

(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2004-529332
(P2004-529332A)

(43) 公表日 平成16年9月24日(2004.9.24)

(51) Int.C1.⁷

GO1N 27/74

GO1N 25/18

F 1

GO1N 27/74

GO1N 25/18

テーマコード(参考)

2GO4O

2GO53

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願2002-572389 (P2002-572389)
 (86) (22) 出願日 平成14年2月25日 (2002. 2. 25)
 (85) 翻訳文提出日 平成15年9月12日 (2003. 9. 12)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2002/005700
 (87) 國際公開番号 WO2002/073175
 (87) 國際公開日 平成14年9月19日 (2002. 9. 19)
 (31) 優先権主張番号 09/805, 302
 (32) 優先日 平成13年3月13日 (2001. 3. 13)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

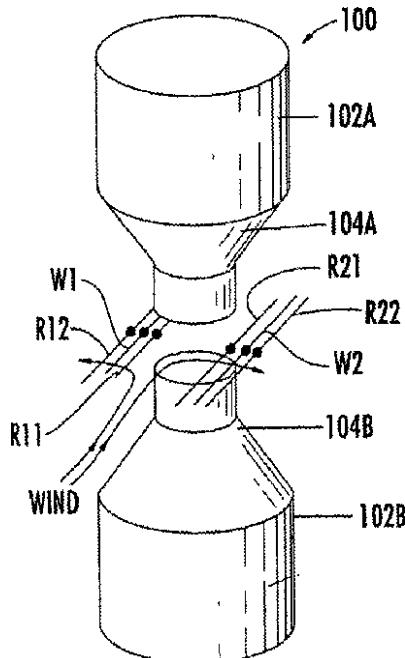
(71) 出願人 593048777
 パナメトリクス・インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国O2154マサチューセッ
 ツ州ウォルサム、クレセント・ストリート
 221
 (74) 代理人 100093908
 弁理士 松本 研一
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100106541
 弁理士 伊藤 信和
 (72) 発明者 メイヤー, エミリオ
 イタリア、イ-20090・アッサーゴ、
 2、ヴィーア・ディー・ディ・ナンニ(番
 地なし)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ゼロシフト補償酸素センサ

(57) 【要約】

磁気風酸素検知装置(100)は、磁極片(102A、102B)により規定される局所的な磁界を提供し、周囲の混合気体における酸素濃度を測定するために局所的な磁界内のブリッジにおいて複数の熱素子(W1、R11、R12；W2、R21、R22)を使用し、磁気風を生成すると共にその結果として検知素子において誘起される熱効果を判定する。一方が各風発生器の上流にあり、他方が下流にあり、双方が隣接する気体とほぼ熱平衡状態にあるように一对の検知素子が配置される。酸素があると、2つの検知素子の一方は、局所的なヒータにより設定される温度より低くなるように受動的に冷却され、他方は、それより高くなるように受動的に加熱される。酸素がない場合、各センサは同じ温度にあるために自己ゼロ化する。このゼロ点は異なる熱特性を有する複数の背景気体が存在するときにはシフトしない。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

局所的な磁界で動作可能な磁気風酸素検知装置であって、前記局所的な磁界内のブリッジに複数の熱素子が配置され、磁気風を生成しその結果として前記素子において誘起される熱効果を判定することによって周囲の混合気体における酸素濃度を測定し、前記風が前記気体中に存在する酸素の常磁性を局所的に弱める1対の加熱素子により生成される磁気風酸素検知装置において、

前記加熱素子の各々は、ブリッジに配置される2つの熱検知素子により包囲され、前記検知素子が周囲の気体とほぼ熱平衡状態にあるように動作させられるため、ゼロ点が背景気体の組成の変化に伴って変動しないことを特徴とする磁気風酸素検知装置。 10

【請求項 2】

前記検知素子は、前記加熱素子から独立した電源を使用する請求項1記載の磁気風検知装置。

【請求項 3】

前記加熱素子は、前記検知素子の出力を一定に維持するように可変的に給電される請求項1記載の磁気風検知装置。

【請求項 4】

前記検知素子は、酸素レベルがゼロのときにゼロ読み取り値を提供するように構成された自己ゼロ化ブリッジに配置される請求項1記載の磁気風検知装置。 20

【請求項 5】

前記検知素子は、前記素子の位置が熱クリープ及び変位の影響を受けないままであるように、受動的に直接の周囲の気体の局所的な周囲温度とほぼ同じ温度であり、それにより前記ブリッジの長期安定性を向上する請求項1記載の磁気風検知装置。

【請求項 6】

局所的な磁界で動作可能な磁気風酸素検知装置であって、前記局所的な磁界内のブリッジに複数の熱素子が配置され、磁気風を生成しその結果として前記素子において誘起される熱効果を判定することによって周囲の混合気体における酸素濃度を測定し、前記風が前記気体中に存在する酸素の常磁性を局所的に弱める1対の加熱素子により生成される磁気風酸素検知装置において、

前記熱検知素子の各々は複数の熱検知素子と関連しており、全ての熱検知素子は、ほぼ隣接する気体の温度に受動的にあり、前記素子の位置が熱クリープ及び変位の影響を受けないままであるように、無視できる程度の電力損を有する検知回路を伴ってブリッジにおいて動作し、それにより前記ブリッジの長期安定性を向上する磁気風酸素検知装置。 30

【請求項 7】

局所的な磁界及び前記局所的な磁界内のブリッジに配置される複数の熱素子を提供し、磁気風を生成しその結果として前記素子において誘起される熱効果を判定することによって周囲の混合気体における酸素濃度を測定する種類の磁気風酸素検知方法であって、前記風が前記気体中に存在する酸素の常磁性を局所的に弱める1つ以上の加熱素子を提供することにより生成される磁気風酸素検知方法において、

2つの熱検知素子により包囲される1対の加熱素子を提供することと、 40

ブリッジを成し、ゼロ点が背景気体の組成の変化に伴って変動するのを防止すべく前記検知素子がほぼ隣接する気体の温度にあるように無視できる電力損を有する検知回路を伴って動作する前記検知素子を配置することとから成ることを特徴とする磁気風酸素検知方法。

【請求項 8】

前記検知素子から独立した電源を用いて前記加熱素子を駆動する過程を更に含む請求項7記載の磁気風検知方法。

【請求項 9】

前記検知ブリッジの出力を一定にするようにフィードバックループにおいて前記加熱素子を駆動する過程を更に含む請求項7記載の磁気風検知方法。 50

【請求項 10】

酸素レベルがゼロのときにゼロ読み取り値を提供するように構成された自己ゼロ化ブリッジに前記検知素子を配置する過程を更に含む請求項7記載の磁気風検知方法。

【請求項 11】

前記素子の位置が熱クリープ及び変位の影響を受けないままであるように、前記検知素子がほぼ一定の周囲温度に受動的にあるように配置し、それにより前記ブリッジの長期安定性を向上する過程を更に含む請求項7記載の磁気風検知方法。

【請求項 12】

磁気風を生成しその結果として前記素子において誘起される熱効果を判定することによって周囲の混合気体における酸素濃度を測定するように局所的な磁界に対して配置されるブリッジに複数の熱素子を配置する過程とこれを動作させる過程とから成り、前記風が前記気体中に存在する酸素の常磁性を局所的に弱める1対の加熱素子を駆動することにより生成される磁気風酸素検知方法において、
10

ブリッジを成すように構成され、検知回路を伴って動作させられる1対の検知素子を含む1組の熱検知素子を提供する過程から成り、

前記検知素子は、ほぼ一定の局所的な温度と熱平衡状態にあり、その結果、前記素子の位置が熱クリープ及び変位の影響を受けないままであり、それにより前記ブリッジの長期安定性を向上することを特徴とする磁気風酸素検知方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

