

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7561619号
(P7561619)

(45)発行日 令和6年10月4日(2024.10.4)

(24)登録日 令和6年9月26日(2024.9.26)

(51)国際特許分類

F I

G O 1 N 27/04 (2006.01)

G O 1 N 27/04 D

G O 1 N 25/18 (2006.01)

G O 1 N 25/18 K

請求項の数 18 (全79頁)

(21)出願番号	特願2020-537150(P2020-537150)	(73)特許権者	513139633
(86)(22)出願日	平成31年1月7日(2019.1.7)		ハーン-シッカート-ゲゼルシャフト
(65)公表番号	特表2021-515882(P2021-515882 A)		フュア アンゲヴァンテ フォアシュング
(43)公表日	令和3年6月24日(2021.6.24)		アインゲトラ-ゲナー フェライン
(86)国際出願番号	PCT/EP2019/050261		Hahn-Schickard-Gesellschaft fuer ange
(87)国際公開番号	WO2019/135002		wandte Forschung e.
(87)国際公開日	令和1年7月11日(2019.7.11)		V.
審査請求日	令和2年9月4日(2020.9.4)		ドイツ連邦共和国 フィリンゲン-シュ
審判番号	不服2022-20885(P2022-20885/J 1)		ヴェニンゲン ヴィルヘルム-シッカー
審判請求日	令和4年12月23日(2022.12.23)		ト-シュトラ-セ 10
(31)優先権主張番号	18150496.0		Wilhelm-Schickard-
(32)優先日	平成30年1月5日(2018.1.5)		Str. 10, D-78052 Vi
(33)優先権主張国・地域又は機関			llingen-Schwenning
	最終頁に続く		en, Germany
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 熱ガスセンサの評価装置、方法およびコンピュータプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも1つのヒータ（120）と前記ヒータ（120）からの距離が異なって配置された2つの検出器（130、140）とを有する熱ガスセンサ（100）のための評価装置（200）であって、

前記評価装置（200）は、

- － 第1の検出器（130）の検出器信号の振幅に関する情報（210）と、
 - － 第2の検出器（140）の検出器信号の振幅に関する情報（220）と、
 - － ヒータ信号と前記第1の検出器（130）の前記検出器信号との間の第1の位相差に関する情報（210）と、
 - － ヒータ信号と前記第2の検出器（140）の前記検出器信号との間の第2の位相差に関する情報（220）と、
- を取得するように構成され、

前記評価装置（200）は、前記第1の検出器（130）の前記検出器信号の前記振幅に関する前記情報（210）と前記第2の検出器（140）の前記検出器信号の前記振幅に関する前記情報（220）と前記第1の位相差に関する前記情報（210）と前記第2の位相差に関する前記情報（220）の線形結合を形成することにより、中間量として合成信号（230）を形成するように構成され、

前記評価装置（200）は、前記合成信号（230）に基づいて、ガス濃度に関する情報（240）および／または流体の熱拡散率に関する情報（240）を決定するように構

成される、
評価装置（２００）。

【請求項２】

前記評価装置（２００）は、ヒータ振幅に関する情報（１２２）を取得するように構成され、

前記評価装置（２００）は、前記合成信号（２３０）を決定するために、前記ヒータ振幅に関する前記情報（１２２）と、前記検出器信号の前記振幅に関する前記情報（２１０、２２０）と、前記第１の位相差に関する前記情報（２１０）と、前記第２の位相差に関する前記情報（２２０）との線形結合を形成するように構成される、

請求項１に記載の評価装置（２００）。

10

【請求項３】

前記評価装置（２００）は、

$$\text{sigX} = \text{sigUss} * \text{Ka} + \text{sigPhi} * \text{Kp}$$

により合成信号 sigX（２３０）を得るように構成され、

ここで sigUss は前記第１の検出器（１３０）の前記検出器信号の前記振幅に関する前記情報（２１０）と前記第２の検出器（１４０）の前記検出器信号の前記振幅に関する前記情報（２２０）とに依存する振幅情報であり、

sigPhi は前記第１の位相差に関する前記情報（２１０）と前記第２の位相差に関する前記情報（２２０）とに依存する位相情報であり、

20

Ka および Kp は定数である、

請求項１または請求項２に記載の評価装置（２００）。

【請求項４】

前記評価装置（２００）は、

$$\text{sigUss} = 2 * \text{Hz.Uss} - (\text{D1.Uss} + \text{D2.Uss})$$

により前記振幅情報 sigUss を得るように構成され、

30

ここで Hz. Uss はヒータの振幅に関する情報（１２２）であり、

D1.Uss は前記第１の検出器（１３０）の前記検出器信号の前記振幅に関する前記情報（２１０）であり、

D2.Uss は前記第２の検出器（１４０）の前記検出器信号の前記振幅に関する前記情報（２１０）である、

請求項３に記載の評価装置（２００）。

【請求項５】

40

前記評価装置（２００）は、前記ガス濃度に関する前記情報（２４０）または前記流体の前記熱拡散率に関する前記情報（２４０）を得るために、前記合成信号（２３０）の多項式を計算するように構成される、請求項１ないし４のいずれか１項に記載の評価装置（２００）。

【請求項６】

前記評価装置（２００）は、前記ガス濃度に関する前記情報（２４０）または前記流体の前記熱拡散率に関する前記情報（２４０）を得るために、前記合成信号（２３０）の多項式に補正項を乗算するように構成され、前記補正項は前記合成信号（２３０）、圧力に関する情報、および温度に関する情報に依存する、請求項１ないし５のいずれか１項に記載の評価装置（２００）。

50

【請求項 7】

前記評価装置（200）は、前記ガス濃度に関する前記情報C（240）を得るために、

$$C = \text{pol}(\text{sigX}) \cdot \left(1 - \left[\frac{f(p)}{\text{sigX} - \text{const1}} \right] \cdot \left(1 - \left[\frac{f(T)}{p - \text{const2}} \right] \right) \right)$$

により計算を実行するように構成され、

ここで、sigXは合成信号sigX（230）であり、
 pol(sigX)は合成信号sigX（230）の多項式であり、
 f(p)は圧力pの関数であり、
 const1は第1の定数であり、
 f(T)は温度Tの関数であり、
 const2は第2の定数である、
 請求項1ないし6のいずれか1項に記載の評価装置（200）。

10

【請求項 8】

前記評価装置（200）は、前記ガス濃度に関する前記情報C（240）を得るために、

$$C[\text{vol}\%] = A.y(\text{sigX}) \cdot \left(1 - \left[\frac{B.y(p) - B.\text{ref}}{\text{sigX} - B.\text{ref}} \right] \cdot \left(1 - \left[\frac{C.y(T) - C.\text{ref}}{p - C.\text{ref}} \right] \right) \right)$$

により計算を実行するように構成され、

ここで、sigXは合成信号（230）であり、
 A.y(sigX)は合成信号sigX（230）の多項式であり、
 B.y(p)は圧力pの関数であり、
 B.refは定数であり、
 C.y(T)は温度Tの関数であり、
 C.refは第2の定数である、
 請求項1ないし7のいずれか1項に記載の評価装置（200）。

20

30

【請求項 9】

前記評価装置（200）は、前記ガス濃度に関する前記情報（240）または前記流体の前記熱拡散率に関する前記情報（240）を決定する際に、前記熱ガスセンサ（100）の周辺領域の前記圧力および／または前記温度を考慮するように構成される、請求項6ないし8のいずれか1項に記載の評価装置（200）。

40

【請求項 10】

前記評価装置（200）は、前記ガス濃度に関する前記情報（240）または前記流体の前記熱拡散率に関する前記情報（240）を決定する際に、前記熱ガスセンサ（100）の周辺領域の圧力および／または温度を考慮するように構成される、請求項1ないし5のいずれか1項に記載の評価装置（200）。

