対圧センサが待望されてきたが、例えば０．４psiから４０００psiまでという広い圧力範囲に亘って正確な出力を与えることができるような絶対圧センサを実現することは困難であった。２つの絶対圧センサを用いて差圧を測定することもまた望ましいことである。何故ならば、この方が、１つの差圧センサに２つの圧力を機械的に結合するよりは機構的にずっと簡単になるからである。さらにそのような差圧センサでは、過大圧が差圧センサに損傷を与えることがある。
しかし、４０００psiaというような大きさの静圧またはライン圧に耐えなければならない装置において、０．４psiから４０psiの測定範囲で差圧を十分な精度で測定できるような絶対圧センサを得ることは困難であった。例えば、４psidの０．０１％は４０００psiaの０．００００１％（10^{-7}すなわち０．１ppm）を必要とする。
プロセス制御用途に使用される既知の代表的な圧力センサは、温度のような外的（無関係な）パラメータに対する不所望な応答がユニット毎に異なるのみならず、被測定圧に対する感度もユニット毎に異なる。このために、２つの絶対圧またはゲージ圧センサの出力が組合わされて差圧を表わす出力を発生する場合や、センサが広い圧力範囲に亘って使用される場合に特有の問題を招来する。加えて、センサをトランスミッタに組み込む際に生ずる機械的ストレスによって、圧力測定に比較的大きな誤差が生ずる。
発明の概要
プロセス制御の用途において、プロセスループに圧力信号を伝送するための圧力トランスミッタは絶対圧センサを含んでいる。絶対圧センサは内部に空洞を有し、前記空洞の壁が印加された圧力に応答するとき、前記壁が変形したり、ストレスを受けたりする。圧力センサはストレスを隔離するための支持構造を含む。空洞の壁に結合されたセンサが圧力に関連した出力信号を発生する。１つに実施例においては、センサおよび支持構造は互いに一体化されており、センサ構造および支持構造の間には結合部が存在しない。圧力センサの材料および寸法は、圧力に関連する信号が非常に正確であり、かつ広い圧力範囲に亘って使用でき、また対にして差圧センサとしても利用できるように選定される。
【図面の簡単な説明】
図１は圧力トランスミッタの断面図である。

図２は圧力センサを支持するインサートの一部破断斜視図である。
図３は圧力センサの断面斜視図である。
図４は本発明の動作を示すグラフである。
図４Ａは圧力センサのストレス減衰とＬ／Ｗの関係を示すグラフである。
図５は、ｌ／Ｔが１．０の場合の、圧力センサの１／４の変位を示す図である。
図６は本発明の他の実施例の断面図である。
図７は圧力センサの断面図である。
図８は図７の圧力センサの断面図である。
図９は図７の圧力センサの上部基板の上面図である。
図１０は図７の圧力センサの下部基板の上面図である。
図１１は圧力センサの容量測定回路を示す図である。
図１２はセンサ本体の断面図である。
図１３は図１２のセンサ本体の底面図である。
図１４はセンサ本体の断面図である。
図１５は図１４のセンサ本体の底面図である。
図１６～１６Ｇは本発明の種々の実施例の断面形状を示す図である。
図１７Ａおよび１７Ｂはコンデンサ電極の２つの実施例を示す図である。
図１８は融点温度のパーセントで表わした接合温度と材料強度のパーセントで表わした接合強度との関係を示すグラフである。

好ましい実施例の詳細な説明

図１はトランスミッタ本体５２と、センサ本体５４およびフランジ５５を有する圧力トランスミッタ５０を示す。センサ本体５４はプロセス流体の絶対圧Ｐ１およびＰ２をそれぞれ測定する圧力センサ７０Ａ、７０Ｂを含む。トランスミッタ本体５２は、４－２０mA電流ループのような２線プロセス制御ループを介して圧力Ｐ１、Ｐ２に関する情報を送信するトランスミッタ（Ｉ／Ｏ）回路６０を含む。回路基板５７はセンサ回路基板５８をセンサ７０Ａ、７０Ｂに接続し、圧力Ｐ１、Ｐ２に関する電気信号を受信する。センサ回路基板５８上の回路はこれらの信号をデジタル化して処理し、圧力情報をデータバス６２を用いてトランスミッタ回路６０に伝送する。インサート６７Ａ、６７Ｂがセンサ７０Ａ、７０Ｂを支持する。プロセス障壁７１が空洞７５を形成し、インサート６７Ａ、６７Ｂに不具合を生じたときに圧力Ｐ１、Ｐ２がセンサ本体５４から漏れるのを防止する。空洞７５は真空にされるか、または不活性ガスを充填される。フィードスルー７３Ａ、７３Ｂ、７３Ｃが回路基板５７、５８間の障壁を貫通する電気的通路を提供する。

図２はセンサ７０Ａを支持するインサート６７Ａの切断斜視図である。ある実施例ではインサート６７Ａはアルミナである。さらにセンサ７０Ａはハウジング５４に比べて小さく、熱的変動を減らすようにセンサ７０Ｂに比較的近接して配置され、これによって精度が改善される。このことは、センサの熱的時定数がハウジングの熱的時定数よりも遥かに小さく感知素子内の温度勾配を最小にすることによって達成される。

図３には本発明の１実施例によるセンサ７０Ａを示す。センサ７０Ａはそれらの間に空洞７６を形成する上部基板７２と下部基板７４を含む。図３には感知空洞の偏向構造の全長Ｌ、厚みＴ、幅Ｗ、空洞の最小幅ｗ、および印加圧力Ｐによる偏向ｙが示される。

従来技術による代表的なセンサの、正確に感知できる最大／最小圧力比は約１００対１である。これは主として、構造における再現不能誤差およびノイズによって制限される。さらに従来技術のセンサは、センサ素子の弾性の不完全性、応力分離の不適正さ、および信号対ノイズ比の悪さなどによっても制限される。例えば、金属ベースの圧力センサはヒステリシスや材料の漸動クリープ（creep）、緩和（relaxation）などの問題を含んでいる。セラミックベースの圧力センサは、典型的には、シリコンガラスと結合した結晶のマトリックスで作られ、やはり前記の問題を有している。