20

【0001】

本発明は、混合気体中に存在する酸素の濃度を測定するためのセンサであり、混合気体中の酸素の常磁性により測定装置内の磁界に形成される風に起因する熱効果の検知に依存するセンサ及びシステムに関する。酸素濃度の測定に関しては様々な測定装置の記述が行なわれてきているが、これらの磁気風酸素検知システムは、磁界に配置されると常磁性酸素がある方向に圧力を及ぼすのに対して、ほぼ反磁性気体から構成される混合気体の酸素以外の成分は局所的な磁界による影響を受けないという事実に基づいている。酸素と反磁性気体との混合気体は、磁気的な観点からみて、各成分の磁化率の重み付き平均に等しい磁性（磁化率）を有する単一の成分としてふるまう。

【背景技術】

30

【0002】

この種の装置の1つは、温度と酸素の磁化率との間の逆の関係に基づいて酸素の濃度を測定する。この装置は、磁界の局所的な領域において酸素を含有する混合気体の一部の温度を上昇させて差圧を生み出し、指向性の風を発生させるためにヒータを備える。風の強さは、局所的な磁界、局所的な温度差又は温度勾配、及び酸素のレベルによって決まる。風の移動により熱が伝達されたり、構成要素のいずれかが選択的に冷却されたりするよう、加熱素子と熱検知素子とを近接して配置することによって、この風の強さ又は酸素濃度に対する機能的な関係が調整されても良い。

【0003】

1つ以上のこれらの効果を利用する計測器について記述する従来技術の刊行物及び特許の幾つかが、出願人の先願である特許文献1、特許文献2において参照されている。これらの特許の全内容は参照により本明細書に組み入れられる。検知ブリッジ及びブリッジを平衡化する温度制御構成又は電流制御構成を示す回路図に特に注目する。補正の必要がある複雑にする要因の中に、いわゆる煙突効果、すなわち、加熱された気体の密度低下により誘起される自然の指向性の流れが熱素子の応答を混乱させないように配置、すなわち、幾何学的配置を規定する問題と測定量に加えて背景気体の特定の熱又は熱容量による冷却速度又は加熱速度を補償する問題とがある。前述の特許では、これらの要因に対処する構成が幾つか提起されている。回路レベルでは、これらの構成は、空間的な配置の結果として対称性を得る効果を平衡化させるべくブリッジを成すように配置された複数の加熱素子又は検知素子の使用を含むかもしれない。別の有用な技術は、アセンブリの一部を一定の温
40

50

度に電気加熱し、その温度を維持するのに必要な電流を監視することを含む。この電流は、他のパラメータが参照される正規化測定値を得るのに使用されても良い。

【特許文献1】

日本特許第2515247号

【特許文献2】

日本特許第2947904号

【0004】

この技術の1つの基本的な制限は、風を検知するのに小型の被加熱検知素子を使用することにある。これらの素子の温度は、加熱フィールド構造及び磁気フィールド構造により誘起される磁気風の大きさのみならず、存在する背景気体の熱伝達特性によっても影響される。背景気体の変化は、検知回路のゼロ点（すなわち、酸素濃度が0のときの出力）においてシフトを誘起する。

【0005】

更に、前述の特許に示すような構成により常磁性酸素検知システムの正確性は向上されたが、これらの構成はブリッジ構成における複数の素子の使用に依存する。このため、通常、各素子の応答及び特徴パラメータが相当に類似している必要がある。すなわち、各構成要素が整合する必要がある。各構成要素の回路特性の整合は、通常、実行可能であり、特に、数百又は数千の実質的に同一のユニットが单一のウェハ上に单一のプロセスで作製された薄膜デバイスの場合には、整合は最初に非常に正確に実行されても良い。しかし、基本的な応答特性の最初の整合は、精度の維持を保証するには不十分である。実際問題として、サーミスタ又は抵抗型加熱素子などの別個のセンサが使用される場合、センサデバイス内に搭載・配置するプロセスは、応答の非対称又は配置の不安定性をもたらす恐れがあり、結果としてある時間にわたって応答が非対称になる。例えば、サーミスタが大規模な磁石構造の壁に近接して搭載される場合、サーミスタと壁との間の気体の伝導による冷却速度は、背景気体の組成及びその熱容量に伴って変動する。更に、ある背景気体において、このような導電性の損失は、壁への近接度がわずかに変化するだけでも顕著に影響を受ける。これにより、不相応に大きな導電性又は放射性の熱損失が発生するか、あるいは、逆に境界層流の停滞が発生する恐れがある。

【0006】

先行技術では、背景気体の熱特性への依存に対処するために種々のアプローチが提起されてきた。例えば、先に引用した特許では、ブリッジを一定の温度に維持し、背景気体の効果を補償するための調節を実行する方法及び回路が教示されている。しかし、このようなブリッジ回路は、背景気体の変化により誘起される変動を拡大する恐れがあり、補正回路はこのような背景誘起変動に対して十分な補正を行なわない可能性がある。更に、ブリッジ中の面的に同一の構成要素は、直列に配置される場合には同じ駆動電流に対して異なる応答をする可能性がある。これは、これらの熱損失特性があまり整合していないからである。不整合は、回路素子の応答において内在的に発生するか、あるいは、対の一方が近くの構造から50又は100 μm ずれた位置に配置されるために発生する。小型の被加熱素子は、本質的に熱応力及び熱サイクルに影響されやすく、ワイヤをシフトさせると共に局所的な幾何学的配置を経時変化させる。最初に適切に配置され、整合している構成要素の集合に対してさえも、先に説明したような非対称効果をもたらす。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

これらの効果は、ブリッジ回路の実際の有効性を不均衡化する又は損ねる可能性があり、調整の損失につながる恐れがある。

【0008】

磁界内の常磁性気体の作用により発生する力のレベルは微小であり、誘起される風の効果を検知可能であるように熱検知素子及び熱発生素子が十分に小型化される必要があるため、問題は悪化する。高流束が達成され、風が効果的に流れて高速化されるように、センサ

10

20

30

40

50

は十分に小さい通路に搭載されるのが更に望ましい。しかし、小型の熱素子は必ず小型の導体に搭載されるので、通常の屈曲、構造的なたわみ、振動、及び熱膨張の効果は、加熱・検知素子の実際の位置の移動、すなわち、シフトをもたらす結果となる。このため、風により誘起される熱伝達、各々が熱を損失する速度、一定の温度、抵抗値、又は素子内の信号を維持する電力への応答は、背景気体の特性に伴う変化と同様に経時変化することになる。これは、各素子が加熱されて風を発生すると共に、加熱された素子へ伝達する熱又は素子から伝達される熱に応答する検知素子として使用される構成において特に言えることである。

【0009】

この問題への1つのアプローチは、従来の検知ブリッジ回路を組み込む厳密なプレーナデバイスを提供する、すなわち、チップの表面上に極めて正確な配列を成して作製される抵抗型加熱素子及び温度検知素子を有する小型のチップを提供することである。しかし、このような構成は独自の問題をもたらす可能性がある。所期の検知環境に対して要求される金属被覆が所望のチップ技術の金属化学との適合性がないのみならず、厳密なプレーナデバイスの使用は、小さな風の効果に依存する測定装置に適していない可能性がある。これは、プレーナデバイスの表面に近接して測定される気流に多大な影響を及ぼす境界層効果が、モデル化したり、漸近極又はヌル運動を有するのが困難である可能性があり、酸素レベルを伴う応答の補正を防止するであろう変動に適用できない、すなわち、影響されやすい通常の物理モデルをレンダリングするためである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