【請求項 11】

前記評価装置（200）は、前記ガス濃度に関する前記情報（240）または前記流体の前記熱拡散率に関する前記情報（240）を決定する際に、前記合成信号（230）、前記熱ガスセンサ（100）の前記周辺領域の温度に関する情報、および前記熱ガスセンサ（100）の前記周辺領域の圧力に関する情報をドリフト補正の入力量として使用し、

50

前記ドリフト補正の結果として前記ガス濃度に関する情報（２４０）または前記流体の前記熱拡散率に関する前記情報（２４０）を得るように構成される、請求項１０に記載の評価装置（２００）。

【請求項１２】

前記熱拡散率と前記合成信号との間には線形関係がある、請求項１ないし１１のいずれか１項に記載の評価装置（２００）。

【請求項１３】

少なくとも１つのヒータと前記ヒータ（１２０）からの距離が異なって配置された２つの検出器とを有する熱ガスセンサの信号を評価するための方法であって、

前記方法は、

- － 第１の検出器の検出器信号の振幅に関する情報と、
- － 第２の検出器の検出器信号の振幅に関する情報と、
- － ヒータ信号と前記第１の検出器の前記検出器信号との間の第１の位相差に関する情報と、
- － 前記ヒータ信号と前記第２の検出器の前記検出器信号との間の第２の位相差に関する情報と、

を取得するステップを含み、

合成信号は、前記第１の検出器の前記検出器信号の前記振幅に関する前記情報と前記第２の検出器の前記検出器信号の前記振幅に関する前記情報と前記第１の位相差に関する前記情報と且つ前記第２の位相差との線形結合を形成することによって、中間量として形成され、

前記合成信号に基づいて、ガス濃度に関する情報および／または流体の熱拡散率に関する情報が決定される、

方法。

【請求項１４】

コンピュータ上で動作するときに、請求項１３に記載の方法を実行するためのプログラムコードを有する、コンピュータプログラム。

【請求項１５】

前記評価装置（２００）は、アナログ－デジタル変換器の入力信号を得るために、少なくとも１つの検出器（１３０、１４０）からのセンサ信号と前記アナログ－デジタル変換器によって生成されたオフセット信号とを結合するように構成され、

前記評価装置（２００）は、前記アナログ－デジタル変換器の前記入力信号が前記センサ信号の全周期中に既定の値の範囲内に留まることを達成するために、前記オフセット信号を調整するように構成される、

請求項１ないし１２のいずれか１項に記載の評価装置（２００）。

【請求項１６】

前記評価装置（２００）は、サンプリング時間が定常状態に設定または調整された（２７０、２８０、２９０）場合、かつ前記オフセット信号が定常状態に調整された場合にのみ、加熱電力を制御する（２５０、２５２）ように構成される、請求項１５に記載の評価装置（２００）。

【請求項１７】

前記評価装置（２００）は、サンプリング時間が設定または調整されている（２７０、２８０、２９０）間、および／または前記オフセット信号が調整されている間は、加熱電力の制御（２５０、２５２）を停止するように構成される、請求項１５または１６に記載の評価装置（２００）。

【請求項１８】

前記評価装置（２００）は、平均加熱電力または最大加熱電力、ならびに加熱電力の振幅（２５０、２５２）を調整するように構成される、請求項１５ないし１７のいずれか１項に記載の評価装置（２００）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願発明による実施形態は、熱ガスセンサのための評価装置、方法およびコンピュータプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

現在、ガスは、さまざまなセンサを使用してその特性に関して分析されることがある。今日、市場には患者の換気のためのさまざまなシステムがある。これらのシステムは、臨床分野と在宅ケア分野での使用用途によって区別されている（例：Heinen + Lowenstein社、Dräger社、Stephan Medizintechnik社のシステム）。これら提供者のシステムには、圧力、呼気／吸気流量、呼吸ガス分析に必要なすべての測定手段がトップバリエーションにのみ含まれている。このためには、患者からの遠隔測定が圧倒的に多いいくつかの装置を組み合わせる必要がある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

前述したように、ガス測定装置の設置スペースの縮小とシステムの縮小とを両立させることができ、正確な流量測定と迅速なガス分析が可能なコンセプトが求められている。

【課題を解決するための手段】

【0004】

この目的は、独立した特許請求の範囲によって解決される。

【0005】

ある実施形態は、少なくとも1つのヒータ（例えば、発熱体）と少なくとも1つの検出器（例えば、「サーモパイル構造」、温度可変抵抗器またはサーミスタ）とを有する熱ガスセンサの評価装置に関する。評価装置は、第1の検出器の検出器信号の振幅に関する情報（例えばD1.Uss）、およびヒータ信号と第1の検出器の検出器信号との間の第1の位相差に関する情報（例えば（D1-Hz）.phi）を取得するように構成されている。さらに、評価装置は、検出器信号の振幅に関する情報（例えばD1.Ussおよび/またはD2.Uss）に依存し、かつ第1の位相差に関する情報に依存して、振幅情報と位相情報とを組み合わせた合成信号を中間量として形成するように構成されている。さらに、評価装置は、例えば、ガス濃度に関する情報または流体（例えば、ガスまたはガス混合物）の熱拡散率に関する情報を、合成信号に基づいて（例えば、計算の後のプロセスにおいて、合成信号に組み込まれた個々の情報を個別に考慮することなく）決定するように構成される。

【0006】

一実施形態によれば、発生する可能性のある（同期化）エラーを最小化するために、ヒータと少なくとも1つの検出器とが周期的に入れ替わってもよい。言い換えれば、第1の時点では、検出器はヒータとして動作してもよく、ヒータは検出器として使用されてもよく、第2の時点では、検出器は検出器として使用されてもよく、ヒータはヒータとして動作してもよい。

【0007】

ある実施形態によれば、評価装置は、2つの検出器を含み、これら2つの検出器はヒータまでの距離が同じである。この場合、例えば、2つの検出器からの2つの検出器信号の振幅に関する情報（例えばD1.UssおよびD2.Uss）の和、および2つの検出器の2つの位相差に関する情報（（D1-Hz）.phiおよび（D2-Hz）.phi）の和が、合成信号に組み込まれることがある。

【0008】

ある実施形態は、少なくとも1つのヒータ（例えば、発熱体）と、ヒータまでの距離が異なって配置された2つの検出器（例えば、第1の感熱素子構造および第2の感熱素子構造、または温度可変抵抗器、またはサーミスタ）とを有する熱ガスセンサのための評価装置に関連し、ここで、評価装置は、第1の検出器の検出器信号の振幅に関する情報（例えば

、D1.Uss)、第2の検出器の検出器信号の振幅に関する情報(例えば、D2.Uss)、ヒータ信号と第1の検出器の検出器信号との間の第1の位相差に関する情報(例えば(D1-Hz.phi))、およびヒータ信号と第2の検出器の検出器信号との間の第2の位相差に関する情報(例えば(D2-Hz.phi))を取得するように構成されている。評価装置は、検出器信号の振幅に関する情報(例えば、第1の検出器のD1.Ussおよび第2の検出器のD2.Uss)に依存し、第1の位相差に関する情報に依存し、且つ第2の位相差に関する情報に依存して、振幅情報と位相情報とを組み合わせた合成信号を中間量として形成するように構成されることがある。さらに、評価装置は、合成信号に基づいて(例えば、計算の後のプロセスにおいて、合成信号に組み込まれた個々の情報を個別に考慮することなく)、ガス濃度に関する情報または流体(例えば、ガスまたはガス混合物)の熱拡散率に関する情報を決定するように構成されている。