ガラスベースのセンサには、ガラスの相変化や粘性に基づく不安定性の問題がある。単結晶材料は非常に優れた弾性特性を有し、このような材料で作ったセンサは改善された精度を有すると考えられてきた。単結晶ダイアフラムを備えたセンサが使用されてきたが、そ

れらは典型的な内部与圧による高い引っ張り応力にさらされていた。加えて、この型の代表的なセンサはガラスまたは金属構造の素子を含み、かつガラスフリット、半田、またはエポキシのような低強度の結合剤が使用されている。さらにこれらの型のセンサは不適切な応力分離を有するものが多かった。

さらにまた代表的な従来のセンサには、過大圧に対する保護機構と共に使用するために、シリコン油のような充填油が使用されてきた。充填油はまた、圧力センサに耐腐蝕分離ダイアフラムを結合する際にも使用される。これらのセンサは充填油の喪失に起因する事故に遭遇することがある。代表的な従来技術による分離ダイアフラムは金属で作られ、粒子や腐蝕性材を圧力センサから隔離するように使用されてきた。これらのダイアフラムは、誤差を最小にするためには薄くなければならないが、そうするとダイアフラムが特に破壊されやすくなり、その寿命が制限される。さらに用途が違えば違ったダイアフラム材料が要求されるので、広く共通に使用できる金属は存在しない。

本発明は単結晶材料で構成された圧力感知構造を提供する。材料内の結合は溶融接合によって行われるので、それらは不正確性を招くような異物を事実上含まない。構造物は、当該構造物に圧力を印加するプロセス流体によって取り囲まれるかもしれない。これは、構造物が耐腐蝕材で作られるために可能になる。脆性材料は圧縮によって変形され、これが高い加工ストレス対誤差ストレス比を与え、したがって高い信号対ノイズ比を与える。その理由は、脆性材料が張力に対してよりも圧縮に対して強いからである。

この構成によって、センサは外部表面の腐蝕に感応し難くなる。何故ならば、その出力が厚みの３乗に依存する度合いが少なくなり、むしろ厚みに対して直線的に正確に依存するからである。構造物をプロセス流体中に配置すると、隔離ダイアフラムおよび充填剤が省略されるので信頼性が改善される。長手方向軸を長くすると応力の分離が実現され、また前記軸が同じ単結晶材料で作られると誤差の低減に役立つ。電気リード線は長手方向軸を通して配設され、プロセス流体から絶縁される。前記軸を通る通路はまた基準圧を供給するのにも使用できる。ある実施例では、サファイアのような耐腐蝕材料が使用され、充填油や分離ダイアフラムを省略できるような内部センサが採用される。

またある実施例では、整合したセンサが差圧測定のためにデュアル（２重）センサとして使用される。これは２つのセンサに共通の誤差を低減するのに有用である。容量の感知は、安定した低ノイズの信号を与えるので好ましい。コンデンサは生来的な熱的ノイズを有せず、高いゲージファクタを有していて相応の大きな出力を発生し、これが電子的検知回路のノイズ効果を最少にする。コンデンサはまた優れた零安定性および非常に低い零温度係数を有する。上述の各ファクタにより、２つの独立の感知素子を用いる差圧トランスにおいて遭遇される高圧センサの非常に僅かな圧力変化を検知することが実用化される。改良された圧力分解能が電子回路の使用によって実現される。

ダイアフラムの実効的な最少幅をｗとし、その厚みをＴとすると、ダイアフラムの屈曲による偏向ｙがw^3/T^2に比例すること、すなわち$y \propto w^3/T^2$となることは既知である。それ故にセンサ出力は寸法の変動に大幅に依存する。

ダイアフラム内の剪断応力による偏向がw^2/Tに比例すること、すなわち$y \propto w^2/T$であることも既知である。これは出力対センサ寸法の変動を減少させるが、この変動は以下に定義する“バルク”偏向に頼ることによってさらに減少される。

空洞７６の偏向ｙは曲げ偏向、剪断偏向および“バルク”偏向の効果に依存するであろう。Ｗ／ｗが２より大きい定数であると仮定すると、これは次のように表わされる。

$$y/w = K1\ P/E + K2\ P/G \cdot W/T + K3\ P/E \cdot (W/T)^3 \quad \cdots \quad 式1$$

