

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4083239号
(P4083239)

(45) 発行日 平成20年4月30日 (2008. 4. 30)

(24) 登録日 平成20年2月22日 (2008. 2. 22)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 L 11/00 (2006. 01)

GO 1 L 11/00 Z

GO 1 L 21/10 (2006. 01)

GO 1 L 21/10

請求項の数 15 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願平10-543231	(73) 特許権者	マックス・ブランク・ゲゼルシャフト ツ ール フェルデルングデル ヴイツセンシ ャフテン エー ファウ ドイツ連邦共和国、デー―80539 ミ ュンヘン、ホーフガルテンシュトラ―セ 8
(86) (22) 出願日	平成10年3月19日 (1998. 3. 19)	(74) 代理人	弁理士 鈴江 武彦
(65) 公表番号	特表2001-517313 (P2001-517313A)	(74) 代理人	弁理士 村松 貞男
(43) 公表日	平成13年10月2日 (2001. 10. 2)	(74) 代理人	弁理士 橋本 良郎
(86) 国際出願番号	PCT/EP1998/001621	(74) 代理人	弁理士 白根 俊郎
(87) 国際公開番号	W01998/043058		
(87) 国際公開日	平成10年10月1日 (1998. 10. 1)		
審査請求日	平成17年3月7日 (2005. 3. 7)		
(31) 優先権主張番号	19711874.7		
(32) 優先日	平成9年3月21日 (1997. 3. 21)		
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 箔マノメータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガス媒体の圧力を測定するための、圧力測定装置であって、
キャリア箔（11）と、
このキャリア箔（11）の下側に層として支持され、測定されるガス媒体と熱的に接触し、自身の電気抵抗値がガス媒体の圧力に対応する少なくとも1つの電氣的に加熱可能な測定抵抗体（131）と、
前記キャリア箔（11）の上側に支持され、高熱容量の熱バスとして機能する熱接触層（121）と、
前記測定抵抗体（131）に対向する領域内に前記測定されるガス媒体を収容するように、前記熱接触層（121）に形成された第1の測定凹所（122）と、
前記キャリア箔（11）と前記第1の測定凹所（122）との間の、前記熱接触層（121）の部分により形成され、熱接触層（121）よりも薄い厚さを有する測定熱伝導層（123）と、
この測定熱伝導層（123）の上側に設けられ、前記第1の測定凹所（122）内で、測定されるガス媒体と接触する吸収層（124）と、
前記キャリア箔（11）の下側に設けられて、前記測定抵抗体（131）と離間し、かつ電氣的に接続されて、抵抗測定ブリッジ回路の一部を測定抵抗体と共に構成する少なくとも1つの基準抵抗体（136、236）とを具備し、
熱流が、前記測定抵抗体（131）から、前記第1の測定凹所（122）内のガス媒体へ

10

20

と、キャリア箔（１１）、測定熱導伝層（１２３）、並びに吸収層（１２４）を通して流れる、圧力測定装置。

【請求項２】

層の形態で、前記キャリア箔（１１）の前記下側に設けられ、前記測定抵抗体（１３１）と基準抵抗体（１３６）とを電氣的に接続する接続リード（１３２）と、前記熱接触層（１２１）と、前記キャリア箔（１１）と、前記接続リード（１３２）とを囲んでいるパッケージ（１４）と、このパッケージ（１４）の上側に形成され、前記第１の測定凹所（１２２）へと延びた少なくとも１つの第１のガス媒体入口ダクト（１４１）と、前記パッケージ（１４）の下側に、前記測定抵抗体（１３１）と対向するように形成され、第２のガス媒体入口ダクト（１４２）を有する第２の測定凹所（１３３）とを更に具備する請求項１の圧力測定装置。

10

【請求項３】

層の形態で、前記キャリア箔（１１）の前記下側に設けられ、前記測定抵抗体（１３１）と基準抵抗体（２３６）とを電氣的に接続する接続リード（１３２）と、ガス媒体を収容するように、前記熱接触層（１２１）に形成された第１の基準凹所（２２２）とを更に具備し、前記熱接触層（１２１）は、前記第１の基準凹所（２２２）と、基準抵抗体（２３６）との間の部分により、基準熱伝導層（２２３）を形成し、この基準熱伝導層（２２３）は、前記熱接触層（１２１）よりも薄い厚さを有する、請求項１の圧力測定装置。

20

【請求項４】

前記基準熱伝導層（２２３）は、前記測定熱伝導層（１２３）よりも厚い厚さを有する請求項３の圧力測定装置。

【請求項５】

前記第２の測定凹所と、第２の基準凹所（２３３）とが、前記接続リードよりも薄い厚さの測定抵抗体と、基準抵抗体とを与えることにより、形成されている請求項２の圧力測定装置。

【請求項６】

前記抵抗測定ブリッジ回路は、ホイートストンブリッジ回路である請求項１ないし５のいずれか１の圧力測定装置。

30

【請求項７】

前記抵抗測定ブリッジ回路のブリッジ出力電圧 V_B は、測定されるガス媒体の圧力の測定値である請求項１ないし６のいずれか１の圧力測定装置。

【請求項８】

前記測定抵抗体と基準抵抗体との少なくとも一方は、加熱抵抗体と熱的に接触し、この加熱抵抗体の加熱パワーは、ブリッジ出力電圧 V_B が一定となるように、かくして、加熱抵抗体の加熱パワーが測定されるガス媒体の圧力の測定値であるように、制御され得る請求項１ないし７のいずれか１の圧力測定装置。

【請求項９】

前記抵抗測定ブリッジ回路は、交流電圧で動作されるようになっている請求項１ないし８のいずれか１の圧力測定装置。

40

【請求項１０】

前記キャリア箔（１１）は、マイカで形成されている請求項１ないし９のいずれか１の圧力測定装置。

【請求項１１】

前記測定抵抗体と基準抵抗体とは、層状の蛇行形状で配置された細線により形成されている請求項１ないし１０のいずれか１の圧力測定装置。

【請求項１２】

多数対の測定抵抗体と基準抵抗体とがマトリックス状に配置されている請求項１ないし１１のいずれか１の圧力測定装置。

50

【請求項 1 3】

前記マトリックス状の配置は、部分的圧力測定に適したフォイル形式の可撓性マノメータを形成している請求項 1 2 の圧力測定装置。

【請求項 1 4】

前記測定熱伝導層（1 2 3）と基準熱伝導層（2 2 3）との少なくとも一方の上には、熱補償層（1 2 5）が設けられ、この熱補償層（1 2 5）のディメンションは、前記測定熱伝導層もしくは基準熱伝導層から熱接触層への指数関数的な放熱を与えるように設定されている請求項 3 もしくは 4 の圧力測定装置。