10

【0009】

一実施形態によれば、ガスは、少なくとも1つのヒータと、ヒータに対して異なる距離または同じ距離(例えば対称)に配置された検出器との間の熱ガスセンサ内に配置されてもよく、ここで、前記ガスは、前記熱ガスセンサと協働して評価装置を用いて分析されてもよい。この目的のために、例えば、熱は、少なくとも1つのヒータから、その間に配置されたガスおよび/またはガス混合物を介して、第1の検出器および第2の検出器に運ばれる。この場合、第1の検出器によって検出された検出信号および/または第2の検出器によって検出された検出信号は、ヒータからそれぞれの検出器に運ばれた熱を示してもよい。少なくとも1つのヒータの加熱信号振幅(例えば、ヒータの振幅)が変化する場合(例えば、ヒータの周期的な励起)、2つの検出器は、ヒータに対応する変化する振幅を検出してもよい。第1の検出器および/または第2の検出器の検出信号は、評価装置に送信されてもよい。したがって、評価装置は、第1の検出器の検出器信号および第2の検出器の検出器信号から、振幅に関するそれぞれの情報、ならびに、ヒータ信号と第1の検出器の検出器信号との間の第1の位相差に関する情報、およびヒータ信号と第2の検出器の検出器信号との間の第2の位相差に関する情報を取得してもよい。この目的のために、例えば、評価装置は、第1の検出器および/または第2の検出器の検出信号に加えて、ヒータ信号を熱ガスセンサから取得してもよい。あるいは、例えば、評価装置は、第1の検出器の検出器信号の振幅に関する情報、第2の検出器の検出器信号の振幅に関する情報、第1の位相差に関する情報、および第2の位相差に関する情報を熱ガスセンサから直接取得してもよい。

20

30

【0010】

評価装置のこの実施形態は、検出器信号の振幅に関する情報に基づいて、且つ第1の位相差に関する情報および第2の位相差に関する情報に依存する合成信号は、例えばガス濃度または流体の熱拡散率に関する情報を決定するために、評価装置が非常に迅速に処理し得る非常に安定した信号を成すという知見に基づいている。このように、評価装置は迅速なガス分析を可能にする。

【0011】

ある実施形態によれば、評価装置はヒータ振幅に関する情報を取得するように構成されることがある。さらに、評価装置は、合成信号(s i g X)を決定するために、ヒータ振幅に関する情報、検出器信号の振幅に関する情報、第1の位相差に関する情報、および第2の位相差に関する情報の線形結合を形成するように構成されることがある。例えば、ヒータ振幅に関する情報は加熱電力に関する情報であってもよい。ここで、ヒータ振幅に関する情報は、H z .Ussと呼ばれることもある。例えば、評価装置は、ヒータ振幅に関する情報を熱ガスセンサから直接取得してもよいし、例えば、熱ガスセンサから評価装置に伝送されたヒータ信号から取得してもよい。例えば、線形結合は、ヒータ振幅に関する情報と検出器信号の振幅に関する情報との第1の線形結合を有する第1の項と、第1の位相差に関する情報と第2の位相差に関する情報との第2の線形結合を有する第2の項を含むことがある。この場合、例えば、合成信号を決定するために、第1の項および第2の項は線形結合において異なる定数で重み付けされることがある。評価装置が合成信号を決定する際

40

50

にヒータ振幅を考慮しているため、ヒータ信号（例えば、ヒータが放出する周期的な温度波信号）は、第1の検出器および／または第2の検出器の検出器信号（受信した周期的な温度波信号）と比較されることがあり、その結果、ヒータから2つの検出器への分析されるべきガスを介しての熱伝達を極めて正確に決定することができる。このことにより、評価装置を用いた非常に正確で迅速なガス分析が可能となる。

【0012】

ある実施形態によれば、評価装置は、

$$\text{sigX} = \text{sigUss} * \text{Ka} + \text{sigPhi} * \text{Kp}$$

によって合成信号sigXを得るように構成されることがある。

ここで、sigUssは第1の検出器の検出器信号の振幅に関する情報と第2の検出器の検出器信号の振幅に関する情報とに依存することがある、振幅情報または振幅信号であることがある。また、項sigPhiは、第1の位相差に関する情報と第2の位相差に関する情報とに依存することがある、位相情報または加算された位相信号であることがある、係数KaおよびKpは定数であることがある。この場合、定数KaおよびKpは振幅情報と位相情報とを別々に重み付けして、評価装置が合成信号sigXを得るようにすることができる。振幅情報sigUssは、第1の検出器の検出器信号の振幅に関する情報と第2の検出器の検出器信号の振幅に関する情報とを線形に結合したものであることがある。位相情報sigPhiは、第1の位相差に関する情報と第2の位相差に関する情報とについての線形情報であることがある。例えば、定数Ka及びKpは、変換係数であってもよい。ある実施形態によれば、KaおよびKpは、最適化された合成信号のための重み付け係数であり、ここで、係数KaおよびKpは無名数であってもよい（例えば、これは、本明細書で使用されるような組み込みシステムには必要ではなく、例えば、CO2濃度を提供する）。ある実施形態によれば、例えば、組み込みシステムは、振幅に関するA/D値を提供し、位相情報は、例えば、コンパレータが傾くまでの時間を測定する、例えば組み込みシステムのタイミングユニットから決定される。このように、例えば、振幅と時間/角度への変換は、評価装置の回路と組み込みシステム（マイコン）の技術データによって規定される。例えば、係数は、両方の信号成分（振幅と位相）がCO2校正の測定範囲にわたってほぼ同じ割合で合成信号sigXに導入されて、例えばsigXにおいて最大の測定分解能が得られるように選択される。例えば、係数KaおよびKpは、例えば、sigXに最適な信号を得るために、経験的に決定される。例えば、定数KaおよびKpは、分析されるべきガスの濃度、温度、または圧力に依存してもよい。このように、振幅情報sigUssは位相情報SigPhiと一致することがある。評価装置は合成信号とともに振幅情報および位相情報をさらに処理することがあり、例えばその結果、評価装置はガスセンサによって検出されたガスを非常に迅速に、効率的に、および非常に正確に分析することができる。

【0013】

ある実施形態によれば、評価装置は、 $\text{sigUss} = 2 * \text{Hz.Uss} - (\text{D1.Uss} + \text{D2.Uss})$ に従って振幅情報sigUssを得るように構成される。ここで、項Hz.Ussはヒータの振幅に関する情報であることがある、項D1.Ussは第1の検出器の検出器信号の振幅に関する情報であることがある、項D2.Ussは第2の検出器の検出器信号の振幅に関する情報であることがある。このように、振幅情報sigUssは相対振幅信号を構成してもよい。換言すれば、振幅情報は、ヒータ振幅の2倍と、第1の検出器の検出器信号の振幅に関する情報および第2の検出器の検出器信号の振幅に関する情報の和との差であってもよい。振幅情報sigUssのこの特定の計算の結果、振幅情報sigUssは本質的に流体による熱伝達に依存し、例えば少なくとも1つのヒータから分析されるべきガスへの熱伝達や分析されるべきガスから第1および／または第2の検出器への熱伝達等の未知の熱伝達を考慮しない、またはわずかにしか考慮されないようにすることができる。したがって、振幅情報sigUssに依存することがある合成信号sigXは未知の熱伝達の影響を受けない、またはわずかにしか受けず、その結果、評価装置は、ガス濃度に関する情報または流体の熱拡散率に関する情報等、分析されるべきガスの特性を非常に正確に決定することができる。