ここで、

ＫＩ＝材料の“バルク”偏向定数、

Ｋ２＝材料の剪断偏向定数、

Ｋ３＝材料の屈曲偏向定数、

Ｗ＝センサの幅、

Ｐ＝外部圧力、

ｙ＝印加電圧Ｐによる空洞７６の中心部の偏向、

ｗ　＝空洞７６の幅、
Ｔ　＝センサ７０のスロット（空洞）７６位置での厚み（方形断面、Ｔ＝Ｗ／２の場合）
ｔ　＝空洞７６の深さ、
Ｌ　＝センサの幅Ｗおよび厚みＴよりも大幅に大きいセンサの長さ、
Ｅ　＝ヤング率、
Ｇ　＝剪断率である。
式１は、空洞７６の剪断および屈曲偏向が空洞の幅ｗおよびセンサの厚みＴに依存することを示している。
本明細書にいう“バルク”偏向は、ｙが空洞７６の幅ｗに正比例する（すなわち、ｙ∝ｗ）場合の式１のＫ1 Ｐ／Ｅの項である。それ故にバルク偏向は非常に正確であり、圧力の決定に好ましいものであり、さらに腐蝕によって惹起されるような厚みＴの変動とは実質上無関係である。本発明の１特徴によれば、センサの全偏向のうちのバルクモード偏向成分が増加するような寸法をもった圧力センサが提供される。
図４は式１のグラフであり、全偏向およびそれぞれの偏向成分（バルク偏向、剪断偏向および屈曲偏向）を示している。ｗ／Ｔが１から４の範囲では、剪断偏向が全偏向を支配する。ｗ／Ｔが小さくなると、剪断偏向の寄与はバルク偏向に比較して少なくなる。ｗ／Ｔが１よりも小さいと、バルク偏向は印加圧力によるセンサ７０Ａの全偏向に対して支配的に寄与するファクタとなる。それ故に、本発明の１特徴は、約１に等しいか、またはそれよりも小さいｗ／Ｔ比（空洞の幅と外表面から内表面までの厚みとの比）を有する圧力センサを含む。剪断偏向が屈曲偏向より大きいためには、ｗ／Ｔは４．０より小さくなければならない。ある実施例では、ｗ／Ｔの比は（０．０５≦ｗ／Ｔ≦１．０）である。ｗ／Ｔの最小値は、ｗがいかに小さく作られ得るかによって決まり、一方不正確さは、Ｔが大きく作られる時の熱勾配によって決定される。
センサ内の引っ張り応力を最小にすることは、それがセンサの割れやひびによる破損の可能性を低減するので望ましい。本発明の１特徴は、センサを被測定圧力で取り囲み、かつ流体静力学的な圧縮応力が引っ張り屈曲応力を超えることができるようにセンサの寸法を適当に決めることを含む。応力は一般に相加的であるので、全構造体は圧縮状態に保たれる。このことはｗ／Ｔが約２．３よりも小さい時に起こる。
センサ７０Ａの応力分離もまた達成される。センサ７０Ａをハウジング５４に装着することによる応力がセンサに加わる力（印加圧力による力の他に）の原因となり、圧力測定に誤差をもたらすことになる。細長い構造は装着による応力の影響を減少させて差圧の正確な測定および広い動作スパンを可能にする。一般的に、センサの長さが増加すると、装着応力は取り付け部の末端で減衰する。好ましい圧力誤差を実現するには、いかなる装着応力誤差も長さＬに亘って十分に減衰されなければならない。
図４Ａは、図３のセンサに付いて、応力の減衰とＬ／Ｗとの関係を示すグラフである。縦軸は、装着応力による被測定応力（$\sigma_{MEASURED}$）に対する装着点における応力（σ_{MOUNT}）の比を示す。装着応力の変化（$\Delta\sigma_{MOUNT}$は、圧力センサでの装着応力の変化（$\Delta\sigma_{MEASURED}$）に起因して圧力測定に誤差をもたらす。ある実施例では、４ｐｓｉの圧力を測定する際に、装着応力による誤差を4×10^{-4}ｐｓｉより小さくしなければならないので、０．０１％の精度が要求される。装着応力の減衰が4×10^{-4}ｐｉｓ／４００ｐｓｉ＝10^{-6}でなければならないとすると、典型的な$\Delta\sigma_{MOUNT}$の値は４００ｐｓｉである。図４Ａに示すように、この条件はＬ／Ｗが約４の時に満足される。差圧測定に２つのセンサが使用され、それらが１０％以内の精度に整合されているある実施例では、$\sigma_{MEASURED}$／σ_{MOUNT}がファクタ１０で減少されてＬ／Ｗが約３になる。ある実施例では、Ｌ／Ｗは３～５である。
図５はセンサ７０Ａの変位のプロットを示す断面図である。この図はセンサ７０Ａの断面の１／４を示している。この場合のセンサの厚みＴは空洞の幅ｗにほぼ等しい。４５００ｐｓｉの印加圧力Ｐでセンサ７０Ａを変位させた。図５の例では、偏向の約半分は剪断張力によるものであり、他の約半分は“バルク”偏向によるものである。これは図４に示されており、ここでは剪断偏向とバルク偏向とが合致している。もしもセンサ７０が完全に

バルクモード圧縮状態にあるならば、圧力が印加されたとしても、センサ７０は矩形状を維持したままになるであろう。形状の歪みは主として剪断偏向によるものである。
図６は、幅ｗの空洞１２５を形成する長手方向部分１２２および端部分１２４を有するセンサ１２０の断面図である。ある実施例では空洞１２５は方形である。寸法Ｔ、ＷおよびＬは図３にも示されている。端部分１２４はコンデンサ電極１２８を支持し、これが部分１２２に持された電極１２６と共にコンデンサを形成する。導線１３０、１３２がそれぞれ電極１２６、１２８に接続される。圧力Ｐが空洞１２５を変形させ、これによって電極１２６、１２８間の容量を変化させる。
図７は圧力センサ２００の断面図である。圧力センサ２００は上部基板２０２および下部基板２０４を含む。ホール２０３が基板２０２を貫通して延び、空洞２０５内の電気導体への接続を提供する。図８には上部保護導体２１０、上部コンデンサ導体２１２、上部保護導体２１４、下部保護導体２１６、下部コンデンサ導体２１８、下部保護導体２２０が示される。図９は基板２０２の上面図であり、基板２０２の下側にある電気導体が透視されるように図示されている。同図には、導体２１２に接続されており、かつ導体２１４および２１０に接続された保護導体２２４によって取り囲まれたコンデンサ電極２２２が示される。図９にはまた、基板２０２を貫通してそれぞれ導体２１０、２１２まで延びているバイアス（vias）２０３、２２６も示される。
図１０は下部基板２０４の上面図であり、基板２０４の下側に支持された電気導体が透視されるように図示されている。この例では、基板１０４はサファイアである。同図には、コンデンサ電極２２２と容量的に相互作用するコンデンサ電極２２８が示される。電極２２８は電気的な保護体２３０および温度センサ２３２によって取り囲まれている。保護導体２３０は電極２２８を浮遊容量から遮断し、一方温度センサは温度に依存してその抵抗値が変化する。これがセンサ２００の温度測定値を与え、温度に対して圧力測定値を補償してより高い精度を与える。接合は、直接溶融接合として知られた溶融接合または、平坦な研磨表面が互いに突き合わされ、加熱されて接合されるウエファ接合が好ましい。
Sio_2マスクを用いて９００～１１００度Ｃの$POCL_3$ガスでエッチングが行なわれる。出来上がった結晶構造物が接合の後で実質的連続体となるように、基板の結晶構造を整列させるのが望ましい。さらに溶融接合はできるだけ融点に近い温度で行なわれるべきである。このためには、電極材料が高い溶融接合温度に耐え得るものでなければならない。例えばクロム、タングステン、タンタル、プラチナ、およびイリジュームなどは１３００度Ｃから１７００度Ｃの接合温度を可能とするので、接合強度を最大にし、かつ結晶内の不連続性を修復することができる。典型的な接合時間は約１時間である。他の導体としては珪化モリブデンのような金属珪化物が含まれる。
差圧センサの場合は、２つのセンサ間の温度差が誤差の原因になるであろう。許容できる性能のためには、温度差が約１度Ｆより少ないことおよび、それが約０．１度Ｆより高い精度で測定できて補償できることが必要である。代表的な用途では、このためには、センサの間隔を０．５インチ以下にする必要があるであろう。
感知素子内の温度勾配もまた誤差の原因となるであろう。許容できる性能のためには、センサの内側と外側の温度差が約０．００１度Ｆより少ないことおよび、複数のセンサが正確に整合していることが必要である。代表的な用途においては、約０．２５インチよりも大きいセンサの幅または厚みはセンサの整合に法外な要求を突き付けることになるであろう。
図１１は、圧力に応答するコンデンサＣ1、Ｃ2をその内部に具備した２つの絶対圧センサを用いて差圧を感知するための回路２５０の概略図である。各圧力センサはそれぞれ、トランスミッタ５０のアース接地２５３に接続されたコンデンサを形成する保護電極２５２を含む。このようにしてトランスミッタのハウジングは、容量信号を安定化し、かつ電気的ノイズが回路に結合されるのを防止するための遮蔽すなわち保護を提供する。さらに保護電極はセンサの外側表面または図１に示したセラミックインサートの内表面に形成されることができる。他の場所でアース接地に接続されている４～２０mA回路を収容するために電気的絶縁を行うことができる。