従って、改善された安定性及び予測可能性を有する常磁性酸素検知装置を提供するのが望ましいであろう。

【0011】

更に、酸素成分が出現する背景気体の組成の変化に伴う変動及び外乱をうけにくくする磁気風酸素検知装置を提供するのが更に望ましい。

【0012】

上述の所望の目的の1つ以上は、本発明によれば、例えば、磁極片により規定される局所的な磁界を提供し、周囲の混合気体中の酸素濃度を測定するために局所的な磁界においてブリッジを成すように配置される複数の熱検知素子を有する磁気風酸素検知デバイスによって達成される。このデバイスは、磁気風を発生させ、その結果として素子内で誘起される熱効果を検知する。風は高電界強度の領域に配置される加熱素子により発生する。熱は気体中の酸素の常磁性を局所的に弱め、同一組成の未加熱気体と比較して圧力降下を引き起こす。その結果、磁界の冷却気体が暖められた気体に取って代わり、ヒータ素子の上方に流れる。各風発生器は2つの検知素子間に配置される。この検知素子は、共に風発生器から熱を受けるが、一方は幾分か冷却され（全体としての測定セルの低温度領域から気体を流すことによる。測定セルはここでは、単に「周囲」と呼ばれる）、他方は生成された風によって幾分か加熱されるように配置される。重要なのは、酸素がないときには気流がなく、中間に配置される風発生器から受ける熱により2つの検知素子は同じ温度（直接包囲する気体の温度もある）になることである。結果として、周囲の（固定の）気体の導電特性が変化するときでもゼロ点は固定のままである。酸素が存在するときには風が発生する。この風が上流のセンサにより受ける熱を削減し、実際に同量だけ下流のセンサが受ける熱を増加させる。しかし、2つのセンサの全体的な抵抗値はほぼ変化しない。従って、この量は、中央の風発生ヒータ要素のレベルを正確に制御するのに使用することができる。

【0013】

検知素子はブリッジを成すように配置されるのが好ましく、検知は非常に弱い電流の回路に取り付けられる素子を用いて検知素子の抵抗値を検出することにより実行されるので、素子における電力損失は無視できる程度である。風発生器又はヒータ素子は、可変のレベルで給電されても良く、検知素子の温度又は検知素子から構成されるブリッジ回路の出力

10

20

30

40

50

を一定のレベルに維持するためにフィードバック信号に応答する。検知部は、風発生ヒータ素子から完全に独立した電源を更に使用しても良い。この場合、読み取り値は風発生器へと伝達されるヒータ電力のレベルの変化による影響を受けない。従って、好適なセンサブリッジは、自己ゼロ化して酸素レベルが背景気体の組成に関わりなくゼロであるときにゼロの読み取り値を提供し、位置変化及びブリッジの応答のセンサにおいて結果的なアーティファクトをもたらす熱応力には影響されない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

本発明の性質及び目的をより完全に理解するために、以下の詳細な説明及び添付の図面を参考する。

10

【0015】

本発明の主要な面によると、改良型の熱磁気風センサは、検知アセンブリの損失定数の不整合又は変化に起因する可変性による影響をほとんど受けないように構成されるセンサ構成により達成される。上述のように、背景気体の熱特性に変化があるとき及び回路素子にごくわずかな変位が発生するときには、熱損失が変動しやすい。本発明の一面では、1つには、正確な位置に表面の加熱素子又は検知素子を有する幾何学的配置の制御されたデバイスを設けることによって、このような作用の1つ以上による影響を免れることができる。別の面において、本発明は加熱機能又は風発生機能と検知機能とを分離するので、検知素子が漸進的な熱シフト、ひずみ、及び応力にさらされることはない。好適な面において、対の検知素子は受動的に加熱又は冷却されるように構成されるが、その温度は常に局所的な測定領域の周囲温度の近辺にあり、例えば、周囲温度よりわずかに高い温度で維持されても良い。更に第4の面において、本発明は、一対のヒータ素子の各々の磁気風における上流及び下流に検知素子を配置し、検知素子から成る検知ブリッジを形成する。

20

【0016】

検知素子は、指向性作用を補償するために加熱素子の周囲に対称的に配置されても、一定の又は制御された温度を有する測定ブリッジ回路に配置されても良い。検知素子は出力信号の必要条件に適合するような制御された電流レベルで動作するのが好ましいが、このレベルは、自己発熱がごくわずかな閾値を下回る程低いレベルである。測定ブリッジの抵抗値は、被加熱風発生素子に供給される駆動電流を変化させることによって一定のレベルに制御されても良い。すなわち、中央に配置され別々に電力を供給される風発生加熱素子により発生する熱は、測定ブリッジからのフィードバックを使用して制御される。

30

【0017】

このように構成されているので、酸素が存在しないときには双方の測定センサが加熱素子の周囲の局所的な領域の気体とほぼ同じ温度にある（例えば、約120に設定されても良い）。従って、背景気体の組成の変動により、様々なセンサの熱損失が変化したり、ゼロ点がシフトしたりすることはない。測定セルは全体として気体環境よりもわずかに高い温度、例えば、約100に維持されても良い。酸素が気体中に存在するときには、一対のセンサの温度はわずかに異なるが、その平均温度は変わらない。このため、磁気風が存在する場合でも温度の格差はごくわずかであり、熱サイクルのレベルは無視することができる。

40

【0018】

結果として、この構成では非常磁性気体の各成分の組成が変化してもセンサに対して原点オフセットが行なわれることなく、センサワイヤは従来の構成での熱サイクル及びクリープの影響を受けることはない。短期変化の主要な環境的原因及び長期ドリフトの主要な物理的原因に影響されなくなる。

【0019】

本発明は、図1に示す従来の酸素センサ装置100の説明に続く特定の実施例の状況において最も良く理解されるであろう。図1に示すように、2対の電熱式サーミスタR1、W1及びR2、W2が強力な磁界の縁部に配置される。電熱式サーミスタの各対のうちの第2サーミスタ、例えば、サーミスタR1又はR2は、対応する風発生被加熱サーミスタW

50

1又はW 2に隣接するようにそれぞれ配置されるが、磁界の強度が最も高い領域の外側に選択的にオフセットされる。これは、図1では、2つの対向する磁石部分102a、120bの磁極片104aと104bとの間に定められる間隙に隣接するように示されている。この構成において、周囲気体中に酸素が存在し、サーミスタW 1及びW 2が電気的に加熱される場合、ヒータの周囲の常磁性の低下は、ヒータを越えた磁気領域からの正味圧力を招き、図1の矢印によって示されるように各対の隣接するサーミスタの方向へと動くように気流を導く。このため、風発生サーミスタW 1及びW 2は隣接するサーミスタR 1及びR 2に熱を奪われる。酸素の濃度に比例して、風発生サーミスタWの温度は下降し、検知サーミスタの温度は上昇する。先に参照した特許では、多様なドリフト又は不安定性を補償することができる可変素子と共に種々の検出回路及び駆動回路を説明している。これらの回路では、素子R 1、W 1、R 2、及びW 2はブリッジを形成するように接続される。

10

【0020】

本発明の一面によると、図2に示すように風発生/検知構成を提供することによってこの構成の構造的不安定性及び背景気体依存状態に対処する。本発明のこの面では、各風発生器W 1又はW 2は、2つのセンサR 11、R 12又はR 21、R 22によりそれぞれ包囲される。図2に示すように、検知セルの幾何学的配置は、2つのサーミスタ又は他の検知サーミスタが各風発生素子の両側、すなわち、誘起された流れの方向に対して上流及び下流に配置される点を除いて図1の従来のセルに類似している。検知素子は対応する風発生器に近接して配置されているので、各対は風発生器により設定される温度とほぼ同じ温度である。すなわち、検知素子は風発生器及び隣接する環境によって受動的に加熱される。

20

【0021】

例示の実施例では、測定セル(すなわち、気体試料セル及び磁石間領域)は全体として1つの温度(例えば、約100)。通常、環境よりも幾分か高い)に設定されるが、風発生加熱素子には電力が供給するために発生器素子の直近の狭い領域ではより高い温度(例えば、約120)に設定される。この温度はセルの温度に近接するように設定されるのが好ましいが、存在するあらゆる酸素の常磁性のレベルを低下させる程に高い温度であるので、風を発生させる。図2において、矢印はセルの中央領域からセンサ及び風発生器を越えて外側に向かう気流の方向を示す。この構成では、酸素が存在するときには、高い磁界の間隙にある上流のセンサR 11及びR 21は1つの温度(例えば、ヒータW 1又はW 2により設定される公称の120よりわずかに低い)にあり、下流(外側)のセンサR 12及びR 22は、磁気間隙の高圧の領域からヒータW 1及びW 2を越えて外側に流れる風によりそのレベルをわずかに超えるように加熱される。本質的に、発生器W 1又はW 2により生成される局所的な熱は外側にシフトするので、内側のセンサよりも外側のセンサR 12及びR 22に影響を及ぼす。