【0014】

ある実施形態によれば、評価装置は、ガス濃度に関する情報または流体の熱拡散率に関する情報を得るために、合成信号の多項式（例えば、 $A \cdot y(\text{sigX})$ 等の1次の多項式）を計算するように構成されていることがある。評価装置による合成信号の多項式形成を介して、合成信号のドリフト補正が行われることがある。このように多項式形成によって、例えば、濃度ドリフト、圧力ドリフト、および温度ドリフトが補正されることがある。このように、例えば評価装置は、合成信号の3つの多項式を算出することがあり、ここで、第1の多項式は、ガス濃度と合成信号との関係を表すことがあり、第2の多項式は圧力と信号シフト（合成信号の圧力ドリフト）との関係を表すことがあり、第3の多項式は、温度と圧力ドリフトとの関係を表すことがある。このように、この特徴により、起こり得る不正確さを修正することができ、したがって、起こり得る誤差を低減して流体を非常に正確に分析するように評価装置を構成することができる。

10

【0015】

ある実施形態によれば、評価装置は、ガス濃度に関する情報または熱拡散率に関する情報を得るために、合成信号の多項式に補正項を乗算するように構成されていることがある。補正項は、合成信号、圧力（ p ）に関する情報、および温度（ T ）に関する情報に依存することがある。したがって、例えば、補正項は、合成信号の圧力／温度依存性を補償することがある。こうして、例えば、ガス濃度と合成信号との関係を表す多項式は、圧力と温度のドリフトに関して補正項で補正されることがある。このように、補正項を合成信号の多項式で乗算することにより、評価装置が可能な誤差の影響を低減し、その結果、評価装置は、ガス濃度に関する情報または熱拡散率に関する情報を非常に正確に取得するように構成することができる。例えば、これによって、例えば、ガスセンサの第1の検出器および／または第2の検出器による検出器信号の検出において生じる圧力依存誤差および温度依存誤差を最小化することができる。

20

【0016】

ある実施形態によれば、評価装置は、ガス濃度に関する情報 C を得るために、

$$C = \text{pol}(\text{sigX}) \cdot \left(1 - \left[\frac{f(p)}{\text{sigX} - \text{const1}} \right] \cdot \left(1 - \left[\frac{f(T)}{p - \text{const2}} \right] \right) \right)$$

により計算を実行するように構成されていることがある。ここで、項 sigX は合成信号であることがあり、項 $\text{pol}(\text{sigX})$ は合成信号 sigX の多項式であることがあり、 $f(p)$ は圧力 p （または熱ガスセンサの周辺領域で測定された圧力 p ）の関数であることがあり、 const1 は第1の定数であることがあり、 $f(T)$ は温度（または熱ガスセンサの周辺領域で測定された温度 T ）の関数であることがあり、 const2 は第2の定数であることがある。例えば、関数 $f(p)$ は圧力と信号のシフトとの関係を表す多項式であってもよく、 $f(T)$ は温度と信号のシフトとの関係を表す多項式であってもよい。この特徴により、ガスセンサに起因する圧力依存誤差および／または温度依存誤差に関して結合信号の多項式を補正することができる、あるいはガスセンサに起因する圧力依存誤差および／または温度依存誤差を低減することができる、その結果、評価装置による非常に精密なガス分析が可能となる。

30

40

【0017】

ある実施形態によれば、評価装置は、ガス濃度に関する情報 C を得るために、

$$C[\text{vol}\%] = A \cdot y(\text{sigX}) \cdot \left(1 - \left[\frac{B \cdot y(p) - B \cdot \text{ref}}{\text{sigX} - B \cdot \text{ref}} \right] \cdot \left(1 - \left[\frac{C \cdot y(T) - C \cdot \text{ref}}{p - C \cdot \text{ref}} \right] \right) \right)$$

によって計算を実行するように構成されていることがある。項 sigX は合成信号であることがあり、A.y(sigX)は合成信号 sigX の（例えば 1 次の）多項式であってもよく、B.y(p)は圧力 p（または熱ガスセンサの周辺領域で測定された圧力 p）の関数であってもよく、B.ref は定数であってもよく、C.y(T)は温度 T（または熱ガスセンサの周辺領域で測定された温度 T）の関数であってもよく、C.ref は第 2 の定数であってもよい。ここで、例えば、B.y(p)は、圧力 p と信号（例えば合成信号 sigX）のシフトとの関係を表す（例えば、2 次の）多項式関数であることがある。例えば、関数 C.y(T)は、例えば、温度 T と圧力のシフトとの間の関係を表し得る（例えば 2 次の）多項式関数である。このように、圧力 p の関数 B.y(p)と温度 T の関数 C.y(T)が、合成信号 sigX を補正することができる補正項を形成することができるので、評価装置は、例えば分析される流体のガス濃度に関する情報を非常に正確に決定するように構成される。

10

【0018】

ある実施形態によれば、評価装置は、ガス濃度に関する情報を決定する際に、熱ガスセンサの周辺領域の圧力および／または温度を考慮するように構成されることがある。このために、例えば、評価装置は、ガスセンサの周辺領域の圧力および／または温度に関する情報を取得することがある。例えば、熱ガスセンサの周辺領域内の圧力は圧力センサによって決定され、熱ガスセンサの周辺領域内の温度は温度センサによって決定されて、例えば、評価装置に伝送される。圧力センサ及び／又は温度センサは、熱ガスセンサの周辺領域に配置されることがある。このように、評価装置は、圧力および／または温度に依存して補正を実行することができ、ひいては流体を非常に精密に分析することができ、したがって、たとえば、ガス濃度および／または流体の熱伝導率に関する情報を非常に精密に取得することができる。

20

【0019】

ある実施形態によれば、評価装置は、ガス濃度に関する情報を決定する際に、合成信号、熱ガスセンサの周辺領域の温度に関する情報、および熱ガスセンサの周辺領域の圧力に関する情報をドリフト補正の入力量として使用し、ドリフト補正の結果としてガス濃度に関する情報を取得するように構成されることがある。前記 3 つの入力変数以外には、例えば、ドリフト補正は、更なる変数を取得せず、例えば、以前に例えば較正の文脈で（例えば、追加的に）取得された定数のみを使用する。このように、評価装置は、ドリフトによって引き起こされる、ガス濃度の計算における可能なエラーを計算し、それゆえにドリフト補正を実行するように構成されていることがある。ドリフトは、様々な温度および圧力で生じる可能性があり、したがって、誤ってガス濃度を決定する可能性があるが、この特徴によって回避されるか、または抑制され得る。したがって、評価装置を用いてガス濃度に関する情報を非常に正確に決定することが可能である。

30

【0020】

ある実施形態によれば、評価装置は、少なくとも第 1 の検出器の検出器信号の振幅に関する情報に依存し、かつ任意に第 2 の検出器の検出器信号の振幅に関する情報にも依存する振幅情報と、第 1 の位相差に関する情報に依存し、かつ任意に第 2 の位相差に関する情報にも依存する位相情報との間の商に基づいて、合成信号、またはさらなる合成信号を得るように構成されている。さらに、評価装置は、合成信号に依存して、ガスの濃度、例えばガス混合物の第 3 のガスに関する情報を決定するように構成されてもよい。言い換えれば、商は振幅に関する情報と位相情報との間の比である。ある実施形態によれば、第 3 のガスはこの比をシフトさせ、その結果、評価装置は、この比に基づいて第 3 のガス成分の濃

40

50

度を推論するように構成されることがある。

【0021】

ある実施形態によれば、評価装置は、

$$\text{sigV} = \text{sigUss} * \text{Kav} / (\text{sigPhi} * \text{Kpv})$$

によって合成信号sigVを取得するように構成されている。

式中、sigUssは、第1の検出器の検出器信号の振幅に関する情報および任意に第2の検出器の検出器信号の振幅に関する情報に依存する、振幅情報であってもよい。また、sigPhiは、第1の位相差に関する情報および任意に第2の位相差に関する情報に依存する位相情報であってもよい。また、Kav、Kpvは定数を表す。例えば、合成信号sigVは、振幅に関する情報と位相情報との比を表す。換言すれば、評価装置は、分析されるべきガス混合物中の既知の第3のガスの未知の濃度を例えば相関関係によって評価装置で推論するために使用され得る更なる物理ガスパラメータを、比sigVによって振幅信号および位相信号から決定するように構成されている。KavおよびKpvは、振幅および位相の比の変化を増幅する新しい重み付け係数である。

