

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-506180  
(P2004-506180A)

(43) 公表日 平成16年2月26日(2004.2.26)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G01L 9/00

G01K 7/22

H01L 29/84

F 1

G01L 9/00 303Q  
G01L 9/00 305H  
G01K 7/22 A  
H01L 29/84 B  
H01L 29/84 Z

テーマコード(参考)

2FO55

4M112

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 39 頁)

(21) 出願番号 特願2002-514356 (P2002-514356)  
 (86) (22) 出願日 平成13年7月19日 (2001.7.19)  
 (85) 翻訳文提出日 平成15年1月17日 (2003.1.17)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2001/022919  
 (87) 國際公開番号 WO2002/008713  
 (87) 國際公開日 平成14年1月31日 (2002.1.31)  
 (31) 優先権主張番号 09/620,007  
 (32) 優先日 平成12年7月20日 (2000.7.20)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

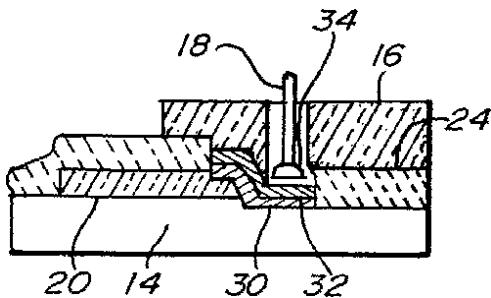
(71) 出願人 500481330  
 エンテグリス・インコーポレーテッド  
 アメリカ合衆国 55318 ミネソタ,  
 チャスカ, ライマン ブールバード 35  
 OO  
 (74) 代理人 100064344  
 弁理士 岡田 英彦  
 (74) 代理人 100087907  
 弁理士 福田 鉄男  
 (74) 代理人 100095278  
 弁理士 犬飼 達彦  
 (74) 代理人 100105728  
 弁理士 中村 敦子  
 (74) 代理人 100125106  
 弁理士 石岡 隆

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】超純度の非常に腐食性の強い環境において使用可能なセンサ

## (57) 【要約】

400 以上の温度で動作可能なセンサが開示されている。この発明のセンサは、流体を充満しなくても動作し、非多孔質で非汚染性であり、外側に露出した金属コンポーネントがない。このセンサは、超純度の環境において流体と直接接触するように配置された非多孔質で非浸透性のセンシングダイヤフラムを有している。非多孔質の表面は、バッキングプレートへガラス化された単結晶のサファイア層からなっている。この発明のセンサは、プロセス流体の圧力及び/あるいは温度を検出するための化学的に不活性な圧力トランスデューサでの使用に適しており、圧力トランスデューサモジュールの高温プラスチックハウジングの中へ直接モールドすることができる。



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

非多孔質の外側表面を有するセンサであって、  
内側及び外側の表面を有するバッキングプレートと、  
内側及び外側の表面を有する非多孔質ダイヤフラムと、  
前記ダイヤフラムの内側表面に隣接するセンサ素子と、  
ガラス化することによって前記バッキングプレートの内側表面と前記非多孔質ダイヤフラムの内側表面へ、その外側周辺の近傍で接合されているガラス層と、を有し、それによって前記バッキングプレートと前記非多孔質ダイヤフラムが接合されており、前記非多孔質ダイヤフラムの近傍における圧力及び温度の少なくとも一方が前記センサ素子によって検出可能であるセンサ。  
10

**【請求項 2】**

前記非多孔質ダイヤフラムが化学的に不活性な材料からなっている請求項 1 記載のセンサ。  
。

**【請求項 3】**

前記ガラスが高接合強度と高溶融温度の両方を有している請求項 2 記載のセンサ。

**【請求項 4】**

前記ガラス層が厚みを有し、前記非多孔質ダイヤフラムが所望の最大撓みまで撓んだときに、ダイヤフラムの内側表面の一部がバッキングプレートの内側表面へ係合する請求項 1 記載のセンサ。  
20

**【請求項 5】**

前記バッキングプレートと非多孔質ダイヤフラムが同じような熱膨張率を有する材料から構成されている請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか 1 項記載のセンサ。

**【請求項 6】**

前記センサ素子が絶対圧力を検出する請求項 1 もしくは請求項 2 記載のセンサ。

**【請求項 7】**

ゲージ圧力を検出できるようにするために、前記バッキングプレートを貫いて延びる開口部が設けられている請求項 1 もしくは請求項 2 記載のセンサ。

**【請求項 8】**

前記バッキングプレートとダイヤフラムとの間においてサファイアダイヤフラムの上にエピタキシャル成長されたシリコン層が設けられており、前記センサ素子がその上に形成されている請求項 1 記載のセンサ。  
30

**【請求項 9】**

前記シリコン層とバッキングプレートとの間に化学的に耐久性を有する層が配置されており、この化学的に耐久性を有する層が電気絶縁層として作用する請求項 8 記載のセンサ。

**【請求項 10】**

前記ガラス層と前記非多孔質ダイヤフラムとの間に接合パッドが設けられている請求項 8 記載のセンサ。

**【請求項 11】**

前記ガラス層に窓が形成されていて、前記接合パッドへアクセスできるようになっている請求項 10 記載のセンサ。  
40

**【請求項 12】**

前記非多孔質ダイヤフラムとバッキングプレートとの間にシリコン層が配置されていて、前記センサ素子がその上に形成されている請求項 1 記載のセンサ。

**【請求項 13】**

前記非多孔質ダイヤフラムとバッキングプレートとの間に金属層が設けられていて、EMI / RFI がセンサ素子に影響しないようになっている請求項 1 記載のセンサ。

**【請求項 14】**

前記接合パッドがチタン層と拡散バリアを有する請求項 10 記載のセンサ。

**【請求項 15】**

10

20

30

40

50

前記非多孔質ダイヤフラムと前記バッキングプレートの外側端部の少なくとも一部に隣接して、化学的に耐久性を有するポリマが設けられている請求項1記載のセンサ。

【請求項16】

前記非多孔質ダイヤフラムがサファイアからなっている請求項1記載のセンサ。

【請求項17】

前記センサ素子が容量タイプである請求項1記載のセンサ。

【請求項18】

前記ガラス層が700以上溶融温度を有するガラスから選択される請求項1記載のセンサ。

【発明の詳細な説明】

10

【0001】

【発明の分野】

この発明はセンサに関する。さらに詳しくは、200までの非常な安定性と700までの実効的動作性を有する圧力及び/あるいは温度のセンサに関する。この発明の圧力センサは流体を充填せずに動作し、外部に露出した金属コンポーネントを有していない。この圧力センサは、超純度の環境において流体と直接接触するように配置される非多孔質で非浸透性の表面を有している。この発明の一つの実施の形態においては、非多孔質表面は化学的に冒されにくい単結晶のサファイア層からなっている。従って、薬品や汚染物質がセンサからプロセス流の中へ抽出されることはない。この発明の圧力センサは、プロセス流体中の圧力を検出するための化学的に不活性な圧力トランスデューサモジュールあるいは流量計で使用するのに適しており、その高温プラスチックハウジングの中へ直接モールドされてもよい。

20

【0002】

【発明の背景】

圧力センサはゲージ圧力もしくは絶対圧力を測定するために様々な分野において利用されてきた。こうした応用の多くでは、好ましくない環境において圧力を測定することになる。圧力センサは容量タイプかピエゾ抵抗タイプである。例えば、アルミナセラミックの容量式センサは、薄くて一般的には柔軟なセラミックシートからなっている。このセラミックシートは、それよりも厚い非柔軟性のセラミックシートの間に挟まれた絶縁用スペーサリングを有している。最初の方の薄いセラミックシートあるいはダイヤフラムは厚さが約0.005から0.050インチであり、典型的な厚みは0.020インチである。厚い方のセラミックシートは0.100から0.200インチの範囲の厚みを有している。当業者は、ダイヤフラムの厚みはダイヤフラムの直径によって変えることが好ましいことがわかるであろう。スペーサは適当なポリマから構成されている。セラミックディスクの並置された面は金やニッケルあるいはクロムなどの金属によって金属化されて、コンデンサのプレートを形成している。類似の容量式圧力トランスデューサがベル( B e l l )らによる米国特許第4,177,496号( '496特許)に開示されている。'496特許に記載されているものと類似した他の容量式圧力トランスデューサも当該分野においては周知のものであり、利用が可能である。ピエゾ抵抗式センサはホイーストンブリッジを利用して、一般に電圧の変化を測定して、この電圧変化を、検出した圧力の変化と関係づけている。これらのタイプの圧力センサのいずれを利用して超純度の環境において流体の圧力を測定できるが、汚染を生じないような圧力センサが必要とされている。

30

【0003】

繊細な材料の超純度処理では、一般に、腐食性流体を使用する必要がある。製造プロセスのときに繊細な材料が汚染されやすいということは、製造者が直面する大きな問題である。種々の製造システムは、外来粒子やイオン汚染物質、そして製造プロセスのときに発生する蒸気による繊細な材料の汚染を低減するように設計されている。繊細な材料の処理では腐食性流体へ直接接触することがしばしばある。従って、汚染されていない状態で、また外来粒子のない状態で腐食性流体を処理サイトへ供給することが決定的に重要である。通常、処理装置の種々のコンポーネントは、発生する粒子や処理流体の中へ溶解するイオ

40

50

ンの量を減らすように、また処理薬品を汚染から隔離するように設計されている。

【0004】

処理装置は一般的に、腐食性薬品を供給タンクから圧送及び調整ステーションを介して、そして処理装置自身を介して運搬する液体輸送システムを有している。パイプやポンプ、チューブ、モニタ装置、検出装置、バルブ、フィッティング、及び関連の装置を有するこの液体薬品輸送システムは、普通、腐食性薬品の劣化作用に対して耐久性を有するプラスチックから形成されている。前述したモニタ装置に通常使用される金属は、長期間にわたる腐食性環境に対して耐えることができない。従って、モニタ装置や検出装置は代替材料を混ぜるか、腐食性流体から隔離しなければならない。

【0005】

プロセスは非常にクリーンでなければならない一方で、それらは非常にアグレッシブな( aggressive )薬品を含んでいる。それらには過激な酸やベース、溶剤などが含まれる。半導体産業は最近では、アグレッシブな研磨材料を利用したプロセスを導入してきている。プロセス装置もモニタ装置も両方ともこうした研磨材料の機械的作用に影響されないことが必要である。

【0006】

また、プロセス装置の高信頼性は必要なものである。何らかの理由によって半導体あるいは薬剤ラインを停止すると大きなコストがかかる。これまで、圧力トランスデューサはプロセスからセンサ自身へ圧力を伝えるのに、充満した流体を利用していた。充満流体は何らかのアイソレータダイヤフラムによってプロセスからは分離されている。このアイソレータダイヤフラムが故障して、充満流体がプロセス中へ失われると、製品の損失になるし、作業を再開するまえにシステムの洗浄が必要になる。設計からアイソレータダイヤフラムや充満流体をなくせば、利点が多い。

【0007】

また、半導体製造に一般的に用いられる処理装置は、一つあるいは複数のモニタ装置や、バルブ装置、検出装置を有している。これらの装置は一般に閉ループのフィードバック関係で接続されており、処理装置をモニタし制御するときに使用される。また、これらのモニタ装置及び検出装置は、入り込む可能性のある汚染をなくすように設計されている。検出装置は圧力センサを有する流量計と圧力トランスデューサモジュールを有している。圧力トランスデューサあるいは流量計の圧力センサの一部は腐食性流体に直接接触していることが望ましい。従って、腐食性流体に直接接触している圧力センサの表面は非汚染性でなければならない。多孔質材料では腐食性流体がこうした材料を介して出入りすることがわかっている。例えば、セラミック材料は、よりアグレッシブな腐食性材料によって容易に冒されるガラス状材料と結合される。従って、腐食性流体と直接接触している圧力センサ部分は、非多孔質材料から形成されていることが好ましい。