【請求項 1 5】

前記熱補償層（1 2 5）は、前記測定もしくは基準熱伝導層（1 2 3, 2 2 3）よりも厚い厚さを有する請求項 1 4 の圧力測定装置。

【発明の詳細な説明】

本発明は、熱伝導マノメータとして動作される圧力測定装置、並びにこの種圧力測定装置を使用して圧力を測定する方法に関する。

平均自由行程長が容器のディメンションと比較可能であるときに、低圧での気体の特別な熱伝導率は、気体の圧力に依存しており、このことは、圧力を測定するための熱伝導マノメータで利用されている。最も単純な場合、熱伝導マノメータは、測定される気体の中に入れられる自己支持抵抗ワイヤーを有する。この抵抗ワイヤーは、一定の電力で加熱される。そして、気体粒子の平均自由行程長が、ワイヤーの径のディメンションに達したときにすぐに、気体の熱伝導率は、圧力に対応するようになる。圧力が低下するのに従って、気体により伝導される熱流は、低くなり、この結果、ワイヤーの温度は、一定の加熱パワーでの圧力に依存する。低圧限界以下で、気体を通る放熱は、伝導もしくは熱放射による放熱と比較して無視され得るので、伝導される熱流は、圧力とは独立し、かくして、抵抗ワイヤーの温度は、一定となる。

このワイヤーの温度は、ワイヤーの抵抗値から決定され得る。ピラニマノメータにおいて、抵抗値は、1つの抵抗体が測定抵抗ワイヤーにより形成され、かつ測定抵抗ワイヤーと同じデザインの基準抵抗値が一定の圧力下で動作されるホイートストンブリッジにより測定される。

ピラニマノメータとしてデザインされた熱伝導マノメータは、一般的に、以下の欠点を有する。可能な限り径を細くすることによって、可能な限り初期圧力を高くする抵抗ワイヤー（上述）は、一般に、比較的高い抵抗値の材料（例えば、タングステンもしくはモリブデン）により形成されている。このような高抵抗材料は、単に、直流によって測定ブリッジ回路の動作を可能にしている。さらに、電磁障害による影響は大きく、これは、プラズマ物理実験では特に欠点となっている。従って、一般のピラニマノメータで制限がある。さらに、自己支持抵抗ワイヤーを備えたデザインのマノメータは、機械的ストレス並びに受ける通風に敏感である。最後に、コンパクトなデザインではない一般のピラニマノメータを設置することは、これらマノメータの使用が真空プラントの動作での特別ではない圧力測定に一般的に制限されることを意味する。

例えば、US 5, 557, 972、DE-OS 4 31 032 4、並びに DE-OS 4 41 334 9 から知られている他の熱伝導マノメータは、上述したワイヤーの形態の代わりに平坦な層の形態の測定抵抗体を有する。このような抵抗マノメータは、比較的高い感度を呈するが、動的応答性と機械的安定性の面に欠点がある。高い感度を得るために、測定抵抗体をマノメータの他の部分から断熱する方法がある。これにより、測定される気体と測定抵抗体との間の熱均衡を設定するためには比較的高い時間を必要とし、この結果、熱均衡を設定するための時間よりも短い時間の圧力変動が測定され得ない。従来の熱伝導マノメータにおいて、測定抵抗体は、半導体技術で形成される膜により製造され（測定抵抗体とキャリアー膜との厚さは約 1 μm ）、このことは、機械的感度が極めて高いことを意味する。従って、層の形態の測定抵抗体を使用した従来の熱伝導マノメータのデザインは、センサーを小形にするのには限度がある。このことは、また、圧力測定の感度が低下することにもなる。

10

20

30

40

50

D E - O S 4 3 0 8 4 3 4 は、規格化された熱伝導マノメータでの温度補償のための電気回路を開示している。

本発明の目的は、広範囲での使用が可能で、特に小型で障害の影響を受けないようにデザインされ、高精度で動作され得る改良された圧力測定装置を提供することである。

この目的は、請求項 1 の態様を有する圧力測定装置により達成される。本発明の効果的な構成は、従属請求項によっている。

本発明は、熱伝導の原理に基づく圧力測定装置で、従来の構造とは別に層構造体を使用するアイディアに基づいており、少なくとも 1 つの測定抵抗体と熱伝導層とがキャリア箔に層状に配設されている。

前記熱伝導層は、熱バス（高熱容量）として機能する熱コンタクト層に接続されており、かくして、圧力測定装置の他の部分への測定抵抗体の所定の熱的カップリングとして機能する。かくして、従来の熱伝導マノメータとは異なり、本発明は、熱伝導層内で測定抵抗体からの規定された放熱を果たす手段を形成している。熱伝導層は、また、キャリア箔が金の熱伝導性に比較され得る十分な熱伝導性を呈するのであれば、キャリア箔の一部であり得る。

本発明のデザインは、第 1 の時間において、測定抵抗体の熱均衡の設定の加速を果たし、応答時間を早くし、かくして、非常に早い圧力変化（k H z のオーダ）の検出を可能にする。

熱伝導層を装着する他の効果は、圧力測定装置のフィードバック動作を可能にすることである。図 2 を参照して以下に説明されるこのフィードバック動作は、測定抵抗体が直接的もしくは間接的な加熱により規定された方法で変更されることを、例えば、一定の温度に設定されることを意味する。必要な加熱パワーが放熱に、かくして媒体の圧力に依存することを考慮すると、瞬間的な圧力値は、加熱パワーから直接決定され得る。熱源（可能であれば、特別な加熱抵抗体）の影響を受ける測定抵抗体と、ヒートシンクとして機能する熱伝導層との温度上の均衡は、所望の温度範囲で非常に早く設定され得る。

可能ならば吸収層並びに／もしくは表面構造体を有する熱伝導層と、測定抵抗体もしくはキャリア箔とは、測定抵抗体から媒体への熱流が大部分で層を垂直に通るようにディメンションが決定されている。熱伝導層の追加は、測定抵抗体と測定される媒体との間の温度勾配の規定された設定を可能にする。本発明の好ましい構造において、測定抵抗体は、キャリア箔の一側に設けられ、また、熱伝導層は、測定抵抗体と対応する領域で他側に設けられている。しかし、他の層のシーケンスは、測定抵抗体から熱伝導層を通して媒体に流れる実質的に垂直な放熱を可能にし、この結果、圧力測定装置の感度もしくは応答時間が決定される。キャリア箔の反対側で、測定抵抗体は、媒体と直接接触するか、吸収層を支持する（単一もしくは 2 重の層）。

本発明に係わる圧力測定装置は、ブリッジ回路を備えたピラニマノメータとして好ましくは動作される。第 1 の実施の形態において、同じデザインの測定抵抗体と基準抵抗体とが、互いに離れてキャリア箔に設けられ、後者は、良熱伝導性のブロックの形態で設けられており、これは、測定抵抗体がキャリア箔に配設され、また基準抵抗体が配設されたキャリア箔の領域の周りで形状的に合った領域内で、測定される媒体を収容する凹所を有する。かくして、基準抵抗体は、熱バス（非常に高い熱容量）に全体的に接続されており、この結果、温度のいかなる圧力依存性変化をも受けない。

本発明の第 2 の実施の形態において、説明されているデザインは、測定抵抗体と同様に基準抵抗体もキャリア箔の自己支持領域に配置されるように変更されている。この場合、基準抵抗体は、熱バスにより囲まれてはおらず、測定される媒体と熱的に接触するようにもたらされている。この圧力測定装置は、上述したように、キャリア箔、測定抵抗体、並びに熱伝導層からなる層構造を備えたセンサー部分と、基準抵抗体、キャリア箔、並びに熱伝導層からなる層構造を同様に備えた基準部分とを有する。これらセンサー並びに基準部分は、同じ機何学的形状を有することが好ましいが、これらの熱伝導層は、厚さは異なる。かくして、以下のように、区別が、第 2 の実施の形態に関連して、基準熱伝導層とセンサー熱伝導層との間でなされている。この基準熱伝導層は、センサー熱伝導層より