10

【0022】

ある実施形態によれば、評価装置は、加熱期間中にどの程度の熱がヒータによって散逸されるかについての情報を取得し、加熱期間中にどの程度のエネルギーがヒータによって散逸されるかについての情報に依存して、ガスの濃度、例えばガス混合物の第3のガスについての情報を決定するように構成されている。加熱期間は、加熱電圧の最初のゼロ交差から加熱電圧の2番目のゼロ交差までの期間であると理解されてもよい。あるいは、加熱期間は、加熱電圧がゼロボルトからゼロボルト超またはゼロボルト未満に変化する第1の時点から、加熱電圧がゼロボルト超またはゼロボルト未満からゼロボルトに変化する第2の時点までの期間であると理解されてもよい。例えば、加熱信号は、正弦波信号、余弦波信号、方形波信号、三角波信号、ノコギリ波信号であってもよい。加熱期間中は、熱はヒータを取り囲むガス混合物に放散される。ヒータによって周囲のガスに放散される熱の量は、例えば、周囲のガスの熱伝導率、または周囲のガスのガス成分の熱伝導率に依存する。したがって、評価装置は、ヒータが放散する熱によって、未知のガスまたはガス混合物の熱伝導率を決定するように構成されることがある。

20

【0023】

ある実施形態によれば、評価装置は、特定の加熱電圧においてヒータを通る電流フローの大きさに基づいて、加熱期間中にどれだけの熱がヒータによって放散されるかという情報を得るように構成されている。すなわち、加熱期間中にヒータに印加される加熱電圧が特定され、ガスまたはガス混合物にどれだけの熱が放散されるかに応じて電流の流れが変化する。放散される熱量が大きいほど、ヒータの温度上昇が弱くなるため、ひいては正のTCR（抵抗温度係数）を想定すると、ヒータ抵抗の値が小さくなり、結果として電流流量の減少が少なくなる。このように、評価装置によってヒータを通る電流流量を決定することによって、分析されるべきガス混合物の組成が推論することができる、または、評価装置は電流流量を追加情報として使用して、ガス分析の精度をさらに向上させることができる。

30

【0024】

ある実施形態によれば、評価装置は、特定の加熱電圧をオンにした直後、および特定の加熱電圧をオフにする直前に電流流量を取得するように構成されている。評価装置は、両電流流量データ片の差から、加熱期間中の電流流量の変化を決定することができる。差分が大きいほど、分析されるガスまたはガス混合物の熱伝導率が低くなる。このように、評価装置は、ガスまたはガス混合物の熱伝導率を、例えば、ガスまたはガス混合物の分析における追加パラメータとして使用するように構成されている。換言すれば、評価装置が、例えば、加熱電圧をオンにした直後と加熱電圧をオフにする直前との間の開始最大値におけるヒータ電流の差を（期間ごとに）評価するように構成されることにより、評価装置は熱伝導率の測定値を未知のガス混合物のさらなる物理パラメータとして使用するように構成されてもよい。加熱電圧をオンにした直後とは、10 μsから1ms、100 μsから800 μs、

40

50

または $300\mu s$ から $500\mu s$ の時間スパン、ならびにスイッチオン後 $400\mu s$ 等の時点を意味する場合がある。

【0025】

実施形態は、少なくとも1つのヒータと少なくとも1つの検出器とを有する熱ガスセンサの信号を評価するための方法を提供する。熱は、分析されるべきガスを介してヒータから検出器に伝達される。方法は、第1の検出器の検出器信号の振幅に関する情報（例えば、 $D1 \cdot Uss$ ）と、ヒータ信号と第1の検出器の検出器信号との間の第1の位相差に関する情報（例えば、 $(D1 \cdot Hz) \cdot phi$ ）とを取得することを含む。合成信号は、検出器信号の振幅に関する情報に依存し、かつ第1の位相差に関する情報に依存する中間量として形成される。例えば、合成信号は、振幅に関する情報と位相に関する情報とを組み合わせる。ガス濃度に関する情報または流体（例えば、ガスまたはガス混合物）の熱拡散率に関する情報は、合成信号に基づいて決定される。例えば、この決定は、計算のさらなる過程において、組合せ信号に組み込まれた個々の情報を個別に考慮することなく行われてもよい。

10

【0026】

実施形態では、少なくとも1つのヒータと、ヒータに対して異なる距離または同じ距離に配置された2つの検出器とを有する熱ガスセンサの信号を評価するための方法が提供される。例えば、熱は、分析されるべきガスを介してヒータから2つの検出器に伝達されてもよい。方法は、第1の検出器（例えば $D1.Uss$ ）の検出器信号の振幅に関する情報、第2の検出器（例えば $D2.Uss$ ）の検出器信号の振幅に関する情報、ヒータ信号と第1の検出器の検出器信号との間の第1の位相差に関する情報（例えば $(D1-Hz) \cdot phi$ ）、およびヒータ信号と第2の検出器の検出器信号との間の第2の位相差に関する情報（例えば $(D2-Hz) \cdot phi$ ）を取得することを含んでもよい。合成信号は、検出器信号の振幅に関する情報に依存し、第1の位相差に関する情報に依存し、第2の位相差に関する情報に依存する中間量として形成されてもよい。例えば、合成信号は、振幅に関する情報と位相に関する情報とを組み合わせたものであってもよい。ガス濃度に関する情報または流体（例えば、ガスまたはガス混合物）の熱拡散率に関する情報は、合成信号に基づいて決定されてもよい。例えば、この決定は、計算のさらなる過程において、合成信号に組み込まれた個々の情報を個別に考慮することなく行われてもよい。

20

【0027】

一実施形態は、少なくとも1つのヒータと少なくとも1つの検出器とを有する熱ガスセンサの評価装置に関する。例えば、必ずしもそうではないが、2つの検出器は、ヒータに対して異なる距離に配置されてもよい。評価装置は、少なくとも1つの検出器のうちの少なくとも1つからの少なくとも1つのセンサ信号に依存して、少なくとも1つのセンサ信号を所定の値範囲にもたすためにヒータに印加される加熱電力を制御するように構成されていてもよい。さらに、評価装置は、センサ信号からガス濃度に関する情報を導出する際に、加熱電力に関する情報（例えば、 $Hz.Uss$ ）を考慮するように構成されてもよい。

30

【0028】

本実施形態の評価装置は、評価装置が、異なるガスまたはガス混合物に対して、少なくとも1つのセンサ信号を所定の値範囲に維持するために、加熱電力を変化させてもよいという知見に基づいている。少なくとも1つのセンサ信号が所定の値範囲内に維持されるという事実のために、それは、大きな情報損失を受け入れる必要がなく、理想的な方法で分析してもよい。例えば、評価装置が、センサ信号の振幅が所定値範囲よりも低いという事実に関する情報を得た場合、評価装置は、ヒータの加熱電力を増加させ、したがってセンサ信号の振幅を所定値範囲に持ち上げるように、ヒータに加熱電力を適用してもよい。しかし、評価装置が、センサ信号が所定値範囲よりも大きい振幅を有するという情報を取得した場合、評価装置は、ヒータの加熱電力を減少させ、したがってセンサ信号の振幅を所定値範囲内に下げるようにヒータに加熱電力を印加してもよい。このように、例えば、評価装置は、評価装置が、少なくとも1つのセンサ信号に依存して、ヒータに加熱電力を適

40

50

用するか、または再調整するという事実によって、少なくとも1つのセンサ信号を常に所定値範囲内に維持してもよい。このように、評価装置は、加熱電力に関する情報とセンサ信号に関する情報との組み合わせを用いて、ガスの濃度および／またはガスの熱拡散率に関する情報を導出してもよい。さらに、評価装置は、したがって、正確な流量測定および迅速なガス分析を可能にしてもよい。