【0008】

Ghieselinらに特許された米国特許第4,774,843号には、酸化アルミニウムのベースへ取り付けられた単結晶サファイアダイヤフラムを有するストレインゲージが開示されている。Ghieselinらは、サファイアはガラスボンド材料やエポキシ、あるいはその他の接着方法によって接着されることを述べている。Ghieselinらはガラスボンド材料について、あるいはガラスボンドがどのようにサファイアや酸化アルミニウムベースへ接着するかについてはそれ以上記述していない。しかし、Ghieselinは、ガラスボンドについて、応力変形点(strain point)において離れてしまう低強度材料として述べている。Ghieselinは、応力変形点を下げて、それによってガラスの低強度という欠点を避けるために、幾何形状を変えることについて述べている。ヘグナ(Hegner)らに特許されている米国特許第5,954,900号には、酸化アルミニウムのセラミック部分へ結合するのにガラスを使用するときの問題について記述されている。HegnerやGhieselinによって開示されている装置は、実効的な動作温度は400℃以下に制限されると考えられる。従って、HegnerらやGhieselinによって述べられているセンサの信頼性は温度が400℃を越えると低

10

20

30

40

50

下する。処理装置の腐食性流体はしばしば400℃を越える。従って、高強度でベースへ接合された非多孔質表面を有しており、非多孔質材料とベースとの間の接合が400℃以上の温度において安定であるような圧力センサが必要とされている。

#### 【0009】

電磁波干渉及び高周波干渉（それぞれEMI及びRFI）によってピエゾ抵抗式センサの性能が劣化することもわかっている。サファイアの上へシリコンをエピタキシャル成長させるため、シリコン層（その上にホイーストンブリッジが形成されている）とサファイアとの間に直接、導電性シールディング層を設けることはできない。サファイアの外側が腐食性流体へ接触するように配置されるときには、サファイアの外側へ導電性シールディング層を設けることは好ましくない。従って、圧力センサの露出していない表面の上に形成されたセンサ素子へのEMI及びRFIの影響を阻止するような非汚染性の圧力センサが要求されている。この発明はこれらの要求やその他の要求を満たしており、これらはこの発明の説明を読めば明らかになろう。

#### 【0010】

##### 【発明の概要】

この発明は非多孔質の外側表面を有する圧力センサを提供している。この非多孔質表面は、低拡散性と低表面吸着性が特徴である。実施の形態においては、圧力センサは、バッキングプレートと、非多孔質ダイヤフラムと、ダイヤフラムの内側表面に隣接するセンサ素子と、ガラス化（glass）によってバッキングプレート及び非多孔質ダイヤフラムへ接合された高強度材料からなるガラス層を有している。バッキングプレートは構造に堅固さを与えており、バッキングプレートの剛性によって、ハウジング（図示されていない）からセンサダイヤフラム上のセンサ素子へ応力が伝わりにくくなる。バッキングプレートはプロセス媒体には直接接觸していないが、機械的に安定していて高温プロセスに馴染るものであることが必要である。バッキングプレートの熱膨張率はセンサダイヤフラムのそれとほぼ同じでなければならない。熱の影響を補償することは可能であるが、時間がたつと二つの部材の間の接合を弱める応力を大きな不整合は製造のときに生じる。当業者は承知しているように、非多孔質ダイヤフラムは、それぞれピエゾ抵抗タイプあるいは容量タイプのセンサの一部として、その上に形成されたホイーストンブリッジあるいは導電層を有している。

#### 【0011】

実施の形態においては、それに限定されるわけではないが、シリコン層が非多孔質ダイヤフラムの内側表面の上に形成されており、ホイーストンブリッジなどのストレインゲージがその上に形成されている。バッキングプレートはそれを貫通する開口部を有している。この開口部はセンサ素子へつながる電気リード線を受容するようになっている。非多孔質ダイヤフラム近傍の圧力変化はセンサ素子によって検出が可能である。ダイヤフラムに対する圧力が増減するとダイヤフラムが歪み、これによってストレインゲージの抵抗値が変化する。抵抗値の変化はダイヤフラムに隣接する圧力と相関関係を有している。

#### 【0012】

それに限定されるわけではないが、非多孔質ダイヤフラムはサファイアなど化学的に不活性な材料からなっている。サファイアとバッキングプレートとの間のガラス層は、高接合強度のホウケイ酸ガラスか、あるいは高接合強度と、700℃以上の、そして好ましくは1000℃以上の溶融温度とを有する周知の構成の他のガラスから形成されていることが好ましい。ダイヤフラムの撓みの量はガラス層の厚み及び直径によって制御される。ガラス層は0.002から0.030インチの範囲の、そして好ましくは0.010インチの厚みと、0.100から2.0インチの、そして好ましくは0.700インチの外径を有している。ダイヤフラムのアクティブセンシング領域は0.050から2.0インチの範囲であり、0.400インチであることが好ましい。当業者は、ダイヤフラムの厚み及び直径の範囲は制限すべきではなくて、ある応用においては厚み及び直径をさらに小さくしたり大きくしたりしてもよいことがわかるであろう。このように、非多孔質ダイヤフラムが最大限まで屈曲したとき、ダイヤフラムの内側表面の一部はバッキングプレートの内側

10

20

30

40

50

表面と係合する。当業者は、バッキングプレートと非多孔質ダイヤフラムは広い範囲の温度にわたって不必要的応力を避けるために、同じような熱膨張率を有する材料から形成されていることがわかるであろう。以下でより詳しく説明するように、圧力センサはセンサ素子が絶対圧力あるいはゲージ圧力を検出するような構造となっている。

#### 【0013】

この圧力センサは、シリコン層とバッキングプレートとの間に配置された窒化シリコン層と金属層あるいは導電層をさらに有している（図11を参照のこと）。このように、窒化シリコンは電気絶縁体として作用し、金属層はEMI/RFIがセンサ素子20に影響するのを防ぐ。圧力センサはまた、非多孔質ダイヤフラム層と、窒化シリコン層、金属層、及びバッキングプレートの外側端部の少なくとも一部に隣接してコーティングか、ガスケットあるいはシールを有している。酸に耐久性を有するエポキシか、PTFE（ポリテトラフルオロエチレン）、PVDF（ポリビニリデンフルオライド）、PEEK（ポリエーテルエーテルケトン）、ウレタン、あるいはパリレンなどの耐腐食性ポリマが利用されるが、それに限定されるわけではない。ここでは、耐酸性エポキシが好ましい。

#### 【0014】

圧力センサはガラス層と非多孔質ダイヤフラムとの間においてダイヤフラムの上に形成された接合パッドを有している。接合パッドの実施の形態はチタン層と拡散バリアを有しているが、それに限定されるわけではない。ドープされたシリコンの薄いフィルムが周知の適当な方法によって接合パッド間を相互に接続していてホイーストンブリッジを形成している。ガラス層とバッキングプレートには窓が形成されており、接合パッドへアクセスできるようになっている。ガラス層とバッキングプレートに形成された窓を介して電気リード線が伸びており、この電気リード線は接合パッドへ鑑付けされている。電気リード線は接合パッドへ鑑付けされており、ガラス層はダイヤフラム及びバッキングプレートへガラス化されている。

#### 【0015】

別の実施の形態においては、ダイヤフラムとセンサ素子はピエゾ抵抗式センサではなくてコンデンサを形成するように修正されている。圧力が加わると屈曲する薄いセンシングダイヤフラムはセンシングダイヤフラムの内側表面の上に形成された容量性プレートを有しており、別の容量性プレートがバッキングプレートの内側表面の上に形成されている。一つの電気リード線がセンシングダイヤフラムの内側表面の上に形成された容量性プレートへ接続されており、別のリード線がバッキングプレートの内側表面へ電気的に接続されている。ダイヤフラムとプレートとの間の間隔が圧力によって変化すると、プレートの容量が変化する。この容量の変化が周知の適当な構造を有する電気的に接続されたセンサ素子によって検出される。

#### 【0016】

この発明の利点は、請求項や添付の図面と関連させつつ以下における実施の形態の詳しい説明を読めば当業者には容易に理解できるであろう。いくつかの図面における類似の参考番号は対応する部材を表している。

#### 【0017】

##### 【詳細な説明】

この発明は、広範囲に適用可能な圧力センサの改良に関する。ここで詳しく説明されている実施の形態は、この発明の改良が取り込まれている代表的なもの、あるいはその例であり、発明を制限するものではない。この発明の圧力センサはセンシングダイヤフラムを有するピエゾ抵抗式あるいは容量式のセンサとして構成されている。センシングダイヤフラムは単結晶サファイアから形成されている。これとは違って、センシングダイヤフラムは単結晶ダイヤモンドから形成されていてもよい。この発明のセンサ10は一般にバッキングプレート12と、センシングダイヤフラム14と、バッキングプレート14とダイヤフラム16との間のシリカガラスボンドと、電気リード線18（図1及び図2を参照のこと）を有している。センシングダイヤフラム14を製造するときには、単結晶サファイアの大きなウェハを使用して、半導体技術の周知のプレイナプロセスを用いて多数のセンサを

同時に製造することができる。

【0018】

当業者はサファイアが電気絶縁体であることを知っているであろう。サファイアをR面に沿って切断すると、サファイアの上に適当な厚みのシリコンの単結晶エピタキシャル膜を成長させることができるとある。このシリコン層は、拡散やイオン注入法、あるいは他の手段によってホウ素やリンなどの原子をドープしてこの膜に半導体特性を与えることができる。注入エネルギーやドーパント濃度を変えることによって、膜の面抵抗値を調節することができる。この膜は電気抵抗を有していることの他に、歪みに応じてその抵抗が変わる。この特性はピエゾ抵抗として知られている。前述したように、センシングダイヤフラム14の歪みによって膜が歪み、抵抗値の変化を生じる。圧力検出信号はこの抵抗値の変化から導かれる。

【0019】

シリコンへのドープにイオン注入法を選択したときには、ドーピングに続いてアニーリング工程を行って、注入プロセスのときに生じる歪みを取り除くことが望ましい。アニーリング工程はシリコン層の中でドーパント原子をより均一に分布させる助けとなる。シリコンパターン20はホイーストンブリッジ22(図6及び図7を参照のこと)を形成している。当業者はいくつかの異なるパターンでホイーストンブリッジ22を形成できることがわかる。シリコン抵抗20は標準的なフォトリソグラフィ法によってパターニングされる。窒化シリコンの絶縁層24(図8及び図10を参照のこと)を化学的気相成長によってサファイアウェハの表面全体に付ける。フォトリソグラフィのレジストを使用して、接合パッド26の領域において窒化シリコン層24が蒸着されないようにする。レジストをエッチングして、窓28を上方へ、ホイーストンブリッジへの接続点あるいは接合パッド26の各々まで開ける(図8を参照のこと)。窒化シリコン層24は頑強な絶縁層であり、繊細なシリコン層を保護する。