30

【0022】

更に、図3Aを参照して以下で説明するように、検知サーミスタは、少なくともヒータドローから比較的独立している電流回路を用いて駆動されても良い。センサの電流は、ヒータの電流から完全に独立しているのが好ましく、図3Aに示すように、一定の電流供給により駆動されるサーミスタなどの抵抗型検知素子と共に実現されるのが最も好ましい。この電流は、検知素子の加熱が無視できる程度のものであるように十分に低く設定される。検知素子は、受動的に直接包囲する気体の温度又はその近辺の温度になる。周囲との熱交換は無視できる程度であり、試料気体中の様々な背景気体成分の熱容量の変化と共に変動することはない。結果として、センサのゼロ点は背景ガスの成分が変化してもシフトしない。また、全体的な温度差は小さくほぼ一定であるので、変化する熱サイクルの種別又は図1のデバイスにおいて発生する抵抗加熱のオフセットによる影響をほとんど受けない。種々のセンサ間で発生する位置決め又は位置における差異は、関連の整合する特徴に比較的小さい影響しか及ぼさない。更に、抵抗検知回路をヒータW 1及びW 2に対する駆動回路から独立させることによって、センサの読み取り値は風発生素子W 1及びW 2により引き起こされる電流の変動を受けて2次的な変化を被ることがなくなる。

40

50

【 0 0 2 3 】

図 3 A 及び 3 B は、この動作を達成するのに適した回路構成を示す。

【 0 0 2 4 】

図 3 B に示すように、図 2 に示す測定セルのための本発明の測定回路 200 は、直列接続された検知素子 R11、R12、R21、及び R22 を有する。内側のセンサ R11 及び R21 は、パワー端子 T1 と端子 T2 との間でブリッジの 1 つのレッグを形成し、外側のセンサ R12 及び R22 は端子 T2 と端子 T3 との間で別のレッグを形成する。図 2 の W1 及び W2 に対応する風発生素子 WG1 及び WG2 は、T1・T3 間に接続されるが、検知素子からは独立している。すなわち、WG1 及び WG2 は別の電流経路にあり、回路上の負荷の優勢を構成する。図 3 B において更に示されるように、検知素子により形成される 2 つのレッグは測定ブリッジ回路を構成する。この測定ブリッジ回路は、酸素が試料気体中にある場合に内側（上流）のセンサと外側（下流）のセンサとの間の温度差によりもたらされる抵抗値の変化により不均衡状態になる。不均衡状態は酸素濃度に比例する。

【 0 0 2 5 】

この回路の種々の特徴は、上述の米国特許で示される回路に類似している。回路のこのような面に対して一般的な検討を行なう場合にはこれらの特許への参照を行なう。増幅器 A1 は、一定の電圧供給源に接続される電位差計 RT を参照する入力を有し、その出力はトランジスタ ST を駆動して加熱素子 WG1 及び WG2 に対して調節可能な駆動信号を供給する。駆動信号は、これらの素子の温度又は電流を設定する。増幅器 A2 は、抵抗 RS を介してブリッジバランスを回復するのに必要な電流の変化を検知する。増幅器の出力はブリッジから得られる酸素読取り値を補正するための乗数として使用されても良い。

【 0 0 2 6 】

好都合なことに、本発明の測定セル中の加熱素子、すなわち、風発生素子は、測定ブリッジの一部を形成しない。検知素子は非常に高い抵抗値を有する可能性があるため、その中を流れる電流は小さく、顕著な内在性の加熱をもたらすことはない。検知素子は周囲の気体とほぼ熱平衡状態にある。結果として、周囲の気体の熱損失は無視できる程度であり、背景気体の熱容量における変化がブリッジ素子の動作温度に影響を及ぼすことはない。

【 0 0 2 7 】

図 3 A は、本発明の酸素検知システムの動作に対する別の回路を示す。本実施例では、風発生加熱素子 WG1 及び WG2 がブリッジ出力に基づいてトランジスタ ST により別個に電力を供給される一方、独立した一定電流の電源は、検知ブリッジ回路の両端に接続される。これにより、不整合又は制御不良の熱損失による変動のない極めて正確なブリッジ測定が可能になる。

【 0 0 2 8 】

本発明の別の面によると、検知システムは薄膜又はディスク基板センサ構成などの一様かつ正確なセンサブリッジ形状及び間隙配置形状を規定する統合的なセンサアセンブリを用いて実現されても良い。図 4 は、本発明のこの面の一実施例を示す。図 4 に示すように、本発明のこの面によると、薄型セラミックディスクなどの基板 D は、図中「S」として示される検知素子リード（プラチナリードなど）又は（例えば、リソグラフィマスクを介するスパッタリングなどにより）表面に形成された実際の検知素子の正確に配置されたパターンを有する。また、ヒータ素子は基板上に形成されても良いが、ヒータリードパッド「H」により定められた位置において示されるように、別々に取り付けられるのが好ましい。図面は概要を示しているに過ぎない。他の実現例では、製造必要条件を満たすため、ヒータ又はセンサを風の経路により良く配置するため、あるいは、常磁性風センサの物理的動作を最適化するために、説明した構造又は素子の変形物に対してポスト又はスタンドオフを使用しても良い。

【 0 0 2 9 】

本実施例では、固定で対称性の高い構成を有し、正確に整合する素子又は同一に作製された素子を搭載するチップ又はディスクを提供することにより、種々の素子は基本的な動作パラメータ及びゼロ点における不整合、熱クリープ、及びドリフトを防止するために正確

10

20

30

40

50

かつ不变の幾何学的配置を有することができる。

【 0 0 3 0 】

以上本発明を説明したが、当業者は更なる変更及び変形を想到するであろう。このような変更及び変形の全ては、本明細書において添付の特許請求の範囲とその同等物により定義されるように本発明の趣旨の範囲内にあるものと考えられる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 1 】

【図1】従来のブリッジ形酸素検知セルを示す概略図。

【図2】本発明による酸素検知セルを示す対応の概略図。

【図3A】本発明の実施に適した検知回路を示す図。

【図3B】本発明の実施に適した別の検知回路を示す図。

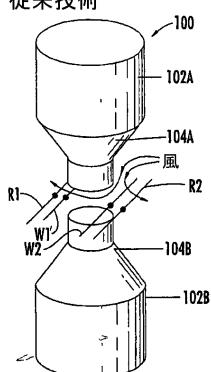
【図4】一体型基板における実施例を示す図。

【 符号の説明 】

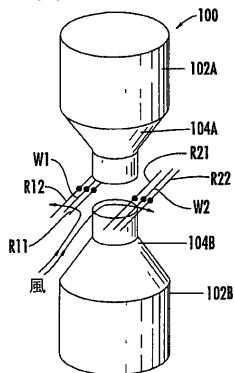
〔 0 0 3 2 1 〕

100...酸素センサ装置、102A、102B...磁石部、104A、104B...磁極片、
200...測定回路、R11、R12、R21、R22...検知素子、W1、W2...風発生被
加熱サーミスタ、WG1、WG2...風発生素子