10

20

30

40

50

も好ましくは厚い（例えば、約4ないし5倍）。好ましい構造において、測定抵抗体は、基準抵抗体と同様に（基準加熱抵抗体）、別の加熱抵抗体（センサーか熱抵抗体）を有し得る。

本発明に係わる圧力測定装置は、機械的安定性が増したマノメータのデザインを可能にしている。これは、測定もしくは基準抵抗体と環境との熱的カップリングを改良するための方法によっている。従って、安定したキャリアフィルム箔を有する新規なデザインが得られる。このデザインは、換気動作に十分に耐えられ、また、層構造を有する従来の抵抗マノメータと比較して大きいセンサー領域を可能としている。これは、また、圧力測定装置の感度を高めている。

また、本発明の層構造は、圧力測定装置の圧力感知センサー部分の小形化を可能にしている。本発明の他の実施の形態において、多数の圧力測定装置が、圧力の測定における位置感知分解能のための熱伝導マノメータにおいてマトリックスのように構成される。

本発明の装置の効果的な使用において、圧力プロフィールは、例えば、容器の所定の領域内でリニアもしくはフラットに配設された多数の圧力センサーを使用して媒体で検出され、また、全ての圧力センサーの圧力値の同様の検出のために意図されている。

本発明の詳細は、添付の図面を参照した以下のことから与えられる。

図1は、本発明に係わる圧力測定装置の第1の実施の形態の概略的な断面図である。

図2は、本発明に係わる圧力測定装置を作動させるブリッジ回路を説明するためのブロック図である。

図3は、圧力に対するブリッジ出力電圧曲線図である。

図4は、多数のセンサーを備えた本発明に係わる熱伝導マノメータのキャリア箔の前方の概略図である。

図5は、図3に係わる熱伝導マノメータのキャリア箔の後方の概略図である。

図6は、蛇行構造の測定抵抗体の拡大図である。

図7は、熱伝導層の異なる構造を示す概略的な断面図（A-D）である。

図8は、本発明に係わる圧力測定装置の第2の実施の形態の概略的な断面図である。

第1の実施の形態

図1は、本発明に係わる圧力測定装置の第1の実施の形態の概略的な断面図である。明確にするために、この図は、実際の寸法では示されていない。以下の説明において、圧力測定装置、即ち、図1に示す個々の層状要素の上側が前と称され、下側が後ろと称されている。これは、本発明に係わる圧力測定装置の所定の部品の配置に関して、前方もしくは後方で限定することを意味しているのではなく、漠然とした表示である。熟練者は、動作状態における前方は、容器の内部に関してのモノメータの無差別に向けられた側であることは、理解できるであろう。

本発明に係わる圧力測定装置は、センサー部分10（破線のアウトライン）を有する。このセンサー部分10は、自己支持キャリア箔11を有する。この箔の前側には、熱コンタクト層121が設けられ、また、後ろ側には、測定抵抗体131を有する抵抗体並びにリード層130が設けられている。測定抵抗体131と中心を同じとしかつ反対側で、熱コンタクト層121は、凹所122を有し、ここからの延出部が、所定の厚さの薄い熱伝導層123となっている。この熱伝導層123の前側で、凹所122の中には、測定される媒体と接触する吸収層124が配置されている。この吸着層の取着は絶対的な本質ではない。本発明に係わる圧力測定装置は、また、凹所の底に設けられた前記熱伝導層のみが、吸収層がなくて側方に接続する熱コンタクト層121の関連して設けられるように、デザインされ得る。この熱伝導層をデザインするための可能性は、図7Aないし7Dを参照して後で説明される。前記キャリア箔11の後ろ側には、層状の測定抵抗体131に加えて、層状のリード132が配置されている。

キャリア箔11と、これに取着された熱コンタクト層121と、熱伝導層123と、測定抵抗体131と、リード層132とからなる前記層構造は、パッケージ14（ハッチングで概略的に示されている）により囲まれている。このパッケージ14の前側には、ガス入口、即ち、換気ダクト141が形成されており、これを通して測定される媒体が前記凹

10

20

30

40

50

所内に入り得る。また、パッケージ 14 の後ろ側で、主に測定抵抗体 131 の延びた領域には、凹所 133 が形成されている。この凹所のディメンション（特に、層の面に平行な方向）は、前記凹所 122 と対応している。測定される媒体は、また、センサー部分 10 の後ろ側の部分に、別の換気ダクト 142 を通って入り得る。このことは、センサー部分への機械的ストレスを減じる効果がある。前記換気ダクト 141, 142 は、キャリア箔 11 の平面に垂直な基準線に対して傾斜するように配置されている。このことは、電磁放射線（特に熱放射線）に対するセンサー部分のシールドを果たしている。圧力測定装置の特別なデザインにおいて、キャリア箔の後ろ側の凹所 133 は、省略され得る（後で説明する）。

圧力補償のための凹所 133 と測定抵抗体とを備えたキャリア箔の後ろ側の圧力測定装置のデザインは、以下の形態のうちの 1 つに選定され得る。第 1 の例において、測定抵抗体を備えたキャリア箔の領域は、測定されるガスと直接に接触するように露出されている。熱抵抗値の改良は、測定抵抗体に吸収層（図示せず）を加えることにより得られる。吸収層が電氣的に絶縁体の場合には、蛇行形状の測定抵抗体とこれらの間のキャリア箔の自由領域とを直接覆う。また、吸収層が電氣的に導体の場合には、電氣的な絶縁層が測定抵抗体と吸収層との間に設けられる。さらなる例（図 1 に示す）において、測定抵抗体と加熱抵抗体 135 との間に、機能が後で説明される絶縁層 134 が設けられる。

前記パッケージ 14 は、熱良導性の材料で形成されている。このパッケージ 14 は、キャリア箔 11 により支持された全層構造体を強固にクランプしている。測定抵抗体 131 並びに熱伝導層 123 の領域で、層構造体は、自己支持している。電氣的に加熱された測定抵抗体 131 からの熱は、主に熱伝導層 123 を通って、パッケージ、並びに圧力 P が測定される周囲の媒体へと伝えと、所定の方法で伝えられる。この媒体は、大気圧以下の圧力を有する気体である。前記測定抵抗体 131 は、圧力に依存している気体を介しての熱伝達により温度 T (p) に加熱される。測定抵抗体の温度係数により、その抵抗値 R (p) もまた、圧力に依存している。

図 1 に係われば、各基準抵抗体 136 は、測定抵抗体 131 並びに接続リード 132 と同一平面に配設されているが、測定される気体とは熱的に接触していない。基準抵抗体 136 の代わりに、直接の圧縮全表面が、パッケージ 14 とのしっかりとした熱接触となり、かくして電磁放射線並びに気体粒子に対して十分にシールドされる。このことは、電氣的に加熱される基準抵抗体 136 の温度がパッケージの温度（ヒートバス）と同じであり、圧力には依存していないことを意味する。