【0020】

金属の接合パッド26は電気リード線18をホイーストンブリッジ22へ接続するためには必要である。半導体デバイスにおいて接合パッド26として一般的に使用される金やアルミニウムなどの金属は不安定である。なぜなら、それらはガラス化温度においてシリコンと合金化するからである。実施の形態においては、2金属接合パッドが構成されている(図10を参照のこと)。高周波(RF)スパッタリングと呼ばれるプロセスを用いてチタン層30をウェハ全体の上に蒸着する。チタンは非常にアクティブな金属であり、優れた接合特性を有している。しかし、チタンはそれと真鍮(braze)材料34との間に拡散バリア32が必要である。真鍮合金34は接合パッド26をピン18へ接合している。拡散バリア32がないと、真鍮34はチタン層30及び薄いシリコン層20の両方と合金化する。冷却すると、この合金が表面張力によって一体に引っ張られて、シリコン膜を部分的に破壊する。拡散バリア32は、鑄付け温度(約1000)において合金を形成しないような耐火性金属である必要がある。ニオブやタンクスチタン、イリジウム、モリブデン、タンタル、プラチナ、パラジウムがこの目的に適しているが、それらに限定されるわけではない。バリア材料32は膜全体にわたってピンホールができるだけ少ないような膜に形成可能でなければならぬ。酸化物は鑄付け温度では解離しなければならない。ニオブは拡散バリアとしてうまく作用することがわかっている。ニオブはチタン層30の上でサファイアウェハ14全体にわたってRFスパッタされる。次に、周知のリソグラフィ技術を使ってニオブ層をパターニングする。

【0021】

好ましい実施の形態においては、蒸着やスパッタリングなどの当業者に周知の方法を用いて接合パッド26用の金属を付けてパターニングするが、これらの方法に限定されるわけではない。接合パッド26のパターニングは、金属がシリコン層20の一部の上には重なる(図8を参照のこと)が、大部分はサファイアダイヤフラム14と直接接觸するような形で行われる。その理由は、金属層が小さいピンホールを有しているかもしれないからである。真鍮34が拡散バリア32を貫通すれば、それがシリコンと合金化し、その結果、

10

20

30

40

50

膜が壊れることがわかっている。ガラス化及び鑑付けのときに、シリカガラス16は、真鍮34が、ピンから、接合パッド26の金属がシリコンパターン20と重なっている領域へ流れないようにする。真鍮34はシリコンパターン20と重なっている必要はない。

#### 【0022】

サファイアダイヤフラム14をパターニングしたら、周知のダイシング方法を用いてサファイアウェハを切断して、サファイアウェハから複数のサファイアダイヤフラムを分離する。結晶面に沿って刻みを付けて割ったり、超音波加工したり、あるいはレーザ切断するなどいくつかの方法を使用できるが、それらに限定されるわけではない。周知の方法を用いることによって、圧力センサの製造に望ましい丸いダイヤフラム14を切断することができる。

10

#### 【0023】

電気リード線18を接合パッド26へ鑑付けし、バッキングプレート12をダイヤフラム14へガラス化する(glass)。厚いバッキングプレート12あるいはウェハは、穴あるいはビア36(図2を参照のこと)を有するセラミックから構成されている。ビア36は接合パッド26と位置を揃えてバッキングプレート12の中に形成されており、センサダイヤフラム14から、圧力情報を利用する電子回路まで電気リード線18を通すようになっている。ゲージ圧力を検出したいときには、バッキングプレート12を貫くベント穴38を設ける。一般的に金属酸化物の粉体からなるセラミックスを、結合剤として作用する少量のガラスを用いて、一般に高温で一体に焼結する。一般的なセラミックは、単結晶のサファイアと多くの類似した特性を有するアルミナである。アルミナセラミックのガラス含有量を数パーセント以下に維持する限り、これら二つの材料の熱膨張特性はほとんど変わらない。

20

#### 【0024】

サファイアとアルミナセラミックの両方とよく結合するガラス16は、類似した熱膨張特性を有している必要がある。ホウケイ酸ガラスはこの目的によく適合することがわかっている。これらのガラスは、材料を一体にフリット(frit)結合するために使用されるものよりもずっと高い溶融温度を有している。バルクのシリコンから製造されるセンサは、ドーパント原子が、隣接する領域へ非常に拡散することがわかっている。従って、バルクシリコンのセンサは一般的に450以下、従って短い工程(brief excursion)のみに対する処理温度に限定される。米国特許第4,774,843号においてGhislainによって指摘されているように、サファイアダイヤフラムをセラミックのバッキングプレートへ信頼性よく接合することは大きな問題であった。提案されているガラス化に使用される高接合強度のホウケイ酸ガラスは、低温の低強度ソルダ(solder)ガラスあるいはガラスフリットとは異なる。ソルダガラスは約450の溶融温度を有しており、強度が低い。

30

#### 【0025】

鑑付けではなくて“ガラス化”によってサファイアをアルミナセラミックに接合するためには、シリカガラス16をバッキングプレート12の表面上へプリフォームするか、スクリーン(screen)する。どちらにしても、シリカガラスがそれを始めたところから遠くへ流れないことが重要である。ガラスパターンの内径が著しく変化すると、センサ10の圧力特性が著しく変化する。また、ガラス化プロセスのときに、真鍮34が接合パッド26の上で溶融するまえにガラス16が金属の接合パッド26の上に流れると、ピン18が接合パッド26に鑑付けされない。不安定性やガラスの割れにつながる応力をガラス接合に残さないためには、ガラスの焼き(firing)を一定温度で行う必要がある。また、シリカガラス16は電気ピン18のための開口部あるいは窓を有していなければならない。さらに、ダイヤフラム14とバッキングプレート12との間のシリカガラスボンド16の厚みを制御することによって、過圧状態のときにセンシングダイヤフラム14がバッキングプレート12の底から外へ出る(図4を参照のこと)。従って、この過圧状態を止めると、100以上の係数でセンサ10の過圧性能が増大する。

40

#### 【0026】

50

電気リード線 18 を接合パッド 26 へ接合するために使用される真鍮合金 34 はシリカガラス 16 の溶融温度よりも若干低い溶融温度で溶融しなければならない。また、真鍮は金属層 26 から酸化物を除去するためにはその溶融温度において十分にアグレッシブでなければならない。相応しい周知の構成を有するいくつかの銅真鍮合金はこうした要件を満足することができるが、それらに限定されるわけではない。ガラス 16 が流れ始めるまえに真鍮 34 が溶融するときは、シリカガラス 16 が接合パッド 26 の上へ流れると、それが真鍮 34 及び接合パッド 26 の上へ流れて、接合パッド領域に著しい応力緩和を与える。モーガン・アドバンスト・セラミックス・インコーポレーテッド (Morgan Advanced Ceramics Incorporated) の部門 (Division) であるカリフォルニア州サン・カルロス (San Carlos, California) のウェスゴ・メタルズ (Wesgo Metals) によって販売されている Paku s i 1 - 1 5 などの真鍮合金が許容可能な鑄付けをすることがわかっているが、それに限定されるわけではない。

## 【0027】

電気リード線あるいはピン 18 は断面積が小さくて、延性を有する金属から形成されている必要がある。セラミック 12 に設けられた穴 36 の中に収容されたこうしたピン 18 は良好な歪み緩和特性を有しており、ピン 18 からセンサ素子へ応力を伝えることはない。ピン 18 は、ニッケルや金などの良好な鑄付けと妥当な半田付け性能を有する材料がメッキされている。

## 【0028】

センサ 10 を構成するすべての材料が高温性能を有するために、こうしたセンサ 10 を非常に高い温度 (400 以上) で長時間にわたって使用でき、かつ / あるいは。このセンサ 10 は T E F L O N (登録商標) ("TEFLON" はイー・アイ・デュポン・デヌマス・アンド・カンパニー (E. I. DuPont DeNemours and Company) の登録商標である) などの高性能プラスチックハウジングの中へ直接モールドすることができる (図 14 を参照のこと)。こうしたモールドされた圧力センサによれば、センサ 10 とプラスチックハウジングとの間に極めて信頼性の高いシールを形成することができる。

## 【0029】

再び図 3 及び図 4 を参照して、ダイヤフラム 14 の撓みを説明する。参照番号 40 で表された第 1 の点線はダイヤフラム 14 の撓みを非常に誇張して示している。参照番号 42 によって表された第 2 の点線は過圧によるダイヤフラムの撓みを示している (過圧のときにバッキングプレート 12 がダイヤフラムの撓みに与える停止作用を無視する)。こうした急激な撓みによってダイヤフラム 14 が割れたり破壊したりする可能性がある。図 5 はダイヤフラムの中央部分がダイヤフラムの外側部分よりも厚みが薄くなっている修正されたダイヤフラム 14 を示している。一般的に、最大限の感度を得るために、ダイヤフラムの直径を小さくするにつれて、ダイヤフラムの厚みを小さくしなければならない。ダイヤフラム 14 とバッキングプレート 12 との間のギャップはガラスボンド 16 の厚みによって制御される。ダイヤフラムの一般的な撓みは 0.01 から 0.001 インチの間であり、隙間はダイヤフラムの厚み及び直径に応じて 0.02 から 0.002 インチの間であるが、これに限定されるわけではない。ギャップの大きさはダイヤフラム 14 の厚みの 2 倍のオーダであることが好ましい。ダイヤフラムのアクティブセンシング領域は、0.002 から 0.050 インチの厚みを有するダイヤフラムに対しては、0.075 から 2 インチの範囲である。実際的な制約によって、ウェハを製造するときの単結晶サファイアの厚みが制限される。しかし、単結晶シリコンとは違って、この薄いサファイアダイヤフラムを化学プロセスによって形成する容易な方法はない。より薄いサファイアウェハからダイヤフラムをある点まではうまく製造することができるけれども、センサ形成プロセスのときに起る高熱応力によって、自己破壊的な内部応力が発生する。また、ダイヤフラムのセンシング領域の直径を大きくすると圧力デバイスの感度が向上する。しかし、ダイヤフラムの直径が大きくなるとコストも上がる。

10

20

30

40

50

## 【0030】

図5に示されている変形されたダイヤフラム14は、厚いサファイアウェハから製造されるときにセンシング領域の近傍においてダイヤフラムの厚みを薄くされる。薄膜プロセスを完了したあとにダイヤフラムを薄くすることによって、より柔軟なダイヤフラム圧力センシングダイヤフラムができる。各デバイスのまわりに残された材料の縁は、例えばセンシングダイヤフラムが圧力センサハウジングと直接接触するときに要求される強度を与えてくれる。薄い中央部分46は必要な感度を提供する。サファイアダイヤフラム14は、当業者には周知の研磨加工や超音波加工などの一般的な機械的手段によって薄くすることができます。別の場合には、ダイヤフラム14の外側センシング表面上に環状の溝80が形成されている(図17を参照のこと)。当業者は、溝の形状は重要ではないけれども丸いエッジや溝が好ましいことがわかる。溝は環状になっているけれども、ガラスボンド16に隣接する領域における撓み応力を緩和するには他の形状でもよい。

10

## 【0030】

ここで図11を参照する。ここにはこの発明の圧力センサに対する別の実施の形態が示されている。この圧力センサはバッキングプレート12と窒化シリコン層24との間に導電層が挟まれている。図では導電層48は電気的に接地されている。このようにして、電磁波干渉や高周波干渉(EMI及びRFI)が遮断されている。EMIやRFIはピエゾ抵抗センサの性能を劣化させることが知られている。サファイアの上にシリコンをエピタキシャル形成するため、またシリコンをサファイアの上へ直接接合したいことから、シリコンとサファイアとの間に導電層を設置することは望ましくない。また、サファイアダイヤフラムの外側に導電層を設置すると、サファイアダイヤフラムの非多孔質で化学的に不活性な特性を奪ってしまうことになる。導電層あるいは金属層48はニオブやタンゲステン、イリジウム、モリブデン、タンタル、プラチナ、パラジウム、あるいはEMIやRFIをシールドすることが知られているその他の材料からなる層でよいが、これらに限定されるわけではない。このように、金属層48は、導電層より上方から生じるEMIやRFIからセンサ素子をシールドする。