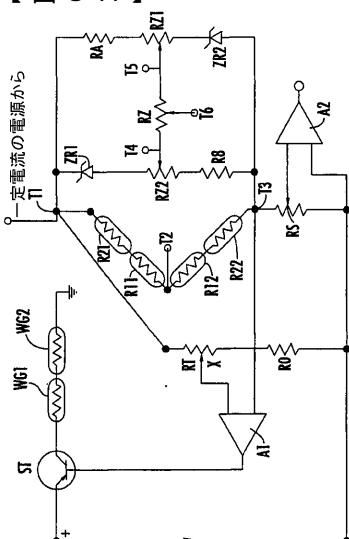
【図1】従来技術



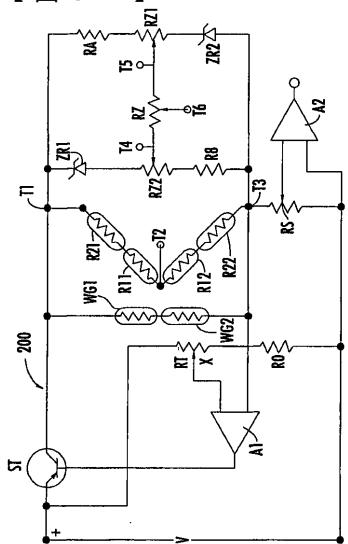
【 図 2 】



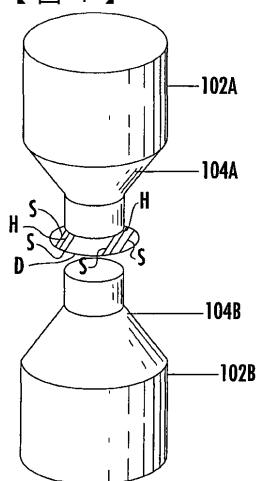
【図 3 A】



【 図 3 B 】



【 図 4 】



【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
19 September 2002 (19.09.2002)

PCT

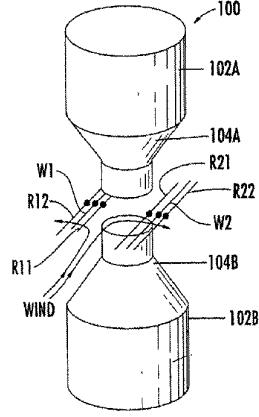
(10) International Publication Number
WO 02/073175 A1

- (51) International Patent Classification: G01N 25/00 (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, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, IIR, IU, 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, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TI, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (21) International Application Number: PCT/US02/05700
- (22) International Filing Date: 25 February 2002 (25.02.2002)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data: 09/805,302 13 March 2001 (13.03.2001) US
- (71) Applicant: PANAMETRICS, INC. [US/US]; 221 Crescent Street, Waltham, MA 02451-1018 (US).
- (72) Inventor: MEYER, Emilio; Via D. Di Nanni, 2, I-20090 Assago (IT).
- (74) Agent: THOMPKINS, Thomas, E., Jr.; Landorio & Teska, 260 Bear Hill Road, Waltham, MA 02451-1018 (US).

(54) Title: ZERO SHIFT COMPENSATION OXYGEN SENSOR



WO 02/073175 A1



(57) **Abstract:** A magnetic wind oxygen sensing device (100) provides a local magnetic field defined by magnetic pole pieces (102A, 102B), and employs a plurality of thermal elements (W1, R12, R11; W2, R21, R22) in a bridge in the local magnetic field to measure oxygen concentration in a surrounding gas mixture, creating a magnetic wind and determining the thermal effects induced in sensing elements as a result of the wind. A pair of sensing elements are positioned such that one lies upstream and one downstream of each wind generator, and both are substantially in thermal equilibrium with adjacent gas so they are unaffected by changes in thermal capacity of background gas components. When oxygen is present, the two sensing elements are passively cooled below, and heated above the temperature set by a local heater, respectively. In the absence of oxygen, the sensors reside at the same temperature, so they are self zeroing, and this zero point does not shift when background gas is with differing thermal characteristics are present. The arrangement is also immune to thermal creep and changes in physical position of the sensing elements that would otherwise introduce bridge asymmetries, offsets and drift artifacts.

(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

WO 02/073175

PCT/US02/05700

ZERO SHIFT COMPENSATION OXYGEN SENSOR

Background of the Invention

This invention relates to sensors and systems for measuring the concentration of oxygen present in a mixture of gases, wherein the sensor relies upon detection of thermal effects due to a wind formed in a magnetic field within the measuring device as a result of the paramagnetism of oxygen present in the mixture. A variety of such devices have been described for measuring oxygen concentration, and these magnetic wind oxygen sensing systems rely on the fact that when placed in a magnetic field, the paramagnetic oxygen will exert a pressure in a certain direction, while the remaining components of the mixture, which is substantially formed of diamagnetic gases, are unaffected by the local field. A mixture of oxygen with diamagnetic gases behaves, from the magnetic point of view, as a single component with a magnetic property (magnetic susceptibility) equal to the weighted average of the susceptibilities of each of the components.

One type of apparatus of this sort measures the concentration of oxygen by relying upon the inverse relationship between temperature and the magnetic susceptibility of oxygen, and provides a heater to raise the temperature of a portion of an oxygen-containing mixture in a local region of a magnetic field, producing a pressure differential that gives rise to a directional wind. The wind has a magnitude that depends on the local field, the local temperature differential or thermal gradient, and the level of oxygen. By arranging heating and heat sensing elements in close proximity so that movement of the wind carries heat or selectively cools one or another of the components, the magnitude of this wind, or its functional relationship to the oxygen concentration, may be calibrated.

A number of prior publications and patents describing instruments which exploit one or more of these effects are referenced in applicant's earlier United States Patents No. 5,269,170 issued December 14, 1993; No. 5,012,669 issued May 7, 1991; and No. 4,893,495 issued January 16, 1990. These patents are hereby incorporated herein by

WO 02/073175

PCT/US02/05700

reference in their entirety, and attention is particularly directed to their circuit diagrams illustrating sensing bridge and temperature or current control arrangements for balancing the bridge. Among the complicating factors which must be corrected are the problem of defining a layout or geometry such that the so-called chimney effect, the natural directional flow induced by the lesser density of heated gas, does not confound the response of the thermal elements, and the problem of compensating for the rate of cooling or heating due to specific heat or heat capacity of the background gases present in addition to the measurand. In the foregoing patents a number of constructions are proposed for addressing these factors. On a circuit level these may include the use of multiple heating or sensing elements arranged in bridges to balance or counterbalance certain effects that enjoy symmetry as a result of their spatial layout. Another useful technique involves electrically heating a portion of the assembly to a constant temperature and monitoring the current required to maintain that temperature. This current may then be used to develop a normalizing measurement to which other parameters are referenced.

However, one basic limitation of this technology resides in the fact that small heated sensing elements are employed to detect the wind. The temperature of these elements is affected not only by the magnitude of the magnetic wind induced by the heating and magnetic field structures, but also by the heat transfer characteristics of the background gases that are present. A change in background gases thus induces a shift in zero point (i.e., the output when oxygen concentration is zero) of the sensing circuitry.

Furthermore, while constructions as illustrated in the aforesaid patents have enhanced the accuracy of paramagnetic oxygen sensing systems, they rely on the use of multiple elements in bridge configurations. This typically requires that the response and characterizing parameters of the elements be quite similar, i.e., that the components be matched. Some matching of the circuit characteristics of components is generally feasible, and may initially be performed quite accurately, especially for certain thin film devices wherein hundreds or thousands of virtually identical units are fabricated in a

WO 02/073175

PCT/US02/05700

single process on a single wafer. However, initial matching of the basic response characteristics may be insufficient to assure continued accuracy. As a practical matter, when discrete sensors such as thermistors or resistive heating elements are used, the very process of mounting and arranging their geometry within the sensing device may introduce asymmetries of response, or instabilities of location that result in asymmetries of response over time. For example, when a thermistor is mounted close to the wall of a massive magnet structure, the rate of cooling due to gas conduction between the thermistor and the wall will vary with the composition of the background gas and its thermal capacity. Further, for a given background gas, such conductive dissipation is markedly affected by even small changes in proximity to the wall, which may introduce disproportionately large conductive or radiative heat loss, or with an opposite effect, may give rise to boundary layer flow stagnation.

Various approaches have been presented in the prior art to address the dependence on background gas thermal characteristics. For example, the above-cited patents teach a method and circuitry for maintaining the bridge at a constant temperature, and carrying out adjustments to compensate for background gas effects. However, such bridge circuitry may augment the variations induced by background gas changes, and the correction circuitry may not fully correct for these background-induced variations. Moreover, facially identical components in a bridge may respond differently to the same drive current when placed in series, because their thermal dissipation characteristics are not well matched. Mismatch may occur either intrinsically in the response of the circuit elements, or because one unit of a pair is positioned fifty or a hundred micrometers differently with respect to nearby structures. The small heated elements are also inherently subject to thermal stresses and temperature cycling, causing wires to shift and local geometry to change over time, introducing asymmetric effects, such as those just described, even in sets of initially well-positioned and well-matched components.