キャリア箔 11 と熱伝導層 123 とを通る測定抵抗体 131 からの熱伝導は、規定された幾何学的パラメータの仮定のもとで、以下のように示される。尚、キャリア箔 11 と熱伝導層 123 とは、1 つの熱伝導層とみなされ得る。前記幾何学的パラメータは、キャリア箔 11 の厚さ d₁₁ と、熱伝導層 123 の厚さ d₁₂₃ と、熱伝導層 123 の（即ち凹所 122 のベース領域の）表面の側方長さ a 並びに b とを、特に含む。測定される気体への段階状衝撃の後に、熱伝導層の温度は、以下ようになる。

$$\langle T \rangle (t) \approx \frac{f(P_0)}{F \langle K \rangle} \cdot \sum_m \sum_n \frac{1}{(mn)^2} \cdot \frac{1}{\lambda_{mn}} \cdot (1 - e^{-\lambda_{mn}} \cdot \frac{\langle K \rangle}{\langle c \rangle} \cdot t)$$

ここで、f (p₀) は、基準圧力 p₀ のための校正可能な熱除去容量、< K > は、キャリア箔 11 と熱伝導層 123 との伝導率の平均係数、< c > は、キャリア箔 11 と熱伝導層 123 との平均熱容量、そして、< T > (t) は、熱伝導層の領域全体に渡っての平均温度である。また、添字 m, n は、所謂、熱状態のモードを示す自然、奇数である。以下の式に係わる数値 λ_{mn} は、熱伝導層 123 の側方長さ a, b に依存している。

$$\lambda_{mn} = \pi^2 \left[(m/a)^2 + (n/b)^2 \right]$$

かくして、所定のモードナンバー m, n のための以下の式で表される時間定数は、熱伝導層（キャリア箔を備えた）の幾何学的形状と、固有熱容量と、熱状態とに依存する。

10

20

30

40

$$\tau_{mn} = (1/\lambda_{mn}) \cdot (<c>/<\kappa>)$$

これらの量を通じて、測定抵抗体 1 3 1 と、測定される媒体との間の熱流の所望の時間定数を設定するとが可能である。代表的な時間定数 τ_{11} は、1 ms ないし数百 ms の範囲にあり、例えば、側方長さ $a = 0.1 \text{ cm}$ 、 $b = 0.3 \text{ cm}$ 、並びに、熱伝導層の異なる厚さ d_{123} に対するキャリア箔の厚さ $10 \times 10^{-6} \text{ m}$ の場合には以下の値を有する。

$$\begin{aligned} d_{123} = 1 \mu\text{m} : & \quad \tau_{11} = 5.4 \times 10^{-3} \text{ s}, \\ d_{11} = 0.1 \mu\text{m} : & \quad \tau_{11} = 38.9 \times 10^{-3} \text{ s}, \\ d_{11} = 10 \mu\text{m} : & \quad \tau_{11} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

均質な熱伝導層においては、モードは、比較的高い m 、 n 値に対して早く減少し、この結果、モード = 1、 $n = 3$ （もしくは、これの逆）は、例えば、基本モードの約 15% のみである。

熱的特性は、熱補償層もしくは吸収層が加えられる場合には、より複雑になる。かくして、所定のパラメータの設定は、固体において利用可能な数値の主ミレーション方法を使用してなされる。熱補償層の厚さは、熱伝導層 1 2 3 の厚さよりも厚く（代表的には 50 ないし 100 のファクター）、一般に選定される。

温度依存性抵抗値 $R(p)$ の検出は、2 つの測定抵抗体 2 1（1 3 1 に対応）と、2 つの基準抵抗体 2 2（1 3 6 に対応）とにより構成されたブリッジ回路を有するピラニマノメータの場合でのように、好ましくはなされる。これら基準抵抗体 2 2 は、測定抵抗体 2 1 と同じデザイン（同じ材料、同じ幾何学的形状）ではあるが、これらの温度が圧力を夫々独立して設定するように第 1 の実施の形態では形成されている。また、前記基準抵抗体も、これらが測定抵抗体よりも大きい抵抗値を有するように、設定され得る。この大きい抵抗値は、以下の考察の結果である。

ブリッジ供給電圧 V_{ac} が印加されたときに、測定抵抗体の抵抗値 (R) は、 $\Delta R_{Mesa} = (\alpha/2) \times (\tau/c) \times V_{rms}^2$ （ここで、 V_{rms} は V_{as} の実効値、 α は温度係数、 τ は測定箔の時間定数、そして、 c は測定箔の温度容量である）。基準抵抗体は、パッケージにより、パッケージ温度に維持されており、かくして、これらの抵抗体値は変化しない ($\Delta R_{Ref} = 0$)。ブリッジは、これが全くされないか僅かに調節され得るように ΔR_{Mesa} により誤調節 (mistune) される。このために、 ΔR_{Ref} は、 V_{rms} が印加されたときに、均衡するように、完全な状態に対して、 ΔR_{Mesa} だけ大きくなるように選定される。 τ は、数的に計算され得る。

図 2 に係わるブリッジ回路は、AC 電圧とロック・イン (f が 100 kHz へと高い) で動作される。図示の実施の形態において、2 対の測定並びに基準抵抗体 2 1、2 2 は、後ろへと動作される。しかし、また、1 対の測定並びに基準抵抗体は、ブリッジ配列のために固定基準抵抗体に変更され得る。正弦波ブリッジ出力電圧 V_B の振幅変調 ΔV_B は、温度に対する最小依存性 ($d\Delta V_B/dT$) に対して、圧力に対する高い依存性 ($d\Delta V_B/dp$ 最大) を呈する。第 1 の測定方法において、ブリッジ回路の抵抗体は、動作電圧 V_{ac} で一定の熱パワー（周期的、例えば、正弦波熱電流）が供給され、また、圧力が適当な矯正の後に、測定されたブリッジ出力電圧 ΔV_B から検出される。

代わって、直接の加熱に加えて、測定抵抗体から媒体への熱流を部分的もしくは全体的に補償するために、特別の加熱抵抗体 2 3（図 1：測定抵抗体 1 3 1、加熱抵抗体 1 3 5）により間接的に（第 2 の実施の形態を参照）各測定抵抗体 2 1 もしくは基準抵抗体 2 2 を加熱することが可能である。この測定方法において、可変電流が、ブリッジ出力電圧 ΔV_B が一定になるように、加熱抵抗体 2 3 に与えられる。かくして、この加熱抵抗体 2 3 の加熱パワーは、測定抵抗体から測定される気体への熱伝導の、かくして気体の圧力の直接計量である。

このマノメータのフィードバック動作に加えて、加熱抵抗体は、また、インターフェイス信号、ドリフト、もしくは放射性放射（“核”加熱）による加熱の加熱並びに／もしくはブリッジの均衡化のために機能する。フィードバック動作は、システムのスペクトル帯域（周波数の機能）を大きくすることを可能にする。感度のロス、ロック・インにより補

10

20

30

40

50

償される。フィードバックは、ブリッジ出力電圧 ΔV_B に比例した、測定抵抗体 21 もしくは基準抵抗体 22 上の加熱抵抗体 23 の加熱パワーを選定することにより、実行される。自身の比例ファクターは、周波数に依存してか依存しないで選定され得る。フィードバック制御での周波数に依存した比例ファクターは、臨界周波数以上の周波数に対する感度の低下を防ぐ効果を奏する。