20

## 【0031】

導電層48は接地電位にあることから、EMI及びRFIは導電層48でゼロ電位にある定在波を形成する。この定在波の電磁波が、接地面と抵抗コンポーネントとの間の距離のオーダーである波長を有する周波数成分を有していると、結果として著しい干渉が生じる。他方において、接地面から抵抗コンポーネントまでの距離が短いと、定在波はピエゾ抵抗素子の場所における振幅が無視でき、干渉は生じないであろう。EMI干渉及びRFI干渉は1MHzから1,000MHzの範囲で生じるため、この周波数範囲に対する最小波長は0.3メートルである。また、接地面とピエゾ抵抗素子あるいはシリコンパターン20との間の距離は窒化シリコン層の厚みに等しく、500オングストロームあるいは0.0000005メートルのオーダーである。従って、期待されるEMIあるいはRFIのシールド効果は約6,000,000:1である。

30

## 【0032】

ここで図12を参照する。図にはこの発明のセンサ10に対する別の実施の形態が示されている。非多孔質で化学的に不活性な圧力センサは、非常に腐食性の環境において圧力を検出するのに有利に使用することができる。単結晶サファイアで構成されたセンシングダイヤフラムを有するセンサは化学的な攻撃に対して優れた保護性能を有する。センサ10は、主要シール52及び補助シール54を有する圧力トランスデューサハウジング50(図13を参照のこと)の内部に配置されている。主要シールがサファイアダイヤフラムの外側表面へ係合すると、プロセス流体で濡れるのはシールとサファイアだけである。周知の適当な構造のシールはプロセス流体に浸透性を有するため、プロセス流体のいくらかは主要シールを越えてしまう。第1の主要シールを越えて浸透するフッ化水素酸などの非常にアグレッシブなプロセス流体はサファイアダイヤフラム14とセラミックのバッキングプレート12との間のジョイントを冒す。ジョイントの腐食によって生じる汚染物質はプロセス流体の中へ浸透によって戻る。この発明は、ジョイントの周囲を囲むセンサ10の

40

50

エッジへ付けられる耐酸性エポキシなどの化学的に耐久性を有するポリマを有している。耐酸性エポキシとしては、それに限定するわけではないが例えはニュージャージー州ハッケンサック(Hackensack, N. J.)のマスター・ボンド・インコーポレーテッド(Master Bond, Inc.)から入手可能な耐酸性エポキシ E P 2 1 A R などがある。別の場合は、限定するわけではないが例えはT E F L O N(登録商標)から形成されたガスケットタイプのシールや、限定するわけではないが例えはK A L R E Z から形成されたエラストマタイプのシール 8 4 を図 1 8 に示されているようにセンサのジョイントへ押しつける。シール 8 4 は L 字形状の断面を有しており、センサ 1 0 の側部のまわりと、ダイヤフラム 1 4 のセンシング外側表面の上を覆っている。当業者は、ガスケットシール 8 4 はハウジング 5 0 の一部として形成されていることがわかる。また、電気的シールド性能を向上させるに、カーボン粉末を混ぜることによって材料に導電性を持たせる。導電性エポキシはアースへ接続された導電性インク 5 8 によって電気アースへ接続することができる。

### 【 0 0 3 3 】

図 1 3 を参照する。図ではセンサ 1 0 は流体ポート 6 0 を有する圧力トランステューサハウジング 5 0 の内部に配置されている。サファイアダイヤフラムは、主要シール 5 2 及び補助シール 5 4 に対するシールを形成している。ベントあるいはドレイン 6 2 が圧力トランステューサハウジングの外側から、主要シールと補助シールとの間のハウジング内へ延びている。ベント 6 2 はシールの間の圧力を緩和し、かつ／あるいは流体が主要シールを通って圧力トランステューサハウジング 5 0 の外へ透過するための通路を提供している。サファイアダイヤフラム 1 4 を有するこの発明のセンサ 1 0 は、腐食及び溶剤に対して耐久性があり、計測できるような温度あるいは圧力のヒスレリシスなく所望の屈曲性を有しており、400 を越えるようなプロセス流体温度に耐えることができる圧力センサを提供している。図 1 4 を参照するとわかるように、この圧力センサは高温に耐えることが可能なため、この圧力センサをプラスチックの射出成形プロセスのときにインサートとして圧力トランシデューサのプラスチックハウジング 5 0 の中へモールドして、主要シールあるいは補助シールを不要にすることもできる。ハウジング自身がセンサ 1 0 に対するシールとして作用する。こうしたモールドされた圧力センサ及びモジュールでは、製造コストを低減し、構造を簡単にし、圧力トランステューサモジュール全体のサイズを小さくすることが期待される。

### 【 0 0 3 4 】

図 1 5 を参照する。この図にはこの発明のセンサ 1 0 に対する別の実施の形態が示されている。センサ 1 0 はダイヤフラム 1 4 に隣接する流体の圧力と温度の両方を検出することができる。センサ 1 0 はサファイアダイヤフラム 1 4 の上にパターニングされた抵抗 7 0 を有している。接合パッド 7 2 が接合パッド 2 6 と同じようにして、それと同時に形成される。抵抗 7 0 はガラスボンド 1 6 とダイヤフラム 1 4 との間に形成されている。抵抗を圧力の応力領域の外側に配置することによって、抵抗 7 0 の抵抗値に影響を与える、圧力によって誘起される応力が生じないようになっている。単結晶シリコン抵抗 7 0 の抵抗値は、決まった温度依存性を有している。高ドーピング濃度( $10^{19}$  原子 /  $\text{c c}$  以上の p 形ドーピング)に対しては、温度と抵抗との間の関係はほぼ直線関係で近似できる。従つて、抵抗が変化すると、温度変化は容易に決定できる。

### 【 0 0 3 5 】

図 1 6 はセンサ 1 0 に対する別の実施の形態を示している。ここではホイーストンブリッジ 2 2 の抵抗を利用して、圧力及び温度の両方を決定している。センサ 1 0 の外側周辺は、点線で表されている。ここでも、ホイーストンブリッジからなる単結晶シリコン抵抗の抵抗値は決まった温度依存性を有している。図 1 6 において“ $R_t$ ”で表されている抵抗 7 6 はホイーストンブリッジ 2 2 へ電気的に接続されているが、プロセス流体の温度が変化することによる温度の影響からは隔離されている。例えば、抵抗 7 6 は圧力トランステューサの検出電子回路といっしょに配置されており、ダイヤフラム 1 4 からは離れている。抵抗 7 6 の値はホイーストンブリッジ 2 2 の抵抗値の約半分であることが好ましい。温

10

20

30

40

50

度の決定精度に対する圧力の影響は、当業者には周知のデータフィッティングを行う多項式を用いて温度を決めるときには無視できる。ホイーストンブリッジ 2 2 の抵抗値が温度とともに変化すると、電圧  $V_t$  も変化する。ブリッジ全体を、電圧分割回路における一つの抵抗として利用する。このとき、電圧  $V_t$  をアナログあるいはデジタルの補正に対する温度信号として使用することができる。

【0036】

特にシリコン抵抗に対して多量にドーピングされているときには、電圧  $V_t$  はホイーストンブリッジ 2 2 の温度にほぼ完全に依存する。シリコン抵抗のドーピングが少ないととき、あるいはユーザが温度測定における不確かさを下げたいときには、温度は行列の特性化 (characterization) によって求められる。以下の多項式を利用する。ここで温度  $T$  は出力  $V_t$  と  $V_p$  の両方の関数として表されている。  
10

【0037】

$$T = a_{0,0} + a_{0,1} V_t + a_{0,2} V_t^2 + \dots + a_{1,0} V_p + a_{1,1} V_p V_t + a_{1,2} V_p V_t^2 + \dots + a_{2,0} V_p^2 + \dots$$

【0038】

ここで係数  $a_{x,x}$  は当業者には周知の最小自乗フィッティングによって得られる。データフィッティングとともに上述の特性化を利用することによって、歪みの影響に対して温度出力が校正されたセンサが得られる。従って、一つのセンサで、圧力と温度の同時測定が短い応答時間で達成できる。これとは違って、温度出力のみが必要な場合には、抵抗の足を、歪みに感度を有しない軸方向に配置することによって圧力の特性化を行わないようにすることが可能である。例えば、抵抗素子を射影された C 軸に対して 45° の方向に配置することによって、サファイア上に設けられた R 面シリコンで最大歪み感度が達成できる。ここで、R 面と C 軸は結晶構造のミラー指数によって定義されるものである。射影 C 軸に平行あるいは直角に配置された抵抗素子に対しては、ピエゾ抵抗はゼロである。抵抗の軸を回転して圧力感度をなくすことができる。このようにして、センサ 10 は圧力感度をなくすように、従ってセンサ 10 近傍の温度のみを測定するように形成することができる。  
20

【0039】

特許法に従って、またここで新しい原理を適用するとともに必要に応じて特別なコンポーネントを構成し使用するのに必要な情報を当業者に提供するために、この発明についてかなり詳しく説明してきた。しかし、この発明は様々な装置やデバイスによって実行することができること、またこの発明の範囲から逸脱することなく装置と動作手順の両方に関して種々な変形を実現することができることを理解すべきである。  
30

【図面の簡単な説明】

【図 1】

この発明の圧力センサの斜視図である。

【図 2】

この発明の圧力センサに対する実施の形態の部分側断面図である。

【図 3】

この発明の圧力センサに対する実施の形態の部分側断面図である。  
40

【図 4】

この発明の圧力センサに対する実施の形態の部分側断面図である。

【図 5】

この発明の圧力センサに対する実施の形態の部分側断面図である。

【図 6】

この発明のダイヤフラムの平面図であり、その上にホイーストンブリッジが形成されている。

【図 7】

この発明のダイヤフラムに対する実施の形態を一部断面で示した平面図である。

【図 8】

10

20

30

40

50

この発明の接合パッドに対する実施の形態を一部断面で示した平面図である。

【図 9】

この発明の接合パッドに対する実施の形態の部分側断面図である。

【図 10】

この発明の接合パッドに対する実施の形態の部分側断面図である。

【図 11】

この発明の圧力センサに対する実施の形態の部分側断面図である。

【図 12】

この発明の圧力センサに対する実施の形態の部分側断面図である。

【図 13】

圧力トランスデューサハウジングの中に設置されたところが示されているこの発明の圧力センサに対する実施の形態の部分側断面図である。 10

【図 14】

圧力トランスデューサハウジングの中にモールドされたところが示されているこの発明の圧力センサに対する実施の形態の部分側断面図である。

【図 15】

この発明のダイヤフラムに対する実施の形態を一部断面で示した平面図である。

【図 16】

この発明のダイヤフラムに対する実施の形態の部分平面図である。

【図 17】

この発明の圧力センサに対する実施の形態の部分側断面図である。 20

【図 18】

センサの端に隣接したシールあるいはガスケットを有するこの発明の圧力センサに対する実施の形態の部分側断面図である。

## 【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau(43) International Publication Date  
31 January 2002 (31.01.2002)

PCT

(10) International Publication Number  
WO 02/08713 A1

(51) International Patent Classification: G01L 19/04 (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EB, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SL, SZ, SL, TI, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(21) International Application Number: PCT/US01/22919

(22) International Filing Date: 19 July 2001 (19.07.2001)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data: 09/620,007 20 July 2000 (20.07.2000) US

(71) Applicant: ENTEGRIS, INC. [US/US], 3500 Lyman Boulevard, Chaska, MN 55318 (US).