コンデンサＣ1は矩形波発振器２５４で駆動され、コンデンサＣ2は矩形波発振器２５６で駆動される。低ノイズ差動増幅器２５８の負入力はコンデンサＣ1およびＣ2の非駆動電極に接続され、前記差動増幅器２５８の正入力は接地電位に接続される。差動増幅器２５８の出力はコンデンサＣＩを介して負帰還され、負入力へ流入またはそこから流出するコンデンサの電荷ΔＱを受ける。差動増幅器２５８の出力は容量差を表わす矩形波であり、Ａ／Ｄ変換器２６０によってデジタル形に変換される。回路２５０内でのΔＱは次の式２で表わされる。

$\Delta Q = V_{ppIN}（C1－C2）$　…　式２

また増幅器の出力は式３で表わされる。

$V_{ppOUT} = \Delta Q / CI = V_{ppIN}（C1－C2／CI）$　…　式３

ここでＣＩは最大の差圧のときに（Ｃ1－Ｃ2）／２にほぼ等しくなるように、例えば１pFに設定されなければならない。さらに、製造上のばらつきを補償するためには、各センサに対して別個にゲイン調整することが望ましい。さらに共通モードまたはライン圧力に起因する出力の変動に対して補償するためには、Ｃ1、Ｃ2または（Ｃ1＋Ｃ2）を個別に測定する回路が含まれなければならない。容量出力を検知する回路は、本発明と共に譲渡された「電荷バランス帰還測定回路」と題する米国特許第５０８３０９１号の明細書に開示されている。

変換器２６０の出力はインターフェース回路２６２に供給される。インターフェース回路２６２は４～２０mA電流ループ２６４に接続され、Ａ／Ｄコンバータ２６０からのデジタル信号をデジタルまたはアナログのどちらかの形式で電流ループ２６４に供給する。インターフェース２６２はまたループ２６４から回路２５０に電力を供給する。さらにインターフェース２６２はHART（登録商標）通信標準に準拠したような命令を受信することもできる。

図１２および１３は、圧力センサ２００Ａおよび２００Ｂを支持するセンサ本体３００を具備した他の実施例を示す。図１２はセンサ本体３００の側断面図であり、図１３は本体３００の底面図である。本体３００は、プロセス障壁７１を貫通しているフィードスルー７３Ａ、７３Ｂおよび７３Ｃを通る導線によって接続された回路基板５７および５８を含む。センサ２００Ａおよび２００Ｂはアルミナインサート３０２内に支持される。プロセス障壁７１は、真空に引かれるか、または不活性ガスを充填されたチャンバ７５を形成する。溝３０４がアルミナインサートの回りに形成されて熱的絶縁および応力に対する絶縁を提供する。取り付け孔３０６は、本体３００を導管（図示せず）に結合するのに用いられる。他の実施例では、センサおよびトランスミッタ本体の間の接合は溶融接合である。

図１４および１５はアルミナインサート３１４を保持する中央殻（シェル）３１２を含むセンサ本体３１０を示す。センサ２００Ａおよび２００Ｂは、ASICチップ３１６をも支持しているアルミナインサート３１４内に装填される。ASICチップ３１６は回路基板５７と同じ機能を果たす。溝３１８はインサート３１４およびセンサ２００Ａ、２００Ｂに対するストレス分離を提供する。プロセス障壁３２０は殻３１２を遮蔽し、プロセス流体に対する第２の障壁を形成する。殻３１２内の空洞３２２は真空にされるか不活性ガスを充満される。フィードスルー３２４はASICから回路基板３２６への電気接続の通路を提供する。図３に示した構造は、センサ本体３１０に殻３１２を溶接する前にセンサ組み立て体がテストされることを可能にする。高温の処理（センサをアルミナインサートにロー付けするような）は、センサ組み立て体をハウジングに取り付ける前に行なわれることができる。

本発明のある実施例では、圧力センサの各部寸法は次の表１の通りである。

表　1

部位	寸法（範囲）	好適値
T	０．０２～０．２インチ	０．０５インチ
L	０．１５～１．５インチ	０．６インチ
W	０．０２～０．２インチ	０．１インチ
w	０．０１～０．１インチ	０．０５インチ
空洞厚みｔ	５×１０$^{-6}$～１×１０$^{-4}$インチ	０．０００００２インチ
ｙ（４５００psiでの空隙の偏向）	２×１０$^{-6}$～５×１０$^{-5}$インチ	０．０００００１２インチ