測定ブリッジの校正は、夫々の種類の気体が固有の粒子移動度を、かくして固有の熱伝導を有するので、気体に対して特別にできる。振幅変調ブリッジ出力電圧 ΔV_B は、好ましくは、ロック・インによりなされる。しかし、DC 電圧で動作するブリッジ回路の変更もある。

図 3 は、2 つの異なるモノメータ (I, II) のための測定される気体圧力に対するブリッジ出力電圧 ΔV_B の依存性の例を示す。この測定は、動作気体として空気を使用してなされた。

図 1 に係わる圧力測定装置のデザインは、例えば、以下の材料とディメンションとを使用して可能である。キャリア箔 11 は、絶縁材料、好ましくはマイカ（白雲母）で形成されている。代わって、ダイヤモンド箔の使用が可能であり、これは極めて高い熱伝導性を示す。また、キャリア箔 11 は、導電性材料、好ましくは、Siウエハ材料、高品位スチール、もしくはニッケルにより形成され得、この場合には、抵抗体並びに接続リードを支持する箔側には、絶縁介在層が設けられる。キャリア箔 11 の厚さは、約 $15 \mu\text{m}$ である。一般的に、このようなキャリア箔 11 は、高温でさえも膨張しない、安定かつ平坦な材料で形成される。特に、キャリア箔の材料は、凹所 122, 123 の深さ（夫々最小 $15 \mu\text{m}$ 並びに $1 \mu\text{m}$ ）が再現性良く形成され得るような平坦な表面を有することが必要である。このような要求は、マイカ箔により、得に良く満たされる。

前記熱伝導層 123 は、好ましくは、金により形成される。この熱伝導層 123 の厚さは、圧力測定の感度を決定する。これは、熱伝導層 123 が規定された熱ダメを呈し、かくして、吸収層 124 の温度が熱伝導層 123 の厚さにより主として決定されるからである。気体への熱電流は、センサー（特に、吸収体）方向への温度勾配と比例するので、測定は、高温の吸収層 124 でなされることが好ましい。この温度は、測定抵抗体 131 に送られる電力を増し、かつ熱伝導層 123 の厚さを減じるか、熱伝導層 123 の面積を大きくすることにより、発生され得る。この熱伝導層 123 の厚さは、例えば、 $0.2 \mu\text{m}$ である。前記熱接触層 121 は、一定の厚さの金で好ましくは形成され、熱伝導層 123 の領域を除いて、キャリア箔の前面全体を覆っている。

前記吸収層 124 は、絶対に必要なものではないが、圧力測定において高感度を達成するためには好ましい。この吸収層 124 は、近接する気体と良好な熱接触を果たすように意図されている。この目的のために、吸収層 124 は、微視的に粗い面を好ましくは有する。この別体の吸収層 124 の代わりに、適当な表面処理が熱伝導層 123 になされ得る。前記キャリア箔 11 の後ろにある測定並びに基準抵抗体層 131, 136 の厚さは、約 $0.02 \mu\text{m}$ である。また、接続リード 132 のための層の厚さは、約 $1 \mu\text{m}$ である。厚さの相違、並びに図 1 に概略的に示すことから異なるので、段差が接続リード層 132 への移行の所での測定並びに基準抵抗層 131, 136 の領域に形成される。この方法で、パッケージ 14 内の前記凹所 133 を省略して、ダクト 142 を測定抵抗体までのびるようにパッケージ 14 の後部を貫通させることができる。キャリア箔の例は、図 4 ないし 6 を参照して後述される。

加熱される測定抵抗体は、本発明に係わる圧力測定装置では大きいフォーマットではあるが、これは、測定され得る圧力の範囲の上限を制限するものではない。層構造、特に、キャリア箔 11 の極めて平坦な面は、一方では、吸収層 124 と、パッケージの面する壁との間に極めて狭いスペース（約 $10 \mu\text{m}$ ）を形成し、また他方では、測定抵抗体の後面と凹所 133 内のパッケージの面する壁との間に極めて狭いスペース（ $1 \mu\text{m}$ まで）を形成する。気体内の粒子の平均自由行程長さに対する前記スペースの関係は、圧力上限を決定する。

熱伝導層、可能ならば吸収層の領域での、本発明に係わる圧力測定装置の形状は、圧力測

10

20

30

40

50

定の応答時間を決定する。吸収層がなく、また、熱伝導層が熱伝達を促進するような構造（例えば、粗さ）を有する場合には、圧力測定 of 応答時間は、熱伝導層が上記構成を持たないで、均質の面を有し、かつ吸収層が設けられたデザインの場合よりも短い。この熱伝導層の表面の構造は、熱伝導層への放熱（例えば、圧力衝撃を受けたとき）の時間は、1つの時間定数を有する1つの指数関数で正確に表し得る。

好ましい装置において、本発明に係わる熱伝導モノメータは、図1に示すような圧力測定装置が多数設けられている。層構造は、必要な測定に応じて小形化され得るマトリックスもしくはアレイ配列を可能にしている。測定抵抗体と基準抵抗体との間の間隔は、基準抵抗体が圧力の関数としての影響を受けないように十分に大きくなければならないことを果たす唯一の事項である。図4は、本発明に従って覆われたキャリア箔11の拡大平面図である。エッジにアラインメント並びに接続領域を有する箔の外側のディメンションは、 $2 \times 3 \text{ cm}^2$ である。このキャリア箔11は、熱接触層121と、熱伝導層123と、吸収層124とを有するセンサーユニット10を支持している。また、吸収層は、熱伝導層を全体的に覆うことが可能である。図示したセンサーユニットの各々は、基準ユニット20に割り当てられている。センサーユニット10の場合とは異なり、基準ユニット20の領域内には、熱接触層121のみが存在する。

前記下囲みシェル11の後ろ側には、図5に示すように、センサーユニット10と基準ユニット20と対向し、間に接続リード132を有する測定並びに基準抵抗層131、136が設けられている。

図5に示す各測定並びに基準抵抗層131、136は、蛇行し、挟むような形態で、箔に配設された測定並びに基準抵抗体を有することが最も好ましい。ようにして、測定並びに基準抵抗層131、136の各対は、1つのセンサーユニット10に2つの測定抵抗体が、また、基準ユニット20に2つの基準抵抗体がある、図2に係わる完全な測定ブリッジを形成している。測定並びに基準抵抗体の蛇行の形態の例は、図6に拡大して示されている。

図6において、2つの測定もしくは基準抵抗体51、52は、キャリア箔の後方に層形状で形成されている。各抵抗体は、蛇行の形態で多数の抵抗部材を有する。この部材の幅は、抵抗体間の接続リードの幅よりも実質的に狭い。挟まれた蛇行部51、52は、近接した2つのリードに反対方向の電流が流れるので、本発明に係わる圧力測定装置が強い磁界に干渉されることがなく、動作されうる効果を奏する。この結果、磁界による力、互いに打ち消される。このことは、強い磁界のもとでの使用に一般に適していない従来のピラニモノメータと比較して特別な効果がある。また、挟まれた蛇行は、箔の同じ領域の感度を2つの測定抵抗体により測定可能としている。同様のことが基準抵抗体に対してもいえる。さらに、蛇行の形状は、リードループの領域を最小にする。