(72) Inventors: PETERSON, Tom; 7020 Sandy Hook Circle, Chanhassen, MN 55317 (US), DIAZ DIAZ, Jorge, Andres; 387 Arlington Road, St. Paul, MN (US), CUCCI, Gerald, R.; 1201 Yale Place, #1907, Apt. #1907, Minneapolis, MN 55403 (US).

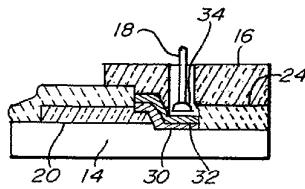
(74) Agents: DOUGLAS, J., Christensen et al.; Patterson, Thuente, Skar & Christensen, P.A., 4800 IDS Center, 80 South Eighth Street, Minneapolis, MN 55402-2100 (US).

**Published:**  
 — with international search report  
 — before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: SENSOR USABLE IN ULTRA PURE AND HIGHLY CORROSIVE ENVIRONMENTS

WO 02/08713 A1



**(57) Abstract:** A sensor operable at temperatures in excess of 400 °C is described. The sensor of the present invention operates without fluid fill, is non-porous, non-contaminating, and has no exterior exposed metallic components. The sensor includes a non-porous, impermeable sensing diaphragm that may be positioned in direct contact with fluids in an ultra-pure environment. The non-porous surface may be comprised of a layer of single crystal sapphire that is glassed to a backing plate. The sensor of the present invention is suitable for use in a chemically inert pressure transducer for sensing pressures and/or temperatures in process fluids and may be molded directly into the high temperature plastic housing of the pressure transducer module.

-1-

**SENSOR USABLE IN ULTRA PURE  
AND HIGHLY CORROSIVE ENVIRONMENTS**

I. Field of the Invention

This invention relates generally to sensors and more particularly relates to a pressure and/or temperature sensor having exceptional stability up to 200°C and effectively operable up to 700°C. The pressure sensor of the present invention operates without fluid fill and has no exterior exposed metallic components. The pressure sensor includes a non-porous, impermeable surface that may be positioned in direct contact with fluids in an ultra-pure environment. In one embodiment of the present invention, the non-porous surface is comprised of a layer of single crystal sapphire that is impervious to chemical attack. In this manner, chemicals or contaminants cannot be extracted over time from the sensor into a process stream. Without limitation, the pressure sensor of the present invention is suitable for use in a chemically inert pressure transducer module or flow meter for sensing pressures in process fluids and may be molded directly into the high temperature plastic housing of the same.

II. Background of the Invention

Pressure sensors have been utilized in various applications to measure either gauge pressure or absolute pressure. Many of these applications involve the measurement of pressure in unfavorable environments. The pressure sensor may be of a capacitive type or piezoresistive type. For example, an alumina ceramic capacitive sensor may comprise a thin, generally compliant ceramic sheet having an insulating spacer ring sandwiched between a thicker, non-compliant ceramic sheet. The first thin ceramic sheet or diaphragm is approximately .005 to .050 inches in thickness with a typical thickness of .020 inches. The thicker ceramic sheet has a thickness range between .100 to .200 inches. Those skilled in the art will appreciate that the thickness of the diaphragm is preferably dependent upon the diameter of the diaphragm. The spacer may be constructed of a suitable polymer. The apposed faces of ceramic disks are metalized by metals such as gold, nickel or chrome to create plates of a capacitor. A similar capacitive pressure transducer is described by Bell et al. in U.S. Patent 4,177,496 (the '496 patent). Other capacitive pressure transducers similar to that described in the '496 patent are available and known in the art. A piezoresistive sensor

-2-

typically utilizes a Wheatstone bridge, measuring changes in voltage and correlating the voltage changes to changes in sensed pressure. Either of these pressure sensor types may be utilized to measure the pressure of fluids in ultra-pure environments, however, there is a need for a non-contaminating pressure sensor.

5 Ultra pure processing of sensitive materials typically requires the use of caustic fluids. The susceptibility to contamination of the sensitive materials during the manufacturing process is a significant problem faced by manufacturers. Various manufacturing systems have been designed to reduce the contamination of the sensitive materials by foreign particles, ionic contaminants, and vapors generated during the manufacturing process. The processing of the 10 sensitive materials often involves direct contact with caustic fluids. Hence, it is critical to deliver the caustic fluids to the processing site in an uncontaminated state and without foreign particulate. Various components of the processing equipment are commonly designed to reduce the amount of particulate generated and ions dissolved into the process fluids, and to isolate the processing chemicals from contaminating influences.

15 The processing equipment typically includes liquid transporting systems that carry the caustic chemicals from supply tanks through pumping and regulating stations and through the processing equipment itself. The liquid chemical transport systems, which includes pipes, pumps, tubing, monitoring devices, sensing devices, valves, fittings and related devices, are frequently made of plastics resistant to the deteriorating effects of the caustic chemicals. 20 Metals, which are conventionally used in such monitoring devices, cannot reliably stand up to the corrosive environment for long periods of time. Hence, the monitoring and sensing devices must incorporate substitute materials or remain isolated from the caustic fluids.

25 While the processes must be very clean they often involve chemicals that are very aggressive. These could include for example harsh acids, bases, and solvents. The semiconductor industry has recently introduced processes, which make use of aggressive abrasives. Both the process equipment and the monitoring instrumentation must be impervious to the mechanical action of these abrasives.

30 Further, high reliability of process equipment instrumentation is a must. Shutting down a semiconductor or pharmaceutical line for any reason is costly. In the past, pressure transducers have commonly employed fill fluids to transmit pressure from the process to the sensor itself. The fill fluids are separated from the process by an isolator

diaphragm of one sort or another. Failure of this isolator diaphragm and subsequent loss of fill fluid into the process can cause loss of product and require system cleaning before restarting operations. Eliminating the isolator diaphragm and fill fluid from the design is advantageous.

5 Also, the processing equipment commonly used in semiconductor manufacturing has one or more monitoring, valving, and sensing devices. These devices are typically connected in a closed loop feedback relationship and are used in monitoring and controlling the equipment. These monitoring and sensing devices must also be designed to eliminate any contamination that might be introduced. The sensing devices may include  
10 pressure transducer modules and flow meters having pressure sensors. It may be desirable to have a portion of the pressure sensor of the pressure transducer or flow meter in direct contact with the caustic fluids. Thus, the surfaces of the pressure sensor in direct contact with the caustic fluids should be non-contaminating. It has been found that porous materials allow the ingress and egress of caustic fluids through such materials. For  
15 example, ceramic materials are bound together with various glass like materials which themselves are easily attacked by the more aggressive corrosive materials. Hence, it is preferable that those portions of the pressure sensor in direct contact with caustic fluids be made of non-porous materials.

20 U.S. Patent 4,774,843 issued to Ghiselin et al. describes a strain gauge having a single crystal sapphire diaphragm adhered to an aluminum oxide base. Ghiselin et al. indicates that the sapphire is adhered by means of a glass bonding material, epoxy or other adherent methods. Ghiselin et al. does not provide a further description of the glass bonding material or how the glass bond adheres to the sapphire and aluminum oxide base. However, Ghiselin describes the glass bond as a low strength material that separates at  
25 strain points. Ghiselin describes a change in geometry to reduce the strain point and thereby avoid the deficiencies of the low strength of the glass. U.S. Patent 5,954,900 issued to Hegner et al. describes problems with using a glass to bond to an aluminum oxide ceramic part. Hegner et al. describes the use of alumina as the joining material to alumina ceramic. The devices described by Hegner et al. and Ghiselin et al. are believed  
30 to be limited to effective operable temperatures below 400°C. Thus, the reliability of the sensors described by Hegner et al. and Ghiselin et al. decreases as temperatures exceed

WO 02/08713

PCT/US01/22919

-4-

400°C. The caustic fluids of the processing equipment may often exceed 400°C. Hence, there is a need for a pressure sensor having a non-porous surface that is bonded to the base with a high strength bond, wherein the bond between the non-porous material and the base is stable at temperatures in excess of 400°C.

5 It has also been found that Electromagnetic and Radio Frequency Interference (EMI and RFI respectively) degrade the performance of piezoresistive sensors. A conductive shielding layer cannot be positioned directly between a silicon layer (on which the Wheatstone bridge is formed) and the sapphire because of the epitaxial construction of silicon on sapphire. A conductive shielding layer on the outside of the sapphire is not preferred when the outside of the sapphire is positioned in contact with the caustic fluids. Hence, a need exists for a non-contaminating pressure sensor that blocks the EMI and RFI from affecting the sensing element formed on a non-exposed surface of the pressure sensor. The present invention meets these and other needs that will become apparent from a review of the description of the present invention.

15

#### SUMMARY OF THE INVENTION

The present invention provides for a pressure sensor that includes a non-porous outer surface. The non-porous surface is characterized by a low diffusivity and low surface adsorption. In the preferred embodiment, the pressure sensor includes a backing plate, a non-porous diaphragm, a sensing element adjacent an inner surface of the diaphragm, and a glass layer of a high strength material that is bonded by glassing to the backing plate and the non-porous diaphragm. The backing plate provides rigidity to the structure. The rigidity of the backing plate resists stresses transmitted from the housing (not shown) to the sensing elements on the sensor diaphragm. Although the backing plate is not in direct contact with the process medium it is required to be mechanically stable and amenable to high temperature processes. The thermal expansion rate of the backing plate should approximate closely that of the sensing diaphragm. While it is possible to compensate for thermal effects, a large mismatch will produce stresses during manufacture that may cause the bond between the two pieces to yield over time. Those skilled in the art will appreciate that the non-porous diaphragm may include a Wheatstone bridge or a conductive layer formed thereon as part of a piezoresistive or capacitive type sensor respectively.

-5-

Without limitation, in the preferred embodiment, a silicon layer is formed on an inner surface of the non-porous diaphragm, wherein a strain gage such as a Wheatstone bridge is formed thereon. The backing plate includes apertures extending therethrough, the apertures being adapted for receiving electrical leads coupled to the sensing element. A change in pressure near the non-porous diaphragm is detectable by the sensing element. An increase and decrease of pressure against the diaphragm causes deflection of the diaphragm which in turn changes the resistances of the strain gage. The changes in resistance is correlated with the pressure adjacent the diaphragm.

Without limitation, the non-porous diaphragm is preferably comprised of a chemically inert material such as sapphire. The glass layer between the sapphire and the backing plate is preferably made of high bond strength borosilicate glass or other glass of suitable known construction having a high bond strength and melt temperature above 700°C and preferably above 1000°C. The amount that the diaphragm flexes is controlled by the thickness and diameter of the glass layer. The glass layer may have a thickness ranging between .002 and .030 inches with .010 inches being preferred and an outside diameter ranging from .100 to 2.0 inches with 0.700 inches being preferred. The active sensing area of the diaphragm may range from .050 to 2.0 inches with 0.400 inches being preferred. Those skilled in the art will appreciate that the range of thickness and diameter of the diaphragm should not be construed as limiting, but that the thickness and diameter in certain applications may be further reduced or increased as desired. In this manner, when the non-porous diaphragm flexes to the maximum flexure, a portion of the inner surface of the diaphragm engages an inner surface of the backing plate. Those skilled in the art will appreciate that the backing plate and non-porous diaphragm are constructed of materials having similar thermal expansion rates to avoid unnecessary stress through a wide range of temperatures. As described below in greater detail the pressure sensor may be constructed such that the sensing element may detect an absolute pressure or gage pressure.