These effects can imbalance or impair the practical effectiveness of a bridge circuit, and may result in loss of calibration.

WO 02/073175

PCT/US02/05700

The problem is compounded because, since extremely minute levels of force are engendered by the action of a paramagnetic gas within the magnetic field, it is necessary that the heat sensing and generating elements be sufficiently small to make the effect of the induced wind detectable. It is further desirable that the sensors be mounted in sufficiently small passages that high flux may be achieved and also that wind is effectively channeled to develop higher velocity. However, because the small thermal elements necessarily are mounted on small conductors, normal flexing, structural bending, vibration and thermal expansion effects result in migration or shifting of the actual position of the heating and sensing element. Thus their response to wind-induced thermal transfer, or the rate at which each dissipates heat, or the power required to maintain a constant temperature, resistance or signal in the element, will vary over time as well as changing with properties of the background gases. This is particularly true of constructions in which the elements are both heated to generate a wind, and also employed as sensing elements to respond to heat transferred to or from the heated element.

One approach to this problem might be to provide a strictly planar device incorporating otherwise conventional sensing bridge circuitry, i.e., to provide a small chip having resistive heating and temperature sensing elements fabricated in a very precise array on the surface of the chip. However, such a construction may introduce problems of its own. Not only may the required metallizations for an intended sensing environment be incompatible with the metallochemistry of an otherwise desirable chip technology, but the use of strictly planar devices may be ill suited to a measurement apparatus that relies on small wind effects. This is because boundary layer effects, which greatly influence the gas flow being measured near to the surface of a planar device, may be difficult to model, or have asymptotic pole or null behavior, rendering the usual physical models inapplicable or subject to variations that would prevent calibration of the response with oxygen level.

WO 02/073175

PCT/US02/05700

Accordingly it would be desirable to provide a paramagnetic oxygen sensing apparatus having improved stability and predictability.

It would further be desirable to provide a magnetic wind oxygen sensing apparatus that is less prone to variation and disturbance with changing composition of background gas in which the oxygen component appears.

Summary of the Invention

One or more of the above desirable ends are achieved in accordance with the present invention by a magnetic wind oxygen sensing device that provides a local magnetic field defined, for example, by magnetic pole pieces, and has a plurality of thermal elements arranged in a bridge at the local magnetic field to measure oxygen concentration present in a surrounding gas mixture. The device creates a magnetic wind and detects thermal effects induced in the elements as a result of the wind. The wind is generated by heating elements positioned at a region of high field intensity. The heat locally reduces paramagnetism of oxygen present in the gas, causing a pressure drop compared to unheated gas of identical composition, so that cooler gas in the magnetic field displaces the warmed gas and flows over the heater elements. Each wind generator is located between two sensing elements, and these are positioned so that, while both receive heat from the wind generator, one sensor is somewhat cooled (by flowing gas from the lower temperature region of the measuring cell as a whole, sometimes simply referred to as "ambient" herein) and the other is somewhat heated, respectively, by the wind thereby generated. Significantly, in the absence of oxygen, there is no airflow, and the two sensing elements are at the same temperature (which is also the temperature of the gas immediately surrounding them), due to the heat received from the wind generator located centrally between them. As a result, the zero point remains fixed, even when conductive properties of the surrounding (but stationary) gas change. When oxygen is present, a wind arises, and the wind reduces the heat received by the upstream sensor and increases, by practically the same amount, the heat received by the downstream sensor.

WO 02/073175

PCT/US02/05700

However, the total resistance of the two sensors remains substantially unchanged; this quantity can therefore be used to accurately control the level of the central, wind generating heater element.

Preferably the sensing elements are arranged in a bridge, and sensing is performed by detecting the resistance of the sensing elements with the elements attached to a very low current circuit, so that power dissipation in the element is negligible. The wind generator or heater elements may be powered at a variable level, responding to a feedback signal to maintain the temperature of sensing elements, or an output of a bridge circuit composed of sensing elements, at a constant level. The sensing portion may further employ a power supply that is completely independent from that of the wind generating heater elements, so that readings are unaffected by the changing level of heater power being delivered to the wind generator(s). A preferred sensor bridge is thus self zeroing, to provide a zero reading when the oxygen level is zero independently of background gas composition, and is immune to the thermal stresses that would otherwise introduce positional changes and resulting artifacts in sensor of bridge response.

Brief Description of the Drawings

For a more complete understanding of the nature and objects of the invention, reference is made to the following detailed description and the accompanying drawings in which

Figure 1 is a schematic diagram depicting a bridge-type oxygen sensing cell of the prior art;

Figure 2 is a corresponding schematic diagram depicting the oxygen sensing cell in accordance with the present invention;

Figure 3A illustrates one suitable sensing circuit for the practice of the invention;

WO 02/073175

PCT/US02/05700

Figure 3B illustrates another suitable sensing circuit for the practice of the invention; and

Figure 4 illustrates an embodiment on an integrated substrate.

Detailed Description

In accordance with a principal aspect of the present invention, an improved thermal magnetic wind sensor is achieved by a sensor arrangement configured to be substantially immune to variability resulting from mismatch or changing of the dissipation constant of the sensing assembly. As noted above, thermal dissipation is subject to variation when changes occur in the thermal properties of background gases, and also when extremely small displacements of circuit elements arise. In one aspect of the invention, immunity to one or more of these effects is achieved in part by providing a device of controlled geometry having surface heat or sensing elements at precise positions thereon. In another aspect, the invention separates the heating, or wind generating, and the sensing functions, so that sensing elements are not subject to evolving thermal shifting, asymmetries and stresses. In a preferred aspect, pairs sensing elements are arranged to be passively heated or cooled, while always residing near the surrounding temperature of a local measurement region, which may, for example, be maintained at a temperature only slightly above ambient. In still a fourth aspect, the invention positions sensing elements upstream and downstream, respectively, of each of a pair of heater elements in a magnetic wind, and forms a sensing bridge of the sensing elements.

The sensing elements may be symmetrically positioned surrounding the heating elements to compensate for directional effects, and may be placed in a measuring bridge circuit having a constant or a controlled temperature, and are preferably operated at a controlled current level compatible with output signal requirements, yet low enough that self-heating is below a negligible threshold. The resistance of the measuring bridge may be controlled to a constant level by changing a drive current provided to the heated wind

WO 02/073175

PCT/US02/05700

generation elements. That is, the heat generated by the centrally positioned and separately-powered wind generating heating elements is controlled using feedback from the measuring bridge.

With this construction, when there is no oxygen present, the measuring sensors both reside at substantially the same temperature as the gas in a local region immediately surrounding the heating element (which may be set, for example to about 120 °C), so that variations in composition of background gas do not change the heat dissipation of the different sensors or shift their zero point. The measuring cell as a whole may be maintained at a temperature slightly above the gas environment, e.g., at about 100 °C. When oxygen is present in the gas, the two sensors of a pair reside at slightly different temperatures, but their average temperature remains the same. Thus, even in the presence of a magnetic wind, there are only small temperature differentials, and the levels of thermal cycling are negligible.

As a result, in this configuration, the sensors do not suffer zero-offsets when the composition of non-paramagnetic gas components changes, and sensor wires are not subject to the thermal cycling and creep of the prior art construction, providing both immunity to a major environmental source of short-term change and a major physical source of long term drift.