【0029】

一実施形態によれば、評価装置は、周期的な信号をヒータに適用するように構成されてもよい。例えば、周期信号は、方形波信号、または定義されたパワーを有するインパルス、または正弦波信号を定義する。任意に、評価装置は、周期信号を生成してもよいプロセッサを構成する。ここで、プロセッサにおいて評価可能なタイマ構造のために、方形波信号は、そのデジタル／アナログ（DA）ポート上のプロセッサによって出力されるであろう合成正弦波信号よりもはるかに正確に時間的に生成され得ることに留意されたい。周期的な信号をヒータに印加することにより、2つの検出器はそれぞれ周期的なセンサ信号も検出する。しかしながら、このようにして達成された周期的なセンサ信号はまた、ヒータの周期的な信号に関して、振幅、オフセット、および位相位置が異なってもよい。評価装置によって達成された情報から、評価装置は、熱伝導率、熱拡散率、および一ガス（熱ガスセンサによって分析されるべきガス）の密度が既知である場合には一特定の熱容量を決定してもよい。したがって、例えば、ガスの濃度および／または熱伝導率／熱拡散率に関する情報は、加熱パワーに関する情報を表す加熱パワーの変動から導出されてもよい。現在のところ、熱ガスセンサのヒータが低熱質量を構成する場合、熱が迅速に供給されて放散されてもよいので、ヒータに印加される周期的な信号は、300 Hzまでの周波数を有する評価装置によって変調されてもよい。このように、周期的な信号は、正確で迅速かつ効率的なガス分析を可能にする。

【0030】

例えば、周期的な信号が定義されたパワーを有するインパルスである場合、検出器に対するヒータ信号の急峻なエッジの電気的クロストークは、時間的に後に発生する熱波と明確に区別できるであろう。デューティサイクルが50%の場合、同じものが同時に熱波を得て、少なくとも1つの検出器が測定を実行する場合、ヒータにおけるスイッチオフエッジがセンサ信号に電気的にクロストークする可能性がある。電子システム（R-C部品）を構成することにより、ヒータのエッジはわずかに丸められ、検出器の信号はクロストーク干渉の外側に押し出される可能性がある。強力な組み込みプラットフォームでは、電気的干渉と信号が時間的に明確に区別される可能性があるため、より短いデューティサイクルでのヒータ動作がより重要になる可能性がある。明らかに、パルスは、少なくとも1つの検出器が測定を実行することができるように、ヒータが十分な電力／熱を散逸させるのに十分な幅であるべきであり、これは、5%のデューティサイクルの下限であってもよい。

【0031】

一実施形態によれば、評価装置は、ヒータに印加される加熱電力を2つの値の間で切り替えるように構成されてもよい。したがって、例えば、周期的な方形波信号の形での加熱電力がヒータに適用されてもよい。例えば、DA変換器は、2つの値（例えば、ヒータ電圧の形で）を指定してもよい。また、2つの電圧のうちの1つの値は、アナログスイッチを有するヒータ増幅器に交互に印加されてもよい。この特徴により、ヒータに存在する加熱電力および位相位置が各時点で正確に決定されてもよいことを可能にし、その結果、少なくとも1つのセンサ信号がヒータ信号と非常に正確に比較されてもよく、評価手段は、したがって、非常に正確なガス分析を行ってもよい。

【0032】

一実施形態によれば、評価装置は、少なくとも1つのセンサ信号の最小値および少なくとも1つのセンサ信号の最大値が所定の値範囲内にあるように、加熱電力の振幅を調整するように構成されてもよい。例えば、これにより、少なくとも1つのセンサ信号の振幅が、少なくとも1つのセンサ信号の全体（例えば、熱ガスセンサが2つの検出器のうち少なくとも1つの検出器を介して少なくとも1つのセンサ信号を検出している時間の全体）に

において、所定の値の範囲内にあることが保証される。例えば、最小値は、少なくとも1つのセンサ信号の最小振幅を表してもよく、最大値は、最大振幅を表してもよい。このように、加熱電力の振幅は、例えば、少なくとも1つのセンサ信号の最小値が所定の値範囲内にあるか否かを検証するときと、少なくとも1つのセンサ信号の最大値が所定の値範囲内にあるか否かを検証するときとの少なくとも2回、制御されてもよい。このように、この特徴によれば、少なくとも1つのセンサ信号の少なくとも2つの値（最小値と最大値）を決定し、それに基づいて加熱電力の振幅を調整することができるので、評価装置の精度を向上させることができる。したがって、評価装置は、非常に精密なガス分析を行うように構成されていてもよい。

【0033】

任意で、所定値範囲は、最小値範囲と最大値範囲とから構成されてもよい。この場合、例えば、評価装置は、少なくとも1つのセンサ信号の最小値が所定値範囲の最小値範囲にあり、少なくとも1つのセンサ信号の最大値が所定値範囲の最大値範囲にあるように、加熱電力の振幅を制御するように構成されていてもよい。このように、少なくとも1つのセンサ信号がほぼ全ての値域をカバーしており、例えば、失われる情報が少ない、または全くないということもあり得る。

【0034】

実施形態によれば、少なくとも1つのセンサ信号の最小値および／または最大値は、少なくとも1つのセンサ信号の位相位置またはオフセットを定義することができる。

【0035】

例えば、所定値範囲は、アナログ・デジタル変換器の動作範囲を構成してもよい。少なくとも1つのセンサ信号の最小値および／または少なくとも1つのセンサ信号の最大値が所定の値範囲外にある場合、アナログ・デジタル変換器は、少なくとも1つのセンサ信号を正しく変換しない可能性があり、その結果、ある状況下では、評価装置は、ガス濃度または熱拡散率についての誤った情報を導き出す。これは、本明細書に記載された特徴によって防止されてもよいし、低減されてもよい。

【0036】

一実施形態によれば、評価装置は、少なくとも1つのセンサ信号の振幅が所定の振幅範囲にあるように、加熱電力の振幅を設定または調整するように構成されてもよい。例えば、所定の振幅範囲（例えば、所定の値範囲によって決定／定義されてもよい）は、アナログ・デジタル変換器の動作範囲を構成してもよい。少なくとも1つのセンサ信号の振幅は、少なくとも1つのセンサ信号の意味のある分析が評価装置によって実行され得るように、指定された振幅範囲の少なくとも50%、または少なくとも65%、または少なくとも75%を利用することが好ましい。オプションとして、指定された振幅範囲はまた、少なくとも1つのセンサ信号の振幅が、アナログ・デジタル変換器の値範囲の少なくとも50%、少なくとも65%、または少なくとも75%を利用することを定義してもよい。少なくとも1つのセンサ信号の振幅が規定された振幅範囲外にあると、情報が失われ、例えば、センサ信号からガス濃度または熱拡散率に関する情報の誤った導出が得られる可能性がある。

【0037】

同様に、少なくとも1つのセンサ信号の振幅が、指定された振幅範囲の非常に小さな範囲のみを利用している場合、問題があるかもしれない。例えば、この場合には、アナログ・デジタル変換器が十分に利用されない可能性があるため、評価装置による分析の質が低下する。評価装置による少なくとも1つのセンサ信号の分析における非常に高い精度は、記載された特徴によって確保されてもよい。このように、アナログ・デジタル変換器が最適化された状態で動作する可能性があり、評価装置による非常に正確なガス分析が確保される。