The pressure sensor may further include a silicon nitride layer and a metalization or conductive layer positioned between the silicon layer and the backing plate (see Figure 11). In this manner the silicon nitride layer acts as an electrical insulator and the metalization layer blocks EMI/RFI from affecting the sensing element 20. The pressure

WO 02/08713

PCT/US01/22919

-6-

5 sensor may further include a coating, gasket or seal adjacent to at least a portion of an outer edge of the layers of the non-porous diaphragm, silicon nitride layer, metalization layer and the backing plate. Without limitation, acid resistant epoxy or corrosion resistant polymers such as PTFE (polytetrafluoroethylene), PVDF (Polyvinylidenefluoride), PEEK (polyetheretherketone), urethane, or parylene may be utilized, wherein an acid resistant epoxy is preferred.

10 The pressure sensor includes bond pads formed on the diaphragm between the glass layer and the non-porous diaphragm. Without limitation, the preferred embodiment of the bond pads comprise a titanium layer and a diffusion barrier. The doped silicon thin film interconnects the bond pads in a known suitable manner to form the Wheatstone bridge. A window is formed in the glass layer and backing plate, thereby providing access to bond pads. Electrical leads extend through the windows formed in the glass layer and backing plate and the electrical leads are brazed to the bond pads. The electrical leads are brazed to the bond pads and the glass layer is glassed to the diaphragm and backing plate.

15 In an alternate embodiment the diaphragm and sensing element is modified to create a capacitance rather than a piezoresistive sensor. The thin sensing diaphragm, which flexes when pressure is applied, has a capacitive plate formed on the inner surface of the sensing diaphragm and another capacitive plate is formed on the inner surface of the backing plate. One electrical lead is connected to the capacitive plate formed on the inner surface of the sensing diaphragm and another lead is electrically coupled to the inner surface of the backing plate. As the spacing between the diaphragm and the plate vary with pressure the capacitance of the plates changes. This variation in capacitance is detected by an electrically connected sensing element of known suitable construction.

20 The advantages of the present invention will become readily apparent to those skilled in the art from a review of the following detailed description of the preferred embodiment especially when considered in conjunction with the claims and accompanying drawings in which like numerals in the several views refer to corresponding parts.

#### DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

25 Figure 1 is a perspective view of the pressure sensor of the present invention;  
30 Figure 2 is a partial sectional side elevational view of an embodiment of the pressure sensor of the present invention;

Figure 3 is a partial sectional side elevational view of an embodiment of the pressure sensor of the present invention;

Figure 4 is a partial sectional side elevational view of an embodiment of the pressure sensor of the present invention;

5 Figure 5 is a partial sectional side elevational view of an embodiment of the pressure sensor of the present invention;

Figure 6 is a top plan view of the diaphragm having a Wheatstone bridge formed thereon of the present invention;

10 Figure 7 is a partial sectional top plan view of an embodiment of the diaphragm of the present invention;

Figure 8 is a partial sectional top plan view of an embodiment of the bond pads of the present invention;

15 Figure 9 is a partial sectional side elevational view of an embodiment of the bond pads of the present invention;

Figure 10 is a partial sectional side elevational view of an embodiment of the bond pads of the present invention;

Figure 11 is a partial sectional side elevational view of an embodiment of the pressure sensor of the present invention;

20 Figure 12 is a partial sectional side elevational view of an embodiment of the pressure sensor of the present invention;

Figure 13 is a partial sectional side elevational view of an embodiment of the pressure sensor of the present invention shown positioned in a pressure transducer housing;

Figure 14 is a partial sectional side elevational view of an embodiment of the pressure sensor of the present invention shown molded into a pressure transducer housing;

25 Figure 15 is a partial sectional top plan view of an embodiment of the diaphragm of the present invention;

Figure 16 is a partial top plan view of an embodiment of the diaphragm of the present invention;

30 Figure 17 is a partial sectional side elevational view of an embodiment of the pressure sensor of the present invention; and

Figure 18 is a partial sectional side elevational view of an embodiment of the pressure

sensor of the present invention having a seal or gasket adjacent an edge of the sensor.

#### DETAILED DESCRIPTION

The present invention represents broadly applicable improvements to pressure sensors. The embodiments detailed herein are intended to be taken as representative or exemplary of those in which the improvements of the invention may be incorporated and are not intended to be limiting. The pressure sensor of the present invention may be constructed as a piezoresistive or capacitance sensor having a sensing diaphragm. The sensing diaphragm is made of a piece of single crystal sapphire. Alternatively, the sensing diaphragm may be constructed of a single crystal diamond. The sensor 10 of the present invention generally comprises a backing plate 12, sensing diaphragm 14, silica glass bond between the backing plate 14 and diaphragm 16, and electrical leads 18 (see Figures 1 and 2). During the manufacture of the sensing diaphragm 14, a large wafer of the single crystal sapphire is used so that many sensors can be fabricated at the same time using the familiar planar processes of the semiconductor technology.

Those skilled in the art will recognize that sapphire is an electrical insulator. When the sapphire is cut along the R-plane it is possible to grow a single crystal epitaxial film of silicon of appropriate thickness on top of the sapphire. The silicon layer can, by diffusion, ion implantation, or other means be doped with atomic species such as boron or phosphorus to give the film semiconducting properties. By varying the implantation energy and dopant concentration the area resistance value of the film can be adjusted. This film, in addition to having electrical resistance, will change its resistance in response to strain. This property is known as piezoresistance. As described earlier, deflection of the sensing diaphragm 14 will strain the film and produce a change in resistance. The pressure-sensing signal is derived from this change in resistance.

If ion implantation is chosen to dope the silicon, an annealing step is desirable following doping to remove stresses that build up in the film during the implantation process. The annealing step also helps distribute the dopant atoms more uniformly throughout the silicon layer. The silicon patterns 20 form a Wheatstone bridge 22 (see Figures 6 and 7). Those skilled in the art will appreciate that several different patterns can produce the Wheatstone bridge 22. The silicon resistors 20 may be patterned by standard photolithographic techniques. An insulating layer of silicon nitride 24 (see Figures 8 and

10) is applied to the entire surface of the sapphire wafer by chemical vapor deposition. Photolithographic resist is used to prevent the silicon nitride layer 24 from being deposited in the bond pad 26 region. When the resist is etched away a window 28 is opened up above and adjacent to each of the connection points or bond pads 26 to the Wheatstone bridge (see Figure 8). The silicon nitride layer 24 is a tough insulating layer and further protects the delicate silicon layer.

5 Metallic bond pads 26 are needed to connect the electrical leads 18 to the Wheatstone bridge 22. Metals commonly used as bond pads 26 in semiconductor devices such as gold and aluminum are unsuitable because they will alloy with the silicon at 10 glassing temperatures. In the preferred embodiment a two metal layer bond pad is constructed (see Figure 10). Using a process called radio frequency (RF) sputtering a layer of titanium 30 is deposited on the entire wafer. Titanium is a very active metal and has excellent bonding properties. Titanium, however, requires a diffusion barrier 32 between it and the braze material 34. The braze alloy 34 joins the bond pad 26 to pins 18. 15 Without a diffusion barrier 32 the braze 34 will alloy with both the titanium layer 30 and the thin silicon layer 20. Upon cooling, this alloy would be drawn together by surface tension forces and locally destroy the silicon film. The diffusion barrier 32 needs to be a refractory metal that will not form alloys at the brazing temperatures (approximately 1000°C). Without limitation, niobium, tungsten, iridium, molybdenum, tantalum, 20 platinum, and palladium are suitable for this purpose. The barrier material 32 must be capable of being made into a film having a minimal amount of pinholes extending through the film. Any oxides must dissociate at brazing temperatures. Niobium is found to work well as a diffusion barrier. The niobium is RF sputtered across the entire sapphire wafer 14 on top of the titanium layer 30. The niobium layer is then patterned using known 25 lithographic techniques.

In the preferred embodiment, the metal for the bond pads 26 is deposited and patterned with methods known to those skilled in the art including, without limitation, evaporation and sputtering. The bond pad 26 is patterned in such a way that the metal overlies (see Figure 8) a portion of the silicon layer 20 but is primarily in direct contact 30 with the sapphire diaphragm 14. The reason for this is that metalization layers may have small pinholes. It has been found that if the braze 34 is able to penetrate the diffusion

-10-

barrier 32 it will alloy with the silicon with consequent failure of the film. During glassing and brazing, the silica glass 16 can serve to inhibit the flow of the braze 34 from the pin to the region where the bond pad 26 metal overlies the silicon pattern 20. The braze 34 must not overly the silicon pattern 20.

5 Once the sapphire diaphragm 14 is patterned, the sapphire wafer is diced using known methods of dicing to separate the plurality of sapphire diaphragms from the sapphire wafer. Without limitation, several methods including scribe and fracture along crystal planes, ultrasonic machining, or laser cutting, may be utilized. The use of known methods allows for cutting round diaphragms 14 that are desirable for pressure sensor fabrication.

10 The electrical leads 18 are brazed to the bond pads 26 and the backing plate 12 is glassed to the diaphragm 14. The thick backing plate 12 or wafer is constructed of ceramic having holes or vias 36 (see Figure 2). The vias 36 are formed in the backing plate 12 to align with the bond pads 26 and provide passage of electrical leads 18 from the 15 sensor diaphragm 14 to the electronics utilizing the pressure information. A vent hole 38 is provided through the backing plate 12 when a gauge pressure sensing is desired. Generally, ceramics consist of metal oxide powders that are sintered together at high temperature typically using a small amount of glass to act as a binding agent. A common 20 ceramic is alumina which has many similar properties to single crystal sapphire. As long as the glass content of the alumina ceramic is kept below a few percent the thermal expansion properties of the two materials will be negligibly different.

25 A glass 16 that will bind well to both sapphire and alumina ceramic needs to have similar thermal expansion properties. Borosilicate glasses have been found to be well suited for this purpose. These glasses have far higher melt temperatures than those glasses used for frit bonding materials together. It has been found that sensors fabricated from bulk silicon experience excessive diffusion of dopant atoms into adjacent regions. Thus, 30 these bulk silicon sensors are typically restricted to processing temperatures of no more than 450°C and then for only brief excursions. As indicated by Ghiselin et al. in U.S. Patent No. 4,774,843, reliable bonding of sapphire diaphragm to a ceramic backing plate has been a significant problem. The proposed high bond strength borosilicate glasses used in glassing are distinct from lower temperature low strength solder glass or glass frit. The

-11-

solder glass has a melt temperature around 450°C and is of lower strength.

In order to bond the sapphire to alumina ceramic by "glassing" rather than brazing, a silica glass 16 may be pre-formed or screened onto the surface of the backing plate 12. In either case it is important that the silica glass does not flow far from where it starts. If the inner diameter of the glass pattern changes significantly the pressure characteristics of the sensor 10 can change drastically. Further, during the glassing process, if the glass 16 flows over the metallized bond pad 26 before the braze 34 on the bond pad 26 melts, the pins 18 will not braze to the bond pads 26. The firing of the glass should be at constant temperatures to avoid leaving stresses in the glass bond that could result in instability or glass fracture. Further the silica glass 16 must have openings or windows for the electrical pins 18. Additionally, by controlling the thickness of the silica glass bond 16 between the diaphragm 14 and the backing plate 12, the sensing diaphragm 14 will bottom out on the backing plate 12 during overpressure (see Figure 4). Thus, this overpressure stop increases the overpressure capacity of the sensor 10 by a factor of 100 or more.