The invention will be best understood in the context of specific illustrative embodiments, following discussion of a prior art oxygen sensor device 100, shown in Figure 1. As shown, two pairs of electrically heated thermistors R1, W1 and R2, W2 are located at the edge of a high intensity magnetic field. The second thermistor of each pair of electrically heated thermistors, e.g., thermistors R1 or R2, is located adjacent to a corresponding wind generating heated thermistor W1 or W2, respectively, but is selectively offset outside the region of highest magnetic field intensity, illustratively adjacent to a gap defined between the pole pieces 104a, 104b of two opposed magnet portions 102a, 102b. In this arrangement, when oxygen is present in the surrounding gas,

WO 02/073175

PCT/US02/05700

and the thermistors W1 and W2 are electrically heated, the drop in paramagnetism around the heater results in a net pressure from the magnetic region outwardly past the heater, introducing an airflow which, as indicated by arrows in the Figure, moves in the direction of the adjacent thermistor of each pair. Thus, the wind generating thermistors W1 and W2 lose heat to the adjacent thermistors R1 and R2, thus reducing the temperature of the wind generating thermistors W and increasing the temperature of the sensing thermistors R in proportion to the oxygen concentration. The above-referenced patents illustrate various sensing and drive circuits wherein the elements R1, W1, R2, W2 are connected in series in a bridge, with certain adjustable elements allowing one to compensate for different types of drift or instability.

In accordance with one aspect of the present invention, the structural instabilities and background gas dependencies of this arrangement are addressed by providing a wind generating and sensing arrangement as shown in Figure 2. In accordance with this aspect of the invention, each wind generator W1 or W2 is surrounded by two sensors R11 and R12, or R21 and R22, respectively. As shown, the geometry of the sensing cell is similar to the prior art cell of Figure 1, except that two thermistors or other sensing elements are placed on opposite sides of each wind generating element, i.e., upstream and downstream with respect to the direction of induced flow. The sensing elements are sufficiently closely-positioned to their corresponding wind generators that each pair lies at approximately the temperature set by the wind generator, i.e. they are passively heated by the wind generator and its adjacent environment.

In an illustrative embodiment, the measurement cell as a whole (i.e., the gas sample cell and magnet gap region) is set to one temperature (This may be, for example, about 100 °C, somewhat above the environment generally), while the wind generating heater elements are powered to establish a higher temperature (for example, about 120 °C) in a small region immediately near the generator elements. This temperature is preferably set close to the cell temperature, but sufficiently higher that it reduces the level of paramagnetism in any oxygen that is present, and thus establishes a wind. In Figure 2,

WO 02/073175

PCT/US02/05700

arrows indicate generally the direction of gas flow from the central region of the cell outwardly over the sensors and wind generators. With this configuration, when oxygen is present, the upstream sensors- R11 and R21 lying in the high field gap, are at one temperature (e.g., slightly below the nominal 120 °C temperature set by the heater W1 or W2), while the downstream (outside) sensors R12 and R22 are heated slightly above that level by the wind passing from the higher pressure region in the magnetic gap outwardly over the heaters W1, W2. In essence, the local heating produced by the generator W1 or W2 is shifted outwardly, to affect the outer sensors R12 and R22 more than the inner ones.

Further, as described below with respect to Figure 3A the sensing thermistors may be operated with a current circuit that is at least relatively independent of the heater draw. Preferably, the sensor current is entirely independent of the heater current, and most preferably, as indicated in Figure 3A, the circuit may be implemented with resistive-sensing elements, such as thermistors, driven by a constant current supply, and this current is set sufficiently low that it induces negligible heating of the sensing elements. The sensing elements then passively reside at or near the temperature of the gas immediately surrounding them, so that their heat exchange with the environment is negligible and thus does not vary with changing heat capacity of the different background gas components present in the sample gas. As a result, the sensors' zero point does not shift when the background gas composition changes. Furthermore, since the total temperature difference is also both small and substantially constant, the sensor position is substantially unaffected by the type of changing heating cycles or resistively heated offsets that occur in the device of Figure 1; and differences in alignment or position that do occur among the various sensors have relatively little influence on their relevant matching characteristics. Further, by making the resistance sensing circuit independent of the driving circuit for the heaters W1, W2, the sensor readings do not suffer secondary changes influenced by variations in the current drawn by the wind generating elements W1, W2.

Figures 3A and 3B show suitable circuit arrangements for achieving this operation.

WO 02/073175

PCT/US02/05700

As shown in Figure 3B, a measurement circuit 200 of the invention for the measurement cell illustrated in Figure 2 has the sensing elements R11, R12, R21, R22 serially connected. The inside sensors R11, R21 form one leg of a bridge, between power terminal T1 and terminal T2, and the outside sensors R12, R22 form another leg between T2 and terminal T3. The wind generating elements WG1, WG2, corresponding to W1, W2 of Figure 2, are connected across T1, T3, but are independent of the sensing elements; they are in a separate current path and constitute a preponderance of the load on the circuit. As further seen in Figure 3B, the two legs formed by the sensing elements constitute a measuring bridge circuit, which is imbalanced due to the resistance change brought about by the temperature difference between the inside (upstream) and the outside (downstream) sensors when oxygen is present in the sample gas. This imbalance, in turn, is proportional to the oxygen concentration.

Various features of this circuit may be similar to those of the circuits shown in the above-referenced U.S. patents, and reference is made thereto for a general discussion of these aspects of the circuitry. Amplifier A1 has an input referenced to potentiometer RT connected to a constant voltage source, and its output drives a transistor ST to provide an adjustable drive signal for the heating elements WG1, WG2, setting the temperature or current of these elements. The amplifier A2 senses, through resistor RS, the current change necessary to restore bridge balance, and the amplifier output may be used as a multiplier for correcting the oxygen reading obtained from the bridge.

However, advantageously, the heating or wind-generating elements in measurement cells of the present invention do not form a portion of the measuring bridge. The sensing elements may have a very high resistance so that the current through these elements is small and does not result in any noticeable intrinsic heating. They reside in substantial thermal equilibrium with the surrounding gas. As a result, there is negligible heat loss to the surrounding gas, and changes in heat capacity of the background gas have no effect on operating temperatures of the bridge elements.

WO 02/073175

PCT/US02/05700

Figure 3A shows another circuit for operation of the oxygen sensing system of the present invention. In the embodiment, the wind generating heating elements WG1, WG2 are separately powered by the transistor ST based on bridge output, while a separate or independent, constant current power supply is connected across the sensing bridge circuitry. This permits extremely accurate bridge measurements, without variations due to unmatched or ill-controlled heat dissipation.

In accordance with another aspect of the invention, the sensing systems may be implemented with an integrated sensor assembly, such as a thin film or disk substrate sensor configuration, that defines uniform and precise sensor bridge and gap placement geometries. Figure 4 illustrates one embodiment of this aspect of the invention. As shown, according to this aspect of the invention, a substrate, such as a thin ceramic disk D has a precisely located pattern of sensing element leads (such as platinum leads) or actual sensing elements formed thereon (e.g., by sputtering through a lithography mask), denoted generally by "S" in the Figure. Heater elements may also be formed on the substrate, but are preferably separately attached, e.g., as illustrated at positions defined by heater lead pads "H". The Figure is intended only to be schematic, and other implementations may employ posts or stand-offs for various ones of the described structures or elements to meet fabrication requirements, to better position a heater or sensor in a wind path, or to otherwise optimize the physical operation of the paramagnetic wind sensor.

In this embodiment, the provision of a chip, or disk having a fixed and highly symmetrical construction, and bearing precisely matched or identically fabricated elements, provides a precise and non-changing geometry of the various elements to prevent mismatch, thermal creep and drift in the basic operating parameters and zero points.

The invention being thus described, further variations and modifications will occur to those skilled in the art, and all such variations and modifications are considered

WO 02/073175

PCT/US02/05700

to be within the scope of the invention, as defined herein and by the claims appended hereto, and equivalents thereof.

What is claimed is:

WO 02/073175

PCT/US02/05700

CLAIMS

1. A magnetic wind oxygen sensing device operable in a local magnetic field wherein a plurality of thermal elements are arranged in a bridge in the local magnetic field to measure oxygen concentration in a surrounding gas mixture by creating a magnetic wind and determining the thermal effects induced in the elements as a result of the wind, the wind being generated by a pair of thermal heating elements which locally reduce paramagnetism of oxygen present in the gas, said device being characterized in that

each said thermal heating element is surrounded by two thermal sensing elements that are arranged in a bridge and operated such that the sensing elements reside substantially in thermal equilibrium with surrounding gas so zero point does not vary with changes in composition of background gas.