代表的なセンサの容量は、ゼロpsiのとき４２pFである。
ある実施例では、圧力センサのパラメータは後記の表２の通りである。
図１６Ａ～１６Ｇは本発明の１特徴を備えた圧力センサの断面図である。１６Ａ図はすべての内角が９０度である方形（短形）構造を示す。図１６Ｂはすべての内角が６０度である６角形センサ構造を示す。２つの内角が６０度、他の２つの内角が３０度である菱形構造が図１６Ｃに示される。図１６Ｄのすべての内角が６０度である三角形構造を示す。図１６Ａ～Ｄに示した構造は、サファイア結晶の面に沿ったものであるので、サファイアに適した構造である。図１６Ｅは、矩形部分３４４に丸形部分３４２が結合され、矩形部分３４４には空洞３４６が形成されたセンサ３４０を示す。図１６Ｆは空洞が丸形部分内に形成された他の型の実施例を示す。図１６Ｇに示すような、両方とも丸形であるような種々の変形が可能である。丸形断面は、丸い孔にきっちりと適合し、丸いＯ－リングで封止されることができる点で望ましい。それらは方形基板をダイアモンド研磨車で加工して作られる。
図１７Ａ、１７Ｂはコンデンサ電極の形状の例を示す図である。僅かな間隙を有する容量式圧力センサでは、電極の不安定性が誤差の原因となる。残留応力が圧力センサ構造を反らせる。さらに電極表面の寸法変化が前記間隙の寸法ｔを変化させる。このような変化は、対向表面の酸化、還元、または原子のマイグレーションによって惹起されることがある。図１７Ａ、１７Ｂはこの問題の解決手法の例を示すもので、コンデンサ電極がストリップ状に分割され、全体としては一体の電極と事実上等しい容量を持つようにされている。例えば、もし基板が間隙部の１０倍の誘電率を有するとすれば、間隔は間隙寸法の約１０倍であり、幅は前記間隙寸法よりも小さくすることができる。これにより、センサ構造を反らせる原因となる材料の量が減少する。
さらに大部分の電束が電極の背後から現れるようにストリップを構成することができる。電極の背後はサファイアと接触しているので表面効果から保護され、例え内側表面の寸法

が変化したとしても安定した静電容量を示すであろう。図１７Ａ、１７Ｂは電極の背面から出る電束の量を増加させる構造の２つの例を示している。この実施例の変形としては、各電極の上に配置されてこれらを遮蔽する保護電極（２９８）を設けることがある。これらの電極は互いに隔離されているが、それらの相対的寸法および間隔の故に連続のコンデンサ電極と等価である。

ある実施例では、コンデンサ電極は基板の表面にインプラントされる。これは、電極を保護し、かつ容量の経年変化の大きさを減少させることにより、電極に安定性を与える。サファイア基板は２００KeVのエネルギレベルで、Ｖイオンによって濃度1×10^{18}イオン／cm^2にドープされる。これはサファイアの非常に高い抵抗を約１５Ω／sqまで変化させる。インプラント処理は殆どのＶイオンを本来のサファイア表面の下約１０００オングストロームのところに集中させる。インプラントされた電極３００の例が図１７Ｂに仮想線で示される。

図１８は接合温度（融点の％で示す）と接合強度（材料強度の％で示す）との関係を示すグラフである。最高の安定性と精度のためには、センサ構造が一体物のように挙動するように、可能な限り材料強度に近い接合強度を持たせるのが望ましい。本発明の１実施例では、接合温度は、図１８に符号３５０で示す範囲である。圧力センサにはサファイア、水晶、シリコンなどが使用でき、それらの融点はそれぞれ２０５０度Ｃ、１７２３度Ｃ、１４１５度Ｃである。図１８に示した所望温度範囲３５０は前記融点の絶対温度の約６８％から上である。ある実施例においては、接合温度は融点温度の約９５％を超えてはならない。ここで使用される好ましい溶融接合は、下側の結晶材料の強度と実質上同じ強度を有し、かつ接合内に異物が事実上混入しないような加熱処理によって形成されるようなものである。

本発明は好ましい実施例を参照して説明されたが、当該分野の技術者は発明の精神および範囲から逸脱することなしに形式および詳細において変更ができることを認識するであろう。単結晶材料はサファイア、水晶、ルビーおよびダイアモンドなどを含む。一般的に、これらは低ヒステリシス材料であって、高い安定性を持ち、したがって低いクリープ性（creep）を呈する。一般に融点の高い材料はより安定性があるので、サファイアは１つの好ましい材料である。センサの空洞は真空にされたり、流体やガスを充満されたりできる。電極は金属、金属酸化物または不純物半導体のような導体を含むことができ、水晶（石英）のような絶縁性誘電体材で保護されることができる。他の実施例においては、応力分離構造が多結晶材料で形成される。さらに接合処理は圧接状態ででも、または非圧接状態ででも可能である。

表　2

項　目	ゼロ (0　psi)	フルスケール (4500　psi)	スパン (4500　psi)
ギャップ（中央での） （μ　インチ）	20	11．25	8．75
ギャップ（実効平均） （μ　インチ）	20	12．37	7．63
センサ容量（寄生容量なし） （pF）	42．2	68．2	26．0
寄生容量 （　保護遮断なし； 0．6インチ長さとして） （pF）	1．97	1．994	0．024
センサ 温度係数 （PSI／C） [ppm／C]	−0．059 −13．1	0．534 118．6	0．593 131．7