15 The braze alloy 34 used to bond the electrical lead 18 to the bond pad 26 must melt at a temperature slightly below that of the silica glass 16. Further, the braze 34 must be aggressive enough at its melt temperature to remove any oxides from the metal layers 26. Without limitation, it has been found that several copper braze alloys of suitable known construction are capable of meeting these requirements. When the braze 34 melts before the glass 16 begins to flow, then if the silica glass 16 flows over the bond pad 26 it will flow over the braze 34 and bond pad 26, thereby providing significant stress relief to the bond pad region. Without limitation, a braze alloy such as Pakusil-15 sold by Wesgo Metals, San Carlos, California, a Division of Morgan Advanced Ceramics Incorporated has been found to braze acceptably.

20 25 The electrical lead or pin 18 should be of a small cross section and preferably be made of a ductile metal. Such a pin 18 confined by the geometry of the holes 36 in the ceramic 12 will have good strain relief properties and will not conduct stress from the pins 18 to the sensing elements. The pins 18 should be plated with a material with good braze and reasonable soldering capabilities such as nickel or gold.

30 The high temperature capabilities of all of the materials of construction of the sensor 10 allows use of such sensor 10 at very high temperatures (above 400°C) over

-12-

extended periods of time and/or such sensor 10 may be molded directly into high performance plastic housings such as TEFILON® ("Teflon" is a registered trademark of E.I. DuPont DeNemours and Company) (see Figure 14). Such molded in pressure sensor provides an extremely reliable seal between the sensor 10 and plastic housing.

5 With reference again to the Figures 3 and 4, flexure of the diaphragm 14 will now be discussed. First dotted line identified by 40 represents a greatly exaggerated flexure of the diaphragm 14. Second dotted line identified by 42 represents a flexure of the diaphragm due to overpressure (disregarding the stopping affect the backing plate 12 has on flexure of the diaphragm during overpressure). Such drastic flexure would likely  
10 fracture or break the diaphragm 14. Figure 5 shows a modified diaphragm 14, having a thinner central portions of the diaphragm than the outer portion of the diaphragm. Typically, as the diameter of the diaphragm is decreased, the thickness of the diaphragm should decrease for maximum sensitivity. The gap between the diaphragm 14 and backing plate 12 may be controlled by the thickness of the glass bond 16. Without limitation, a  
15 typical flexure of the diaphragm is between 0.01 to 0.0001 inches and the spacing may be between .02 to .0002 inches depending upon the thickness and diameter of the diaphragm 14. The order of magnitude of the gap is preferably twice the thickness of the diaphragm 14. The active sensing region of the diaphragm may range between 0.075 to 2 inches for a diaphragm having a thickness ranging from 0.002 to 0.050 inches. Practical constraints  
20 limit the thickness of a single crystal sapphire wafer during wafer fabrication. Unlike single crystal silicon, however, there is no easy method of forming thin sapphire diaphragms by chemical processes. Although manufacture of the diaphragm from a thinner sapphire wafer works up to a point, the high thermal stresses induced during the sensor forming process result in self-destructing internal stresses. Alternatively,  
25 increasing the diameter of the sensing area of the diaphragm increases the sensitivity of a pressure device. However, typically as the diameter of the diaphragm increases so do the costs.

30 The modified diaphragm 14 shown in Figure 5 reduces the thickness of the diaphragm proximate the sensing area while being manufactured from a thicker sapphire wafer. Thinning the diaphragm after thin film processing has been completed allows for more compliant pressure sensing diaphragms. A rim of material left around each device

-13-

provides strength required, for example, when the sensing diaphragm is in direct contact with a pressure sensor housing. The thin central area 46 provides the sensitivity required. The sapphire diaphragm 14 can be thinned by conventional mechanical means such as abrasive machining or ultrasonic machining known to those skilled in the art.

5 Alternatively, an annular groove 80 may be formed on the outer sensing surface of the diaphragm 14 (see Figure 17). Those skilled in the art will appreciate that although the shape of the groove is not critical, rounded edges and groove is preferred. Also, although the groove is annular, other geometric shapes may be adequate to relieve flexure stress in the region adjacent the glass bond 16.

10 Referring now to Figure 11 an alternate embodiment of the pressure sensor of the present invention is shown having a conductive layer sandwiched between the backing plate 12 and the silicon nitride layer 24. The conductive layer 48 is shown electrically grounded. In this manner electromagnetic and radio frequency interference (EMI and RFI) are blocked. EMI and RFI are known to degrade the performance of piezoresistive

15 sensors. Because of the epitaxial construction of silicon on sapphire and the desire to bond the silicon directly to the sapphire, it is not desirable to put a conductive layer between the silicon and the sapphire. Further, putting a conductive layer on the outside of the sapphire diaphragm would defeat the non-porous, chemically inert attributes of the sapphire diaphragm. Without limitation, the conductive or metalization layer 48 may comprise a 20 layer of niobium, tungsten, iridium, molybdenum, tantalum, platinum, and palladium, or other material known to shield EMI and RFI. Thus, the metal layer 48 shields the sensing element from EMI and RFI originating from above the conductive layer.

25 Since the conductive layer 48 is at ground potential, the EMI and RFI will set up standing waves with zero potential at the conductive layer 48. It is known that if the radiation of the standing waves has frequency components whose wavelength is on the order of the distance between the ground plane and the resistive components, significant interference will result. If, on the other hand, the distance from the ground plane to the resistive components is small, then the standing waves will have negligible amplitude at the location of the piezoresistive element and no interference will occur. Since EMI and RFI interference occurs in the range of 1MHz to 1,000 MHz, the minimum wavelength for 30 this frequency range is 0.3 meters. Further, the distance between the ground plane and the

-14-

piezoresistive elements or the silicon pattern 20 is equivalent to the thickness of the silicon nitride layer, which is on the order of 500 Angstrom's or 0.0000005 meters. Thus, the expected effectiveness of EMI and RFI shielding is approximately 6,000,000:1.

Referring now to Figure 12 another alternate embodiment of the sensor 10 of the present invention is shown. A non-porous chemically inert pressure sensor may be used advantageously to detect pressures in a highly caustic environment. Sensors having a sensing diaphragm constructed with single crystal sapphire provide excellent protection against chemical attack. The sensor 10 may be positioned within a pressure transducer housing 50 (see Figure 13) having primary and secondary seals 52 and 54. If the primary seal engages the outer surface of the sapphire diaphragm, the process fluid wets only the seal and the sapphire. Since seals of known suitable construction are permeable to process fluids, some process fluid will get beyond the primary seal. Very aggressive process fluids such as hydrofluoric acid that permeate past the first primary seal may attack the joint between the sapphire diaphragm 14 and the ceramic backing plate 12. The contaminants from the corrosion of the joint may then permeate back into the process fluids. The present invention may include a chemically resistant polymer such as an acid resistant epoxy, for example without limitation, acid resistant epoxy EP21AR available from Master Bond, Inc. of Hackensack, N.J. applied to the edge of the sensor 10 surrounding the joint. Alternatively, a gasket type seal made of, for example without limitation, TEFLON, or an elastomeric type seal 84 made of, for example without limitation, KALREZ, may be compressed against the joint of the sensor as shown in Figure 18. The seal 84 has an L-shaped cross-section and may wrap around the side of the sensor 10 and onto the diaphragm 14 sensing outer surface. Those skilled in the art will appreciate that the gasket seal 84 may be formed as part of the housing 50. Further, to enhance electrical shielding, the material could be made electrically conductive by blending in carbon powder. The conductive epoxy could be connected to an electrical ground by means of conductive ink 58 which is coupled to the ground.

Referring to Figure 13 the sensor 10 is shown positioned within a pressure transducer housing 50 having fluid port 60. The sapphire diaphragm seals against the primary and secondary seals 52 and 54. A vent or drain 62 may extend from the outside of the pressure transducer housing into the housing between the primary and secondary seal. The vent 62 may relieve pressure between the seals and/or provide a passage for fluids

-15-

permeating through the primary seal to exit out the pressure transducer housing 50. The sensor 10 of the present invention having a sapphire diaphragm 14 provides a pressure sensor that is corrosion and solvent resistant, has desired flexure with no measurable temperature or pressure hysteresis, and can tolerate process fluid temperatures exceeding 400°C. Referring to Figure 14, since the pressure sensor is able to withstand high temperatures, the pressure sensor may alternatively be molded into the plastic housing 50 of the pressure transducer as an insert during the plastic injection molding process, thereby eliminating the need for a primary or secondary seal. The housing itself acts as a seal to the sensor 10. Such mold in place pressure sensor and module is expected to reduce production costs, simplify construction and decrease the overall size of the pressure transducer module.

Referring to Figure 15, another alternate embodiment of the sensor 10 of the present invention is shown. The sensor 10 is capable of detecting both the pressure and temperature of the fluid adjacent the diaphragm 14. The sensor 10 further includes a resistor 70 patterned on the sapphire diaphragm 14. Bond pads 72 are formed on the sensor in a similar manner and at the same time as bond pads 26. The resistor 70 is formed between the glass bond 16 and the diaphragm 14. By positioning the resistor outside the pressure stress zone, pressure induced stresses that may affect the resistance of resistor 70 are thereby avoided. The resistance of the single crystal silicon resistor 70 has well-defined temperature dependence. It has been found that for high doping concentrations (p doping above  $10^{19}$  atoms/cc) the function between temperature and resistance closely approximates a linear function. Thus, as resistance changes the temperature change is readily determinable.

Figure 16 shows another embodiment of the sensor 10, wherein the resistors of the Wheatstone bridge 22 are utilized to both determine pressure and temperature. The outer periphery of sensor 10 is represented by a dotted line. Again, the resistance of the single crystal silicon resistors that comprise the Wheatstone bridge have well-defined temperature dependence. A resistor 76 designated as "R<sub>t</sub>" in Figure 16 is electrically coupled to the Wheatstone bridge 22 but may be isolated from any temperature affects from changes in temperature of the process fluid. For example, without limitation, the resistor 76 may be located with the sensing electronics of a pressure transducer and remote

from the diaphragm 14. The value of the resistor 76 is preferably approximately half of the value of the Wheatstone bridge 22 resistance. The effects of pressure on the accuracy of the temperature determination is negligible when the temperature is determined using a polynomial along with data fitting procedures known to those skilled in the art. As the 5 Wheatstone bridge 22 resistance changes with temperature the voltage  $V_t$  will also vary. The whole bridge may be utilized as one resistor in a voltage dividing circuit. The voltage  $V_t$  can then be used as a temperature signal for an analog or digital correction scheme.