2. The magnetic wind sensor of claim 1, wherein the sensing elements employ a power supply independent from that of the heating elements.

3. The magnetic wind sensor of claim 1, wherein the heating elements are variably powered so as to maintain an output of the sensing elements constant.

4. The magnetic wind sensor of claim 1, wherein the sensing elements are arranged in a self zeroing bridge configured to provide a zero reading when the oxygen level is zero.

WO 02/073175

PCT/US02/05700

5. The magnetic wind sensor of claim 1, wherein the sensing elements passively reside substantially at a local ambient temperature of immediately surrounding gas so that position of the elements remains immune to thermal creep and displacement, thereby enhancing long term stability of the bridge.

6. A magnetic wind oxygen sensing device operable in a local magnetic field wherein a plurality of thermal elements are arranged in a bridge in the local magnetic field to measure oxygen concentration in a surrounding gas mixture by creating a magnetic wind and determining the thermal effects induced in the elements as a result of the wind, the wind being generated by a pair of thermal heating elements which locally reduce paramagnetism of oxygen present in the gas, said device being characterized in that

each of the thermal sensing elements is associated with thermal sensing elements, and all thermal sensing elements operate in a bridge with sensing circuit having negligible power dissipation such that the sensing elements passively reside substantially at the temperature of adjacent gas and position of the elements remains immune to thermal creep and displacement, thereby enhancing long term stability of the bridge.

7. A magnetic wind oxygen sensing method of the type that provides a local magnetic field and a plurality of thermal elements arranged in a bridge in the local magnetic field, and measures oxygen concentration in a surrounding gas mixture by creating a magnetic wind and determining the thermal effects induced in the elements as a result of the wind, wherein the wind is generated by providing one or more thermal heating elements to locally reduce paramagnetism of oxygen present in the gas, wherein the method is

WO 02/073175

PCT/US02/05700

characterized by

providing a pair of thermal heating element surrounded by two thermal sensing elements
arranging the sensing elements in bridge and operated with a sensing circuit having negligible power dissipation such that the sensing elements reside substantially at the temperature of adjacent gas such that zero point does not vary with changes in composition of background gas.

8. The magnetic wind sensing method of claim 7, further comprising the step of driving the thermal heating elements with a power supply independent of the sensing circuit.

9. The magnetic wind sensing method of claim 7, further comprising the step of driving the heating elements in a feedback loop so as to maintain output of the sensing bridge constant.

10. The magnetic wind sensing method of claim 7, further comprising the step of arranging the sensing elements in a self zeroing bridge configured to provide a zero reading when the oxygen level is zero.

11. The magnetic wind sensing method of claim 7, further comprising the step of arranging the sensing elements to passively reside substantially at a constant surrounding temperature such that position of the elements remains immune to thermal creep and displacement, thereby enhancing long term stability of the bridge.

WO 02/073175

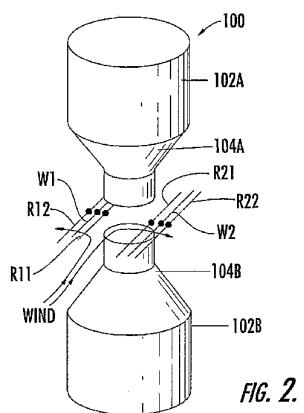
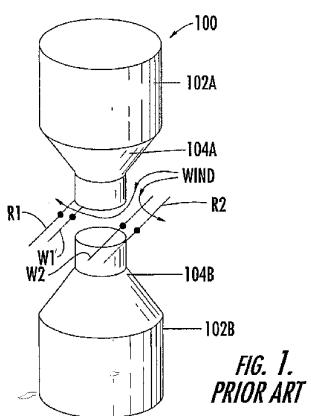
PCT/US02/05700

12. A magnetic wind oxygen sensing method, such method comprising the steps of arranging and operating a plurality of thermal elements in a bridge positioned in relation to a local magnetic field so as to measure oxygen concentration in a surrounding gas mixture by creating a magnetic wind and determining the thermal effects induced in the elements as a result of the wind, the wind being generated by driving a pair of thermal heating elements to locally reduce paramagnetism of oxygen present in the gas, said device being characterized by the step of providing a set of thermal sensing elements including respective pairs of sensing elements configured in a bridge and operated with a sensing circuit, wherein the sensing elements reside substantially in thermal equilibrium with a substantially constant local temperature, so that position of the elements remains immune to thermal creep and displacement, thereby enhancing long term stability of the bridge.

WO 02/073175

PCT/US02/05700

1/4



WO 02/073175

PCT/US02/05700

2/4

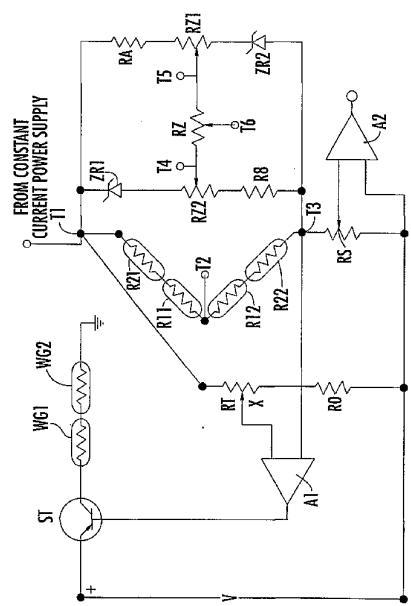


FIG. 3A.

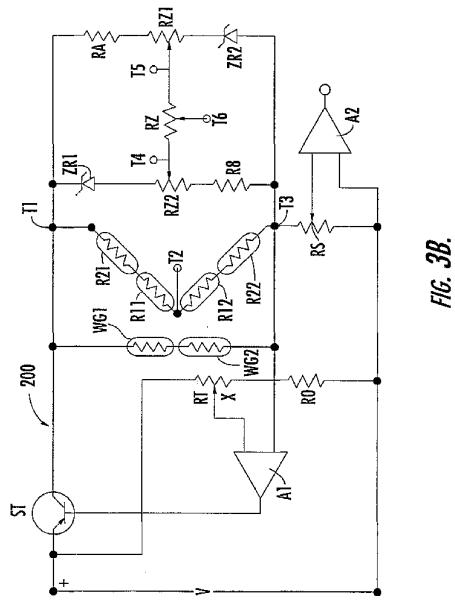


FIG. 3B.

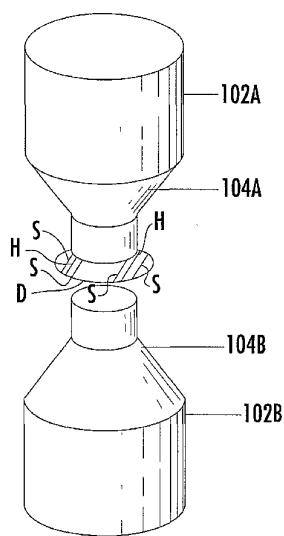


FIG. 4.

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US02/05700
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC(7) : G01N 23/00 US CL : 73/25.01		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system, followed by classification symbols) U.S. : 73/25.01, 25.02; 436/147		
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) Easi, search terms: magnetic wind, paramagnetism		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 3,616,679 A (MBEYER) 2 NOVEMBER 1971, (02.11.1971) Abstract	1-12
A	US 4,563,894 A (KARRER) 14 January 1986 (14.01.1986), abstract	1-12
A	US 5,356,819 A (RITSCHEL) 18 October 1994 (18.10.1994), abstract	1-12
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>		See patent family annex.
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" documents referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>		
<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principles or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 12 April 2002 (12.04.2002)	Date of mailing of the international search report 07 MAY 2002	
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703)305-5230	<p>Authorized officer Hezron Williams <i>Hezron Williams</i></p> <p>Telephone No. 703-305-4900</p>	

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,ZM,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,EC,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, OM, PH, PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VN,YU,ZA,ZM,ZW

F ターム(参考) 2G040 AA02 AB09 BA23 BB01 EA02 GA04 GA07
2G053 AA05 AB17 BA06 BB11 CA01 CA18 CB05