【図１】

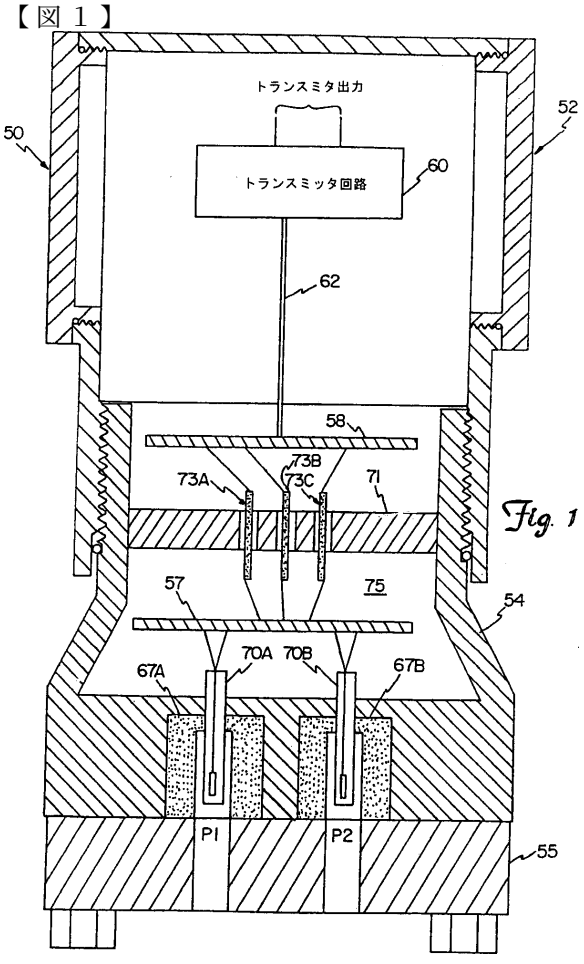


Fig. 1

【図２】

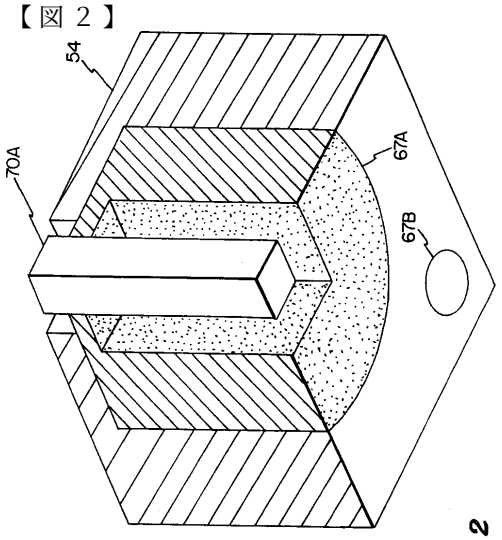


Fig. 2

【図３】

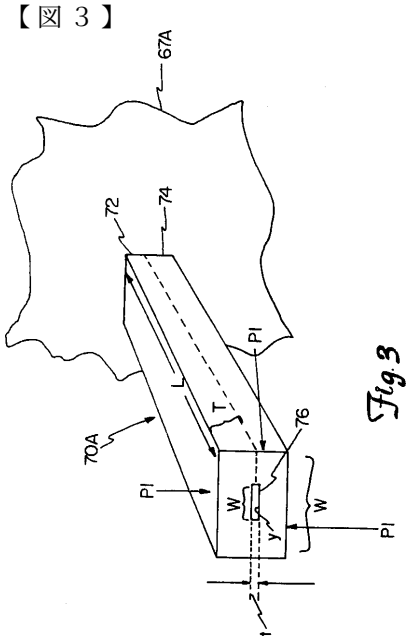


Fig. 3

【図４】

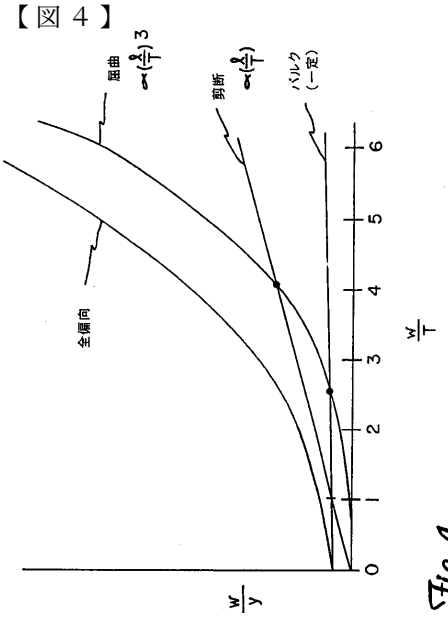


Fig. 4

【図４Ａ】

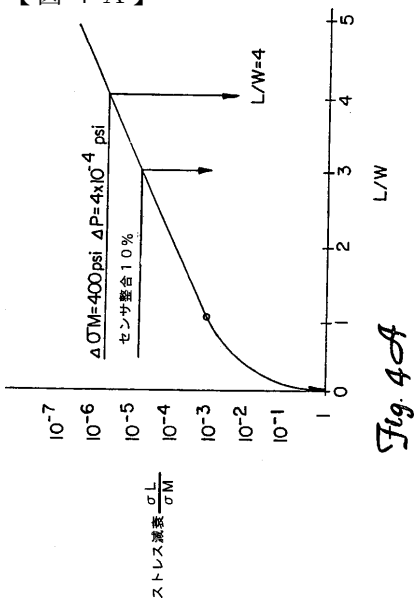


Fig. 4A

【図５】

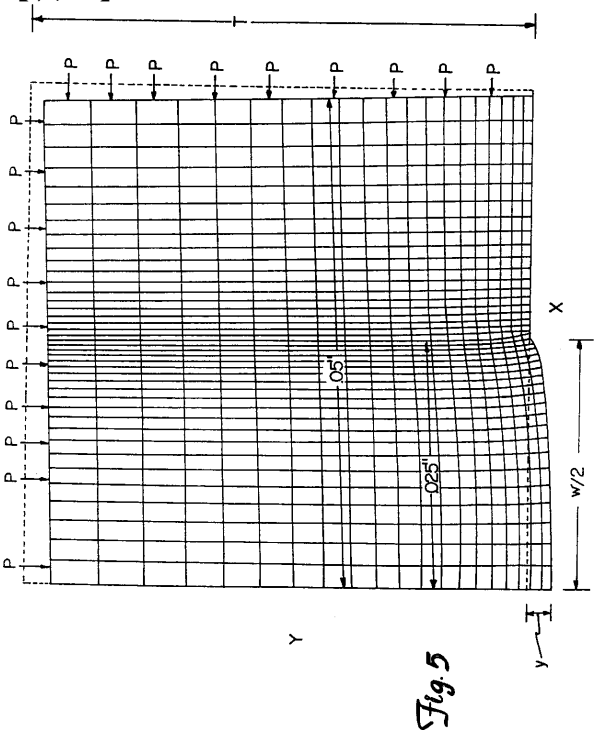


Fig. 5

【図６】

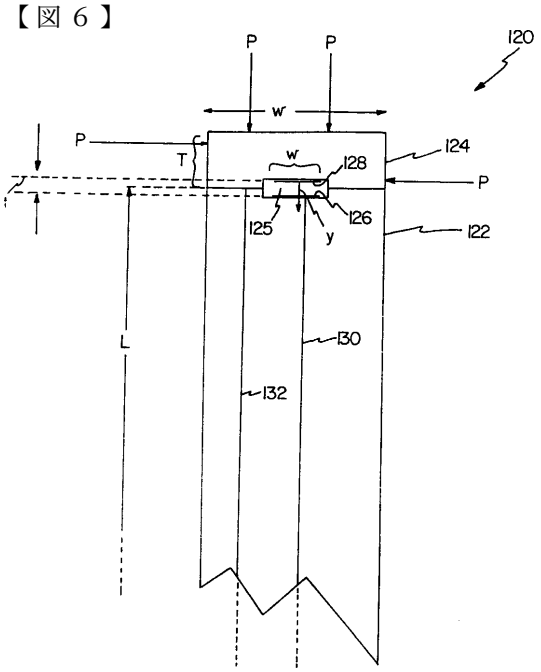


Fig. 6

【図７】

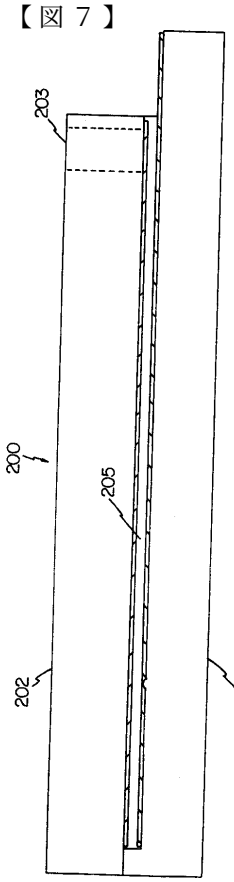


Fig. 7

【図８】

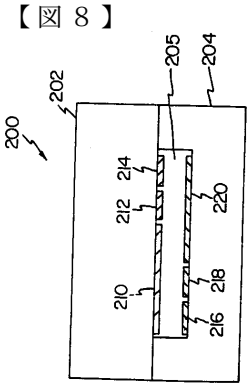


Fig. 8

【図９】

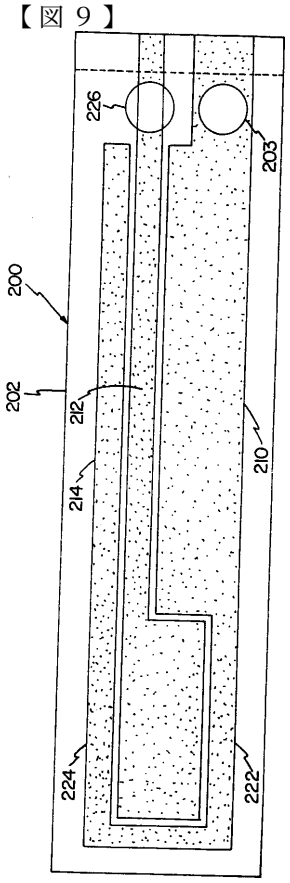


Fig. 9

【図１０】

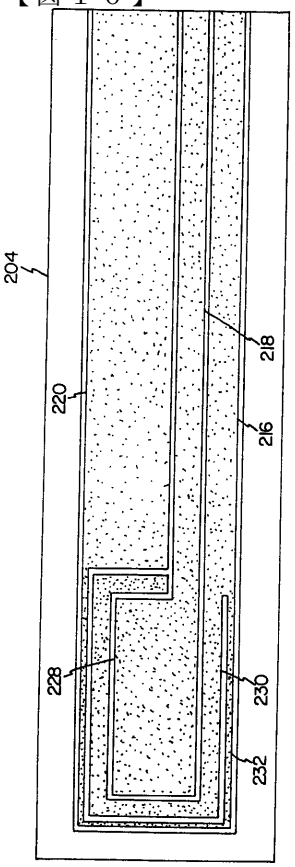


Fig. 10

【図１１】

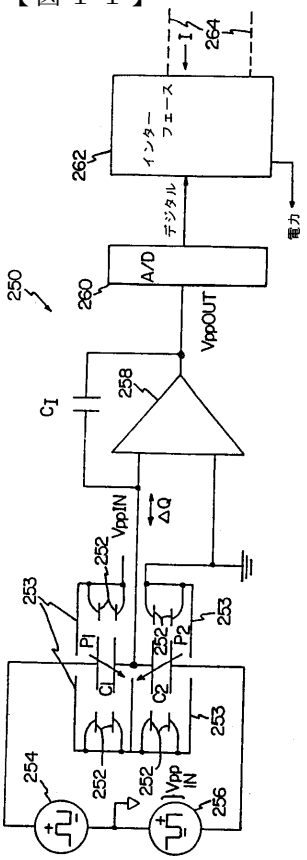


Fig. 11

【図１２】

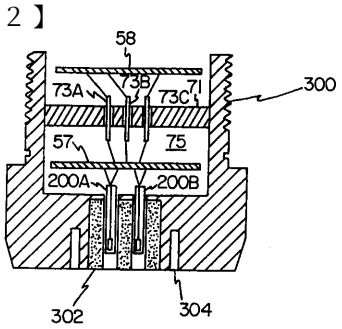