The voltage  $V_t$  will depend almost entirely upon the temperature of the Wheatstone bridge 22, especially if the silicon resistors are heavily doped. If the silicon resistors are 10 lightly doped or if the user desires to reduce the uncertainty in the measurement of temperature, the temperature can be derived by a matrix characterization. The following polynomial may be utilized, wherein temperature  $T$  is expressed both as a function of outputs  $V_t$  and  $V_p$ :

$$T = a_{00} + a_{01}V_t + a_{02}V_t^2 + \dots + a_{10}V_p + a_{11}V_pV_t + a_{12}V_pV_t^2 + \dots + a_{20}V_p^2 + \dots$$

15 wherein the coefficients  $a_{\alpha\beta}$  are obtained by a least squares fitting procedure known to those skilled in the art. Utilization of the above characterization along with the data fitting procedure will provide a sensor with a calibrated temperature output that is calibrated for strain effects. Thus, the simultaneous measurement of pressure and temperature from a single sensor is achieved with quick response times. Alternatively, if 20 only temperature output is desired, pressure characterization can be avoided by orienting the legs of the resistor in the axis that is not strain sensitive. For example, maximum strain sensitivity of R-plane silicon on sapphire is attained by orienting the resistor elements 45 degrees to the projected C-axis, where the R-plane and C-axis are defined by Miller indices of crystal geometry. Piezoresistance is zero for resistor elements aligned parallel 25 or perpendicular to the projected C-axis. The axis of the resistors can be rotated to eliminate pressure sensitivity. In this manner, sensor 10 could be made to eliminate pressure sensitivity and to, thus, only determine temperature proximate the sensor 10.

30 This invention has been described herein in considerable detail in order to comply with the patent statutes and to provide those skilled in the art with the information needed to apply the novel principles and to construct and use such specialized components as are required. However, it is to be understood that the invention can be carried out by specifically different

WO 02/08713

PCT/US01/22919

-17-

equipment and devices, and that various modifications, both as to the equipment and operating procedures, can be accomplished without departing from the scope of the invention itself.

What is claimed is:

## CLAIMS

1. A sensor having non-porous outer surface, said sensor comprising:  
a backing plate having an inner and outer surface;  
a non-porous diaphragm having an inner and outer surface;  
5 a sensing element adjacent the inner surface of the diaphragm;  
a glass layer that is bonded by glassing to the inner surface of the backing plate and  
the inner surface of said non-porous diaphragm proximate an outside periphery thereof,  
thereby bonding said backing plate and said non-porous diaphragm, wherein at least one of  
pressure and temperature near said non-porous diaphragm is detectable by said sensing  
10 element.

2. The sensor as recited in claim 1, wherein the non-porous diaphragm is  
comprised of a chemically inert material.

15 3. The sensor as recited in claim 2, wherein said glass has both a high bond  
strength and high melt temperature.

4. The sensor as recited in claim 1, said glass layer having a thickness dimension,  
wherein when the non-porous diaphragm flexes to a desired maximum flexure, a portion of  
20 the inner surface of the diaphragm engages an inner surface of the backing plate.

5. The sensor as recited in claims 1-4, wherein the backing plate and non-porous  
diaphragm are constructed of materials having similar thermal expansion rates.

25 6. The sensor as recited in claims 1 and 2, wherein said sensing element detects  
an absolute pressure.

7. The sensor as recited in claims 1 and 2, further including an aperture  
extending through said backing plate to allow detection of gauge pressure.

30 8. The sensor as recited in claim 1, further including an epitaxially deposited  
silicon layer on a sapphire diaphragm between the backing plate and the diaphragm, wherein  
said sensing element is formed thereon.

9. The sensor as recited in claim 8, further including a chemically resistant layer positioned between the silicon layer and the backing plate, wherein said chemically resistant layer acts as an electrical insulator.

5 10. The sensor as recited in claim 8, further including bond pads between said glass layer and said non-porous diaphragm.

11. The sensor as recited in claim 10, further including windows formed in said glass layer providing access to said bond pads.

10 12. The sensor as recited in claim 1, further including a silicon layer positioned between the non-porous diaphragm and backing plate, wherein said sensing element is formed thereon.

15 13. The sensor as recited in claim 1, further including a metalization layer between the non-porous diaphragm and the backing plate to block EMI/RFI from affecting the sensing element.

14. The sensor as recited in claim 10, wherein said bond pads comprise a titanium 20 layer and a diffusion barrier.

15. The sensor as recited in claim 1, further including a chemically resistant polymer adjacent to at least a portion of an outer edge of said non-porous diaphragm and said 25 backing plate.

16. The sensor as recited in claim 1, wherein the non-porous diaphragm is comprised of sapphire.

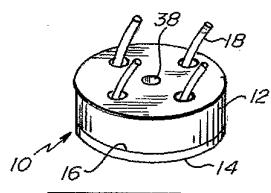
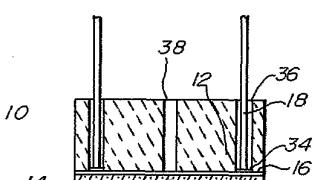
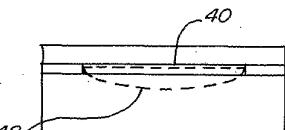
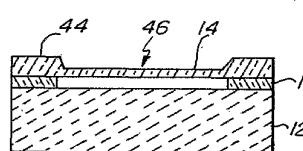
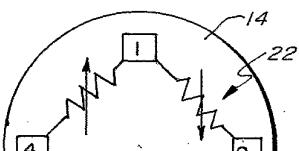
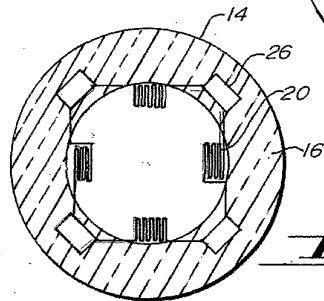
17. The sensor as recited in claim 1, wherein said sensing element is of a 30 capacitive type.

18. The sensor as recited in claim 1, wherein said glass layer is selected from a glass having a melt temperature above 700°C.

WO 02/08713

PCT/US01/22919

1/4

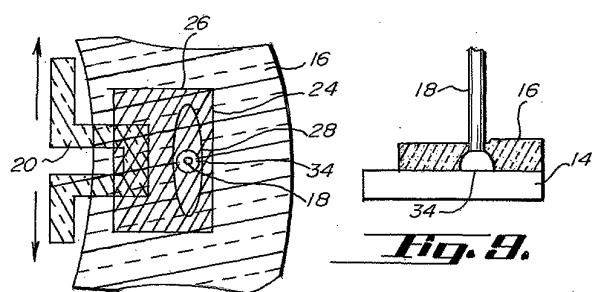
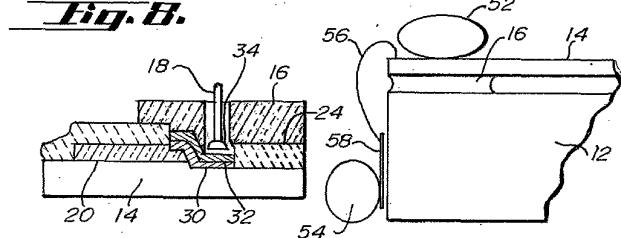
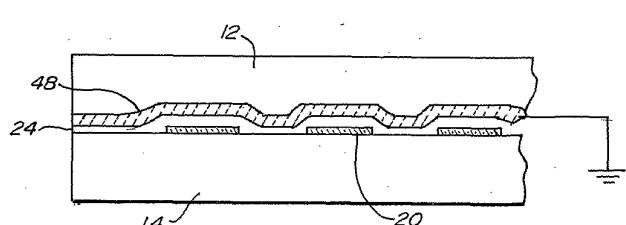
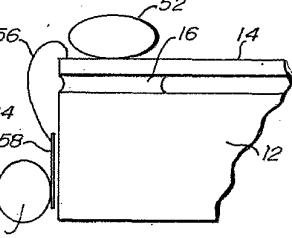
**Fig. 1.****Fig. 2.****Fig. 3.****Fig. 4.****Fig. 5.****Fig. 6.****Fig. 7.**

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/08713

PCT/US01/22919

2/4

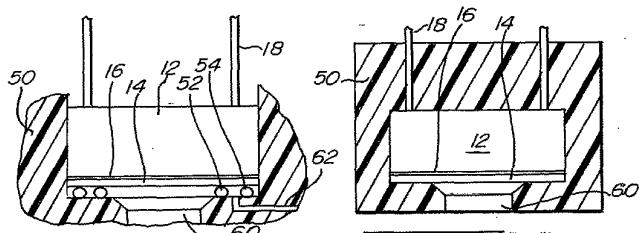
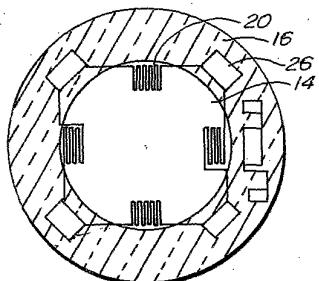
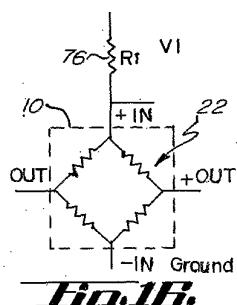
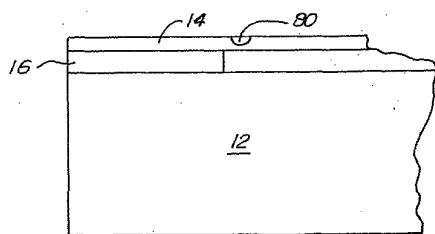
Fig. 8.Fig. 9.Fig. 10.Fig. 11.

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/08713

PCT/US01/22919

3/4

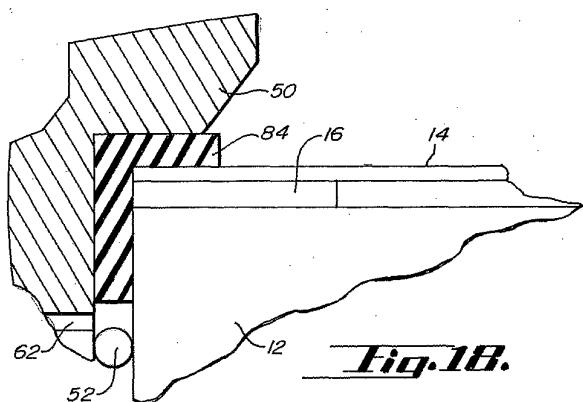
Fig. 13.Fig. 14.Fig. 15.Fig. 16.Fig. 17.

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 02/08713

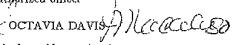
PCT/US01/22919

4/4



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US01/22919
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(7) : G01L 19/04 US CL : 78/708 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 78/708, 720, 718, 725, 791		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EAST		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6,012,336 (EATON et al) 11 JANUARY 2000 (11.01.00), cols. 5 - 12 and 15, lines 31-64, 10-35, 45-55, 21-25, 45-67, 1-16, 17-29, 38-47 and 48-60.	1-18
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *B* earlier document published on or after the international filing date *L* document which may later depend on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than its priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search 05 NOVEMBER 2001		Date of mailing of the international search report <b>17 DEC 2001</b>
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-3280		Authorized officer  Telephone No. (703) 306-5896

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)\*

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VN,YU,ZA,ZW

(72)発明者 ピーターソン, トム

アメリカ合衆国 55317 ミネソタ, チャンハッセン, サンディー フック サークル 70  
20

(72)発明者 ディアズ ディアズ, ジョージ, アンドレス

アメリカ合衆国 ミネソタ, セント ポール, アーリントン ロード 387

(72)発明者 キューチ, ジェラルド, アール

アメリカ合衆国 55403 ミネソタ, ミネアポリス, アパートメント ナンバー 1907,  
イエール プレース 1201

F ターム(参考) 2F055 AA31 AA40 BB01 BB03 CC02 DD05 DD19 EE14 EE25 FF02

FF38 GG01 GG12 GG32

4M112 AA01 BA01 BA07 CA01 CA03 CA08 CA10 CA13 DA02 DA05  
DA06 DA07 DA09 DA10 DA14 DA16 DA18 EA03 EA07 EA08  
EA10 EA11 EA13 FA05 FA08 GA01