【0038】

一実施形態によれば、評価装置は、センサ信号がサンプリングされるサンプリング時間を設定または調整するように構成されてもよい。例えば、センサ信号は、前処理および／

10

20

30

40

50

またはDCオフセットで適用されるセンサ信号であってもよい。これにより、例えば、評価装置は、評価装置が、センサ信号が所定の値範囲内にあることを期待するサンプリング時間を設定してもよい。センサ信号が所定の値範囲内にない場合、評価装置は、サンプリング時間においてセンサ信号を所定の値範囲内に持ってくるために、ヒータに加熱電力を印加してもよい。このように、評価装置は、評価装置が熱ガスセンサによって検出されたガスの非常に迅速かつ正確なガス分析を実行することができる最適化されたサンプリング時間を設定または調整するように構成されている。

【0039】

一実施形態によれば、評価装置は、センサ信号が最大値に達する時点（例えば、第1のサンプリング時間）でサンプリングが行われ、センサ信号が最小値に達する時点（例えば、第2のサンプリング時間）でサンプリングが行われるように、サンプリング時間を設定するように構成されている。例えば、サンプリングは、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、または $\pm 5\%$ までの位相差で行われてもよい。実施形態によれば、サンプリングは、 $\pm 15\mu s$ 、 $\pm 100\mu s$ 、 $\pm 2.1ms$ 、 $\pm 4.2ms$ 、 $\pm 6.3ms$ 、または $\pm 10ms$ の偏差を有する時点で実施されてもよい。評価手段がこのような精度でサンプリング時間を設定してもよいという事実のために、評価手段は、このようにして捕捉された最小値および／または最大値が所定の値の範囲内にあるか／ないかを検証してもよい。さらに、センサ信号の最大値および最小値を、それぞれ他のガス種のセンサ信号の最大値および最小値と非常に正確に比較してもよく、その結果、評価手段は、このように設定されたサンプリング時間を通して非常に正確で効率的なガス分析を行うように構成されている。

【0040】

ある実施形態によれば、評価手段は、アナログーデジタル変換器の入力信号を得るために、検出器のうちの少なくとも1つからのセンサ信号と、デジタルーアナログ変換器によって生成されたオフセット信号とを結合するように構成されることがある。さらに、評価手段は、アナログーデジタル変換器の入力信号をセンサ信号の全周期中に特定の範囲（例えば、既定の値の範囲）内に留まらせるために、オフセット信号を調整するように構成されることがある。例えば、オフセット信号は、アナログーデジタル変換器の入力値が特定の上限閾値（例えば、アナログーデジタル変換器の最大処理可能入力値の95%、90%、または85%）を超えたことを識別したことへの反応として、またはアナログーデジタル変換器の入力値が特定の下限閾値（例えば、アナログーデジタル変換器の最大処理可能入力値の5%、10%、または15%）を下回ったことを識別したことへの反応として、調整することができる。

【0041】

このように、例えば、オフセット信号はセンサ信号のオフセットを変更して、センサ信号を特定の範囲に収めることができる。例えば、評価手段は、オフセットシフトされたセンサ信号を構成し得る入力信号を生成するためにオフセット信号を使用することができることが指摘される。このように、評価装置は、少なくとも1つのセンサ信号とオフセット信号との組み合わせによって、センサ信号を全周期中特定の範囲にシフトさせることができる。例えば、入力信号が依然として特定の範囲を超えている場合、評価手段は加熱電力をヒータに印加して、少なくとも1つのセンサ信号を全周期中特定の範囲内に収めるようにすることができる。例えば、特定の範囲は、アナログーデジタル変換器の動作範囲であってもよい。このように、本明細書に記載の特徴により、アナログーデジタル変換器を含み得る評価手段により、ガス濃度および／または熱拡散率に関する非常に正確な情報を少なくとも1つのセンサ信号から導出することができる。

【0042】

ある実施形態によれば、評価手段は、サンプリング時間が定常状態に設定または調整され、かつオフセット信号が定常状態に調整された場合にのみ、加熱電力を制御するように構成されることがある。例えば、定常状態とは、評価装置が可能な公差内でサンプリング時間を決定したこと、およびサンプリング時間をそれ以上設定または調整する必要がないことを意味すると理解される。例えば、定常状態では、サンプリング時間は、少なくとも1

つのセンサ信号の最大値（公差内）および最小値（公差内）がサンプリングされるように調整される。さらに、定常状態によって、評価手段が調整したオフセット信号は、少なくとも1つのセンサ信号との組み合わせによって、センサ信号の全周期中特定の範囲内に留まる入力信号を生成すると規定することができる。このように、定常状態は、少なくとも1つのセンサ信号を非常に正確に分析し、ガス濃度および／または熱拡散率に関する情報を導出するために、評価手段が必要なすべての出力パラメータ（例えば、サンプリング時間（およびそこから得られるセンサ信号の最大値および最小値等）またはオフセット信号）を正確に決定したことを意味することがある。評価手段は、評価手段が調整した加熱電力に関する情報および評価手段によって少なくとも1つのセンサ信号から導出された情報から、ガスセンサが検出したガスのガス濃度および／または熱拡散率に関する情報を非常に精密に決定することができる。

10

【0043】

ある実施形態によれば、評価手段は、サンプリング時間が設定または調整されている間、および／またはオフセット信号が調整されている間、加熱電力の制御を停止するように構成されることがある。この特徴により、サンプリング時間を設定または調整しているとき、および／またはオフセット信号を調整しているときの誤差が低減され、非常に迅速かつ効率的な調整が可能となり、その結果、評価手段は、ガス濃度および熱拡散率に関する情報を非常に迅速かつ非常に正確に決定するように構成することができる。

【0044】

ある実施形態によれば、評価装置は、平均加熱電力または最大加熱電力および加熱電力の振幅を制御するように構成されることがある。例えば、周期的な励起信号がヒータに適用されることがあるので、平均加熱電力は、例えば、励起信号がヒータに適用されている時間にわたって平均化された電力であることがある。周期的に励起されたヒータでは、加熱電力の振幅が変化することがある。したがって、例えば、最大加熱電力は、ある時間スパン内のヒータの加熱電力の最大振幅に相当してもよい。あるいは、加熱電力の振幅は、ほぼ一定であってもよい。したがって、例えば、加熱電力の振幅は時間の経過とともに変化するように制御されてもよい。

20

【0045】

一実施形態では、少なくとも1つのヒータと、ヒータに対して異なる距離に配置された少なくとも1つのまたは2つの検出器と、ヒータに対して同じ距離に配置された2つの検出器とを有する熱ガスセンサの評価装置を動作させるための方法が提供される。方法は、少なくとも1つの検出器のうちの少なくとも1つの検出器からの少なくとも1つのセンサ信号に依存して、前記少なくとも1つのセンサ信号を所定の値の範囲に持つていくために、前記ヒータに印加される加熱電力を制御することを含んでもよい。さらに、方法は、センサ信号からガス濃度に関する情報を導出する際に、加熱電力に関する情報（例えば、Hz, Us s）を考慮することを含んでもよい。

30

【0046】

実施形態は、プログラムがコンピュータ上で実行されるときに方法を実行するためのプログラムコードを有するコンピュータプログラムに関する。

【0047】

一実施形態は、少なくとも1つのヒータと、少なくとも1つの検出器またはヒータに対して異なる距離に配置された2つの検出器またはヒータに対して同じ距離に配置された2つの検出器とを有する熱ガスセンサのための評価装置に関する。評価装置は、所定の周期継続時間を有する周期信号をヒータに適用するように構成されていてもよい。さらに、評価装置は、第2のサンプリング時間が、第1のサンプリング時間と比較して、期間継続時間に関して90°シフトした時間であり、第3のサンプリング時間が、第1のサンプリング時間と比較して、期間継続時間に関して180°シフトした時間である3回のサンプリング時間で、検出器のうちの1つから少なくとも1つのセンサ信号をサンプリングするように構成されてもよい。さらに、評価装置は、第1のサンプリング時間、第2のサンプリング時間、および第3のサンプリング時間におけるセンサ信号のサンプリングに基づく3