Fig. 12

【図１３】

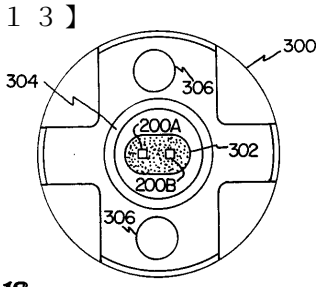


Fig. 13

【図１４】

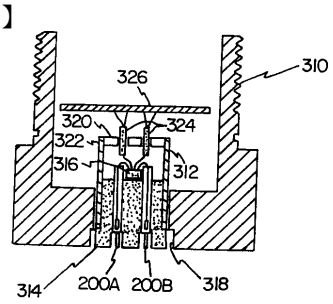


Fig. 14

【図１５】

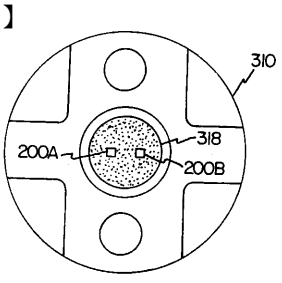


Fig. 15

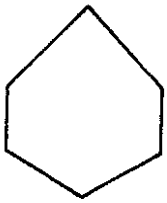
【図１６Ａ】

Fig. 16A



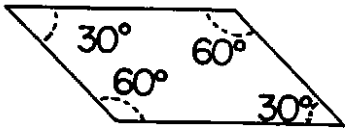
【図１６Ｂ】

Fig. 16B



【図１６Ｃ】

Fig. 16C



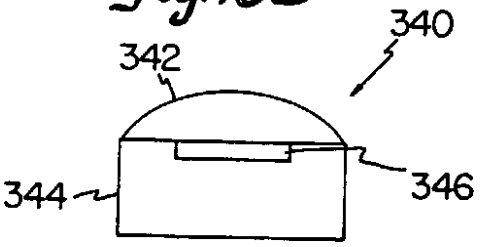
【図１６Ｄ】

Fig. 16D



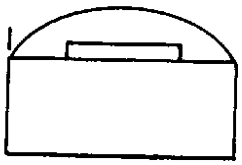
【図１６Ｅ】

Fig. 16E



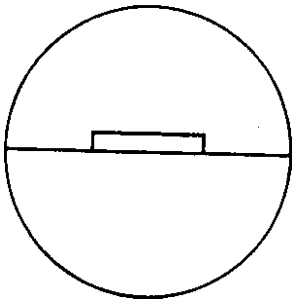
【図１６Ｆ】

Fig. 16F



【図１６Ｇ】

Fig. 16G



【図１７Ａ】

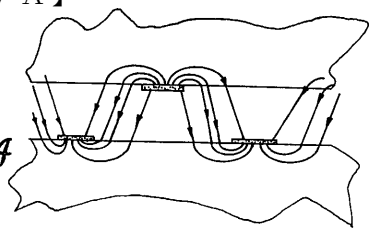


Fig. 17A

【図１７Ｂ】

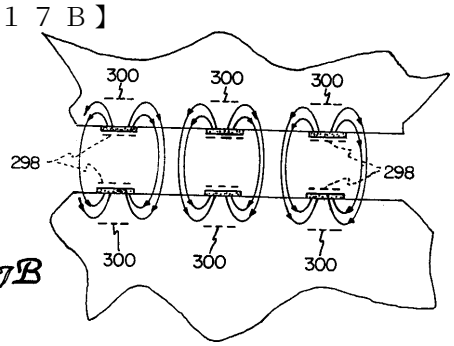


Fig. 17B

【図１８】

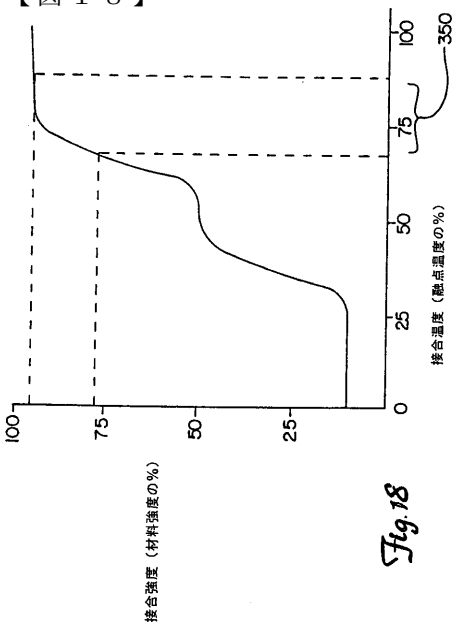