マトリックス形状のセンサー外形を有する熱伝導モノメータが、可撓性のあるモノメータ箔としてデザインされ得る。これは、興味のある領域での圧力プロフィールを検出するための本発明に係わる方法により、拡張される。

図7Aないし7Dは、本発明に係わる圧力測定装置の熱伝導層の異なる形態を示している。図7Aに係わる均質の熱伝導層において、余分な層を形成しないで、異なる温度分布を有する幾つかのモードが、圧力衝撃により熱伝導層123に与えられる。各モードは、それぞれ独自の時間定数と振幅とを有する。基本モードは、時間定数と振幅とに対して最大値を有する。これら値は、高いモード数で顕著に減少する。そして、圧力衝撃のための圧力測定装置のターン・オン並びにターン・オフ応答は、多数の時間定数の重ね合わせにより示されている。これは、また、図7Bに示すような、均質な熱伝導層、並びに熱伝導層の全体に渡均質な吸収層の構造の場合である。

圧力測定装置のターン・オン並びにターン・オフ応答のタイミングを簡単にするために、衝撃応答が1つの時間定数に良く近似して示されるような、構造の熱伝導層を導入することが可能である。熱伝導層を構成するために、図7Cに係わる熱補償層125が、例えば、設けられ得る。この熱補償層125は、前記熱伝導層123よりも厚い（50ないし100のファクターである）。（上述したように）熱伝導層123の側方長さ、 $a = 0.1$

10

20

30

40

50

c m並びにb = 0.3 c mを仮定した場合の好ましいパラメータは、約100の厚さ比を有する熱補償層125の側方長さc = 0.4 c m並びにd = 0.2 c mである。

熱伝導層と同様に、前記熱補償層125は、金で形成されていることが好ましい。また、熱補償層125の形態は、熱伝導層123の中心にある測定抵抗体と対向している。熱補償層125により、高いモードが押さえられ、高いモードのみが（上述したように）励起され、モード数の変化に対する時間定数の変化は僅かである。値 $d\tau/dN$ （ τ = 数Nのモードの時間定数）は小さい。かくして、衝撃応答は、特に、 ≥ 1 msの圧力衝撃の上昇もしくは下降時間になるまでの単一の時間定数により示され得る。具体的な横方向並びに長さ方向の側方長さの比と厚さの比との決定は、単一の指数関数に関連して熱伝導率を最適にすることにより、数値的シミュレーションの方法によりなされる。前記熱補償層125と測定抵抗層131とは、可能な限り同じサイズ（面積のディメンション）であるべきである。

10

さらなる変形において、吸収層124が、図7Dに示されるように、熱補償層125の上に設けられ得る。

また、図7Aないし7Dは、熱コンタクト層121に形成された凹所122（もしくは、熱伝導層123の面積のディメンション）は、測定抵抗体131の面積のディメンションよりも大きくされ得る。

第2の実施の形態

図8は、本発明に係わる圧力測定装置の第2の実施の形態の概略断面図である。第1の実施の形態についての上述したもの、即ち、測定抵抗体の抵抗値の測定、多数のセンサー部材のアレイ形態、圧力測定装置を使用するための方法は、従って、センサー部分10に適用される。しかし、第1の実施の形態とは異なり、第2の実施の形態において、各測定並びに基準抵抗体対に対して2つの自己支持キャリア箔領域（測定並びに基準キャリア箔）が設けられている。この結果、測定抵抗体と基準抵抗体との両方が、測定される媒体、即ち、気体と熱的に接触され得る。ここでは、前記センサー部分10と類似したデザインの基準部分20のみが示されている。以下に示すように、第2の実施の形態において、測定抵抗体と基準抵抗体との両方は、それぞれ（異なる温度応答性を有する）測定抵抗体を形成しているが、明確にするために、これらは、測定もしくは基準抵抗体として説明されるように連続しているであろう。

20

センサー部分20（図8に示すように）は、パッケージ14に囲まれた、キャリア箔11と、基準抵抗体136と、熱コンタクト層121が接続された熱伝導層223とにより構成された層構造である。吸収層224と、分離層234と、加熱抵抗体235とは、（センサー部分10に対してのオプションとして）特別な層として追加され得る。パッケージは、前部に、熱コンタクト層121からの熱伝導層223（もしくは、熱伝導層並びに吸収層）のテーパ付けによら形成されたガス入口、即ち、換気ダクト241を有する。このダクトを通して、測定される媒体は、凹所222に入る。パッケージ14は、後部で、前記センサー部分の凹所122に類似し、他の換気ダクト242を備えた凹所233を有する。

30

前記基準部分20の熱伝導層223は、所定のファクター（ > 1 ）だけ、前記センサー部分10の熱伝導層123よりも厚い。このファクターは、好ましくは、3ないし10、例えば、4ないし5の範囲であろう。後者の場合、もし、熱伝導層123が、約0.1ないし0.5 μm の厚さであれば、基準熱伝導層の厚さは、約0.4ないし2.5 μm であろう。

40

露出された基準部分を有するデザインは、温度ドリフトが補償され得る特別な効果を有する。測定抵抗体と基準抵抗体との抵抗率は、特に比較的高温（例えば、200ないし500°C）で、即ち、使用のポイントでの核反応の結果として、圧力測定装置の動作を変え得る（多分非線形に）。ブリッジ回路での無限小温度ドリフト ΔV_B （ $d\Delta V_B/dT = 0$ ）、と抵抗値 R_M （測定抵抗体）並びに R_R （基準抵抗体）に対して関係式

$$[R_M(T_M)/R_R(T_R) = f(\alpha) R_M(T_0)/R_R(T_0)]$$

が与えられる。ここで、 T_M は、測定抵抗体の温度、 T_R は、基準抵抗体の温度、そして、

50

T_0 は、基準温度である。かくして、基準部分を露出することにより、基準抵抗体の温度は、変えられ得る。この結果、温度ドリフトは、補償され得る。厚さの異なる、基準部分20の熱伝導層223をセンサー部分10の熱伝導層123にすることにより、基準抵抗体の温度の、圧力依存性が考慮される。

好ましいデザインにおいて、抵抗体131、136の温度が、異なる加熱抵抗体135、235により設定される。この結果、温度変動率は、ブリッジ回路の供給電圧とは関係無くされ得る。かくして、低周波（例えば、1 kHz）で加熱回路（図2での抵抗体23を加熱する）を、また、高周波（約10ないし100 kHz、好ましくは、50 kHz）でブリッジ測定回路を動作させることを可能にする。測定抵抗体と基準抵抗体との異なる加熱は、センサー部分10と基準部分20との間の熱絶縁が改良される特別な効果を与える。本発明に係わる圧力測定装置において、センサー部分と基準部分との間の熱クロス・カップリングは、圧力測定の達成される精度内で除去される。