Fig.18

フロントページの続き

(72)発明者　ローワギー，ベネット　エル.
アメリカ合衆国　５５４４１　ミネソタ州、プリマス、ユニオン　テラス　レイン　ノース　２１１
(72)発明者　トイ，エイドリアン　シー.
アメリカ合衆国　５５３４７　ミネソタ州、エデン　プレイリー、クラーク　サークル　９６９２

審査官　鈴野　幹夫

(56)参考文献　特開平０７－０４９２７７（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２２６６７４（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２６５４２８（ＪＰ，Ａ）
特表平０７－５０５９５０（ＪＰ，Ａ）
特表平０５－５００１０６（ＪＰ，Ａ）
特表平０９－５０３０５７（ＪＰ，Ａ）
特表平０９－５０３０５６（ＪＰ，Ａ）
特表平０１－５０３３２６（ＪＰ，Ａ）
特表平０８－５００９０２（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０５０５００３４（ＵＳ，Ａ）
国際公開第９３／０２１５０６（WO，Ａ１）
国際公開第９５／００８７５９（WO，Ａ１）
国際公開第９５／００８７５７（WO，Ａ１）
国際公開第９４／００５９８８（WO，Ａ１）
特開平０４－１０６４４２（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２３１９７５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01L 9/12
G01L 9/00 305