センサー部分10の層構造と、基準部分20の層構造とは、同じ断面のディメンション、即ち、層の面に平行な方向で同じ面積と体積とを、最も良く有する。センサーもしくは基準部分10、20の凹所の領域でのキャリア箔11は、測定もしくは基準箔として考えられ得、好ましくは、第1の実施の形態では、マイカ、もしくは絶縁材がコーティングされた金属箔（例えば、スチール、ニッケル、チタニウム）として形成される。キャリア箔11は、例えば、金属（20 μm までの厚さ）で形成された熱コンタクト層121でコーティングされている。この特別なコーティングは、多数の圧力センサーからなるアレイを装着するための特別な効果を有するキャリア箔自己支持を可能にしている。好ましくは、金属で形成された高熱伝導性のホルダー14は、容器もしくはパッケージとして機能し、圧力測定装置を適当に強固にする。

測定もしくは基準抵抗体は、圧力測定装置の形成において、好ましくは、蛇行形状に同時に形成される。この方法で、両抵抗体は、同じ特性を有する。接続リード132（図1、8を参照）を備えた4つの同じ、温度依存蛇行抵抗体は、一緒になって完全なホイストン測定ブリッジを形成する。同じ処理でのスパッターリング、蒸着、もしくは電気メッキにより、2つの抵抗体は、測定箔の上に堆積され、また、2つの抵抗体は、基準箔の上に堆積される。これは、抵抗値、温度係数、熱伝導率、キャパシタンス、並びにインダクタンスのような全ての物理パラメータに関して高度に対称なブリッジを形成する。抵抗層に対向した、測定並びに基準箔の表面上の熱伝導層は、層領域の全体に渡って一定の厚さを有し、良熱伝導性の材料、好ましくは金で形成されている。熱伝導層223の厚さは、熱伝導層123の厚さよりも実質的に大きい。デザインに応じて、一方もしくは両方の熱伝導層の中心部には、吸収層として機能する良熱伝導性の厚い層が設けられ得る。構造体の全体に渡っての所定の熱伝導応答性を得るために、吸収層は、長さ方向と幅方向とに所定のディメンションを有し、下の熱伝導層の長さ方向並びに幅方向のディメンションに（かくして、露出したセンサー領域）に関係した矩形であることが好ましい。熱伝導層と吸収層との全ての幾何学的パラメータは、熱伝導の法則に従う。

熱伝導層は、露出したセンサー領域のエッジで熱コンタクト層と接続している。熱コンタクト層と熱伝導層との間の厚さの相違により形成される凹所（122もしくは222）は、ダクト141もしくは241を除いてホルダー14により閉塞される。凹所の自由高さ、即ち、箔ホルダーの後ろと熱伝導層もしくは吸収層の表面との間の空間は、好ましくは10 μm 以下である。

前記加熱抵抗体135もしくは235は、測定回路とは独立して電流もしくは電圧源により電流が供給される。上記説明に係われば、加熱抵抗体は、加熱流の圧力依存規則で、 10^{-5} ないし 10^3 mbar の全圧力範囲に渡って温度ドリフトを押さえることができる。

溶融反応炉での使用で核加熱により例えば生じるインターフェアリング信号は、全体に渡って補償され得る。センサー箔の加熱フィードバックは、時間依存のネガティブ・フィードバックにより好ましくは実行される。このネガティブ・フィードバックは、早い変化圧力信号に対するよりも、遅い変化圧力信号に対して大きい。これは、一般的に箔マノメータの特徴である、センサー箔の一体的な行動を補償する。さらに、早い圧力変化（1 msの

10

20

30

40

50

領域)が、高感度で測定され得る。

実施の形態の効果

上記実施の形態に係わる圧力測定装置は、以下の効果を有する。この装置は、コンパクトで安定性があり、プラズマ物理での試験に特に適している。そして、装置の周りにある測定されるガス媒体のサージに対してはほとんど感度を有さない。また、この装置は、ロック・インモードで動作され得る。交流での動作は、電流の函数としての材料の変更が電流の向きの周期的な変更により防げ得るという特別な効果を有する。また、全体のデザインは、また、層構造体は、測定されるガスとの特に良好な熱接触を可能にし、この結果、測定が高められた精度のもとで広い圧力範囲において可能である。圧力は、大気圧力から高真空までの範囲での測定が可能である。そして、例えば、一般の電離真空ゲージと比較して、電流消費が極めて少ない。本発明の実施の形態に係わる圧力測定装置は、広い領域での真空技術で使用され得、また、放射線測定器具(ボロメータ)と組み合わせられ得る。本発明の実施の形態の他の硬化は、高磁界中での、その使用にある(約10 Tまで拘束を受けない)。圧力測定装置は、300℃までの測定で、500℃まで加熱され得る。別の熱伝導層をキャリア箔に付加することは、放熱の時間定数が熱伝導層の幾何学的パラメータ(例えば、Au層の厚さ)によって精度良く設定され得るという効果がある。熱伝導層としてのキャリア箔の形成は、十分に高い熱伝導性を可能にする。また、キャリア箔としてのダイヤモンド箔の導入は、パッケージに熱伝導層を持たせることを可能にする。しかし、この欠点は、このようなダイヤモンド箔の厚さを設定することが難しく、高エネルギー放射の後に効果が変ってしまうことである。

10

20

【図1】

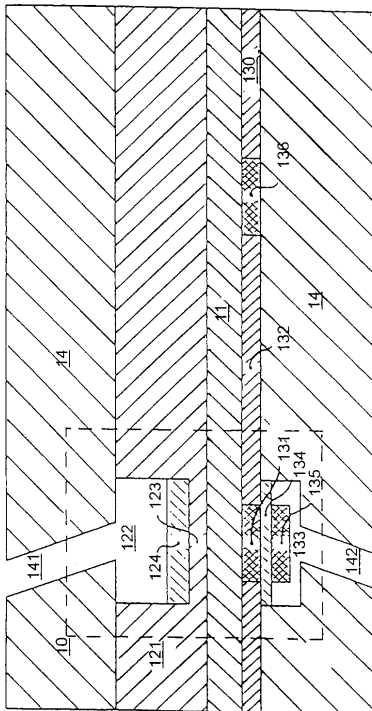
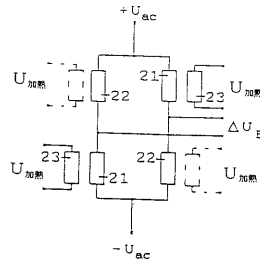


Fig. 1

【図2】



第2の実施の形態

Fig. 2

【図3】

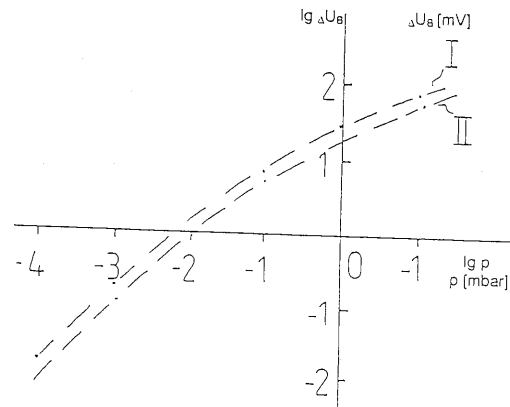
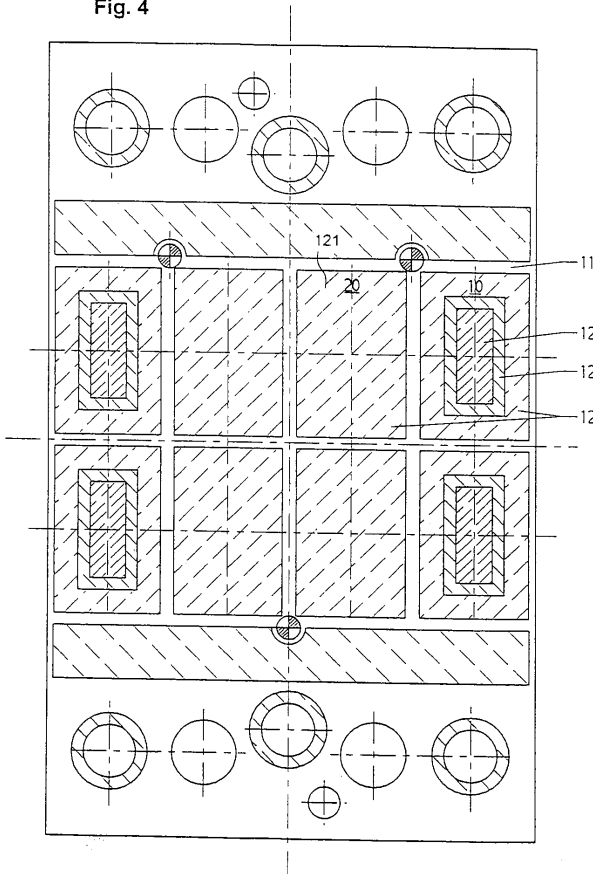


Fig. 3

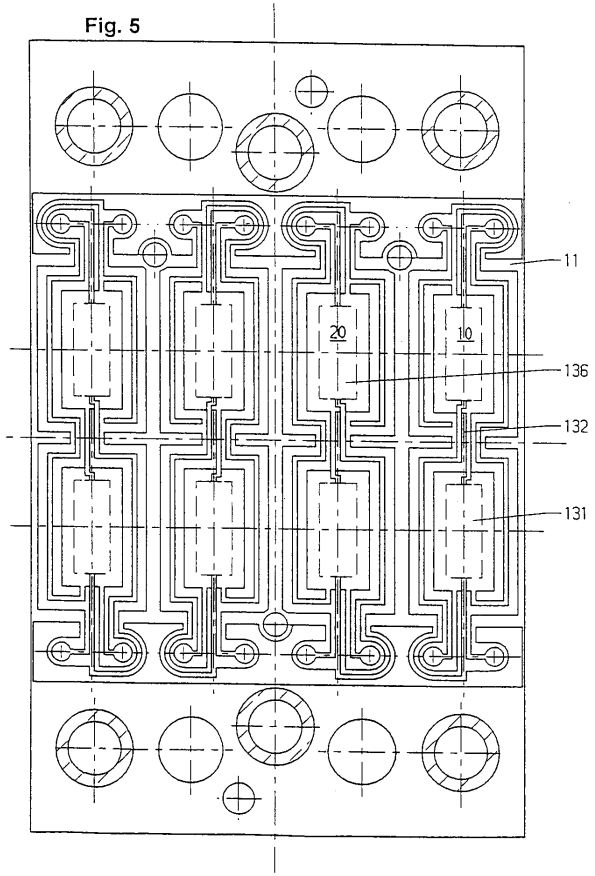
【図 4】

Fig. 4



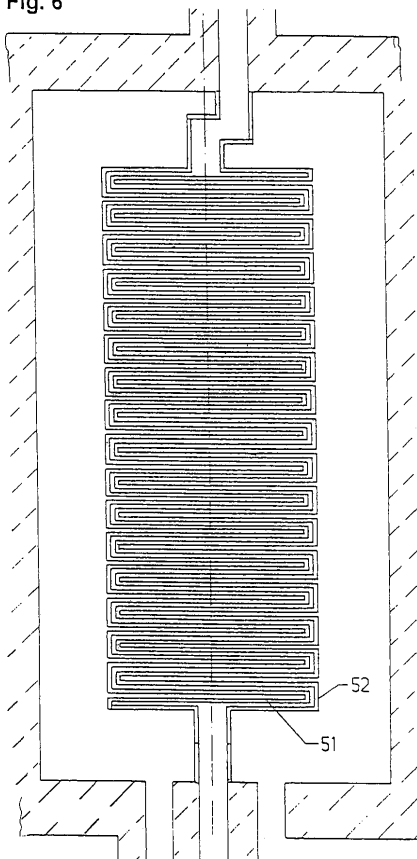
【図 5】

Fig. 5



【図 6】

Fig. 6



【図 7】

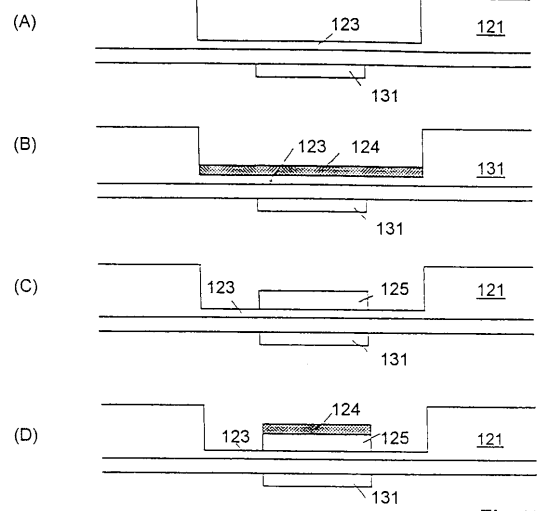


Fig. 7

【図 8】

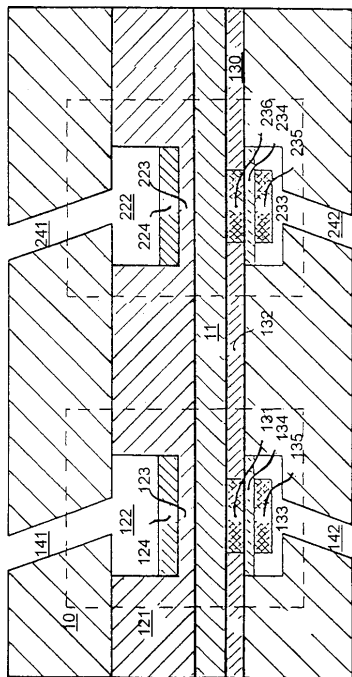


Fig. 8

フロントページの続き

- (72)発明者 マスト、カールフリードリッヒ
ドイツ連邦共和国、デー85748 ガルヒング、ミュールガッセ 14
- (72)発明者 シュラム、ゲロルド
ドイツ連邦共和国、デー82194 グレーベンツェル、バイアーベーク 14
- (72)発明者 ミュンヒ、マルティン
ドイツ連邦共和国、デー80805 ミュンヘン、ウンゲラーシュトラッセ 214

審査官 横林 秀治郎

- (56)参考文献 特開平06-241933 (JP, A)
特開平07-325002 (JP, A)
特開平06-331404 (JP, A)
特開平07-307479 (JP, A)
特開平08-145751 (JP, A)
特開平04-313027 (JP, A)
特開昭62-211513 (JP, A)
実開平03-123217 (JP, U)
特公平07-113560 (JP, B2)
特公平08-023308 (JP, B2)
特表平04-507291 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 11/00

G01L 21/10

G01F 1/68