40

50

つのサンプル値に基づいて、第1のサンプル値または第3のサンプル値がセンサ信号の最大値および最小値を構成するかどうかを識別するように構成されてもよい。サンプリング時間（例えば、第1のサンプリング時間、第2のサンプリング時間、および/または第3のサンプリング時間）は、評価装置によって指定されたサンプリング時間から $\pm 0.5^\circ$ 、 $\pm 1^\circ$ 、 $\pm 2^\circ$ 、または $\pm 5^\circ$ の偏差を構成してもよい。したがって、第2のサンプリング時間は、第1のサンプリング時間に対して1/4の期間、5/4の期間、または9/4の期間によって時間シフトされてもよく、例えば第3のサンプリング時間は、第1のサンプリング時間に対して1/2の期間、3/2の期間、または5/2の期間によって時間シフトされてもよい。

【0048】

評価装置のこの実施形態は、ヒータに対して異なる距離に配置された熱ガスセンサの少なくとも2つの検出器のうちの1つによって検出された少なくとも1つのセンサ信号の振幅が、適切な時点で少なくとも1つのセンサ信号のアナログ・デジタル変換が行われた場合に非常に正確に測定され得るという知見に基づいている。例えば、これは、少なくとも1つのセンサ信号が最大値または最小値を構成する時点での時点である。評価装置は、評価装置が、少なくとも1つのセンサ信号の「ゼロクロス」が予想される第2のサンプリング時間で少なくとも1つのセンサ信号をサンプリングすることによって、第1のサンプリング時間および第3のサンプリング時間が誤って選択されていることを識別するように構成されてもよい。第1のサンプリング時間、第2のサンプリング時間、および第3のサンプリング時間が正しい場合、評価装置は、第1のサンプル値および第3のサンプル値がセンサ信号の最大値および最小値を構成するかどうかを識別してもよい。このように、第2のサンプリング時間は、評価装置のためのこの検証を確実にしてもよい。

【0049】

さらに、センサ信号の値範囲（例えば、最小値から最大値まで）を決定し、センサ信号が最適化された方法で分析され、情報の損失がほとんどないか、または全くないように、同じ値がアナログ・デジタル変換器の動作範囲内にあるかどうかを検証することが可能である。評価手段が、決定された最小値および最大値が値の範囲内にないと断言する場合、評価装置は、検出器によって検出されたセンサ信号を値の範囲内に持ってくるために、ヒータに印加される周期的な信号を適応させるように構成されてもよい。

【0050】

さらに、最小値および/または最大値の形でのサンプリング時間は、センサ信号の非常に正確に定義された位置を構成し、その結果、ヒータの周期的な信号と検出器の少なくとも1つからの少なくとも1つのセンサ信号との間の位相差および/または振幅差は、評価手段によって非常に正確に、容易に、かつ効率的に決定されてもよい。例えば、評価手段は、このようにして決定された位相差および振幅差から、非常に精密なガス分析を行ってもよい。

【0051】

このように、評価装置は、例えば、第1のサンプリング時間、第2のサンプリング時間、および第3のサンプリング時間の正確な決定によって、センサ信号（ガスを介してヒータから転送された2つの検出器のうちの少なくとも1つによって検出された信号）の振幅（例えば、最小値、最大値）を非常に正確に決定してもよいという事実に起因して、熱ガスセンサによって検出されたガスの非常に正確で迅速かつ効率的なガス分析を実行してもよいことに留意されるべきである。

【0052】

一実施形態によれば、評価装置は、第1のサンプル値および第3のサンプル値がセンサ信号の最大値および最小値を構成するかどうかを識別することに依存してサンプリング時間を変更するように構成されてもよい。この目的のために、評価装置は、サンプリング時間が誤って選択されているかどうかを識別してもよい。この場合、第1のサンプル値および第3のサンプル値がセンサ信号の最大値または最小値を構成し、サンプリング時間の偏差が $\pm 0.5^\circ$ 、 $\pm 0.7^\circ$ 、または $\pm 1^\circ$ 未満、および/または $\pm 10\mu s$ 、 $\pm 15\mu s$ 、または $\pm 20\mu s$ 未満の場合、例えば、評価装置は、サンプル値の変更を行わないと判断する。こ

のように、サンプリング時間を修正することが可能であり、評価装置によって、評価装置が非常に正確で迅速かつ効率的な分析を行うことができるように十分に正確に設定することが可能である。

【0053】

一実施形態によれば、評価装置は、第1のサンプル値がセンサ信号の極端な値、例えば最大値または最小値を構成し、第3のサンプル値がセンサ信号の第2の極端な値、例えば最小値または最大値を構成するように、サンプリング時間を設定または調整するように構成されてもよい。例えば、第2のサンプル値は、センサ信号の平均値またはDC成分（例えば、センサ信号のゼロクロス）を構成してもよい。このように、評価装置は、少なくとも1つのセンサ信号をサンプリングし、第1のサンプル値がセンサ信号の第1の極値を構成し、第3のサンプル値がセンサ信号の第2の極値を構成するまで、第1のサンプル値および第3のサンプル値がセンサ信号の最大値または最小値を構成するかどうかを検証するように構成されていてもよい。このように、これにより、センサ信号の振幅が非常に正確に決定され得るように、評価装置が調整されることを確実にし得る。このように、例えば、評価装置は、熱ガスセンサによって検出されたガスの非常に精密なガス分析を実行する。

【0054】

一実施形態によれば、評価装置は、サンプリング時間を設定または調整する際に、指定された閾値を通るセンサ信号の交差の時点に関する情報を考慮するように構成されていてもよい。例えば、指定された閾値は、センサ信号の直流成分または平均値に対応していてもよい。例えば、所定の閾値を通過したセンサ信号が交差する時間は、第2のサンプリング時間に対応していてもよい。例えば、所定の閾値は、センサ信号の「ゼロ交差」を定義してもよく、ここで、「ゼロ交差」はオフセットを提供してもよい。例えば、評価装置が、指定された閾値を介してセンサ信号の交差の時点に関する情報を残りの2つのサンプリング時間（例えば、第1のサンプリング時間および第3のサンプリング時間）と組み合わせる場合、評価装置は、第1のサンプル値および第3のサンプル値がセンサ信号の最大値および最小値に対応するかどうかを迅速かつ容易に検証するか、または識別することができる。このように、サンプリング時間は、評価装置によって非常に正確に決定されてもよく、その結果、評価装置による非常に精密なガス分析が可能となる。

【0055】

一実施形態によれば、評価装置は、第2のサンプリング時間における第2のサンプル値が、第1のサンプリング時間における第1のサンプル値および第3のサンプリング時間における第3のサンプル値の平均値と等しいかどうかを検証し、検証に依存して、第1のサンプル値および第3のサンプル値がサンプル信号の最大値および/または最小値を構成するかどうかを識別するように構成されていてもよい。一実施形態によれば、第2のサンプル値は、第1のサンプル値と第3のサンプル値との間の差の $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、または $\pm 5\%$ までの許容範囲で平均値から逸脱してもよい。この機能により、第1サンプル値と第3サンプル値がセンサ信号の最大値または最小値に対応しているかどうかを、第2サンプリング時間の助けを借りて評価装置が識別することができます。したがって、第1のサンプル値、第2のサンプル値、および第3のサンプル値を決定する際に、評価装置の可能性のあるエラーが低減され、非常に精密なガス分析が実行される可能性がある。

【0056】

一実施形態によれば、評価装置は、好ましくは50%のデューティサイクルを有する周期的な方形波信号または定義されたパワーを有するインパルスヒータに印加するように構成されてもよい。あるいは、デューティサイクルは、5~50%の範囲であってもよい。ここで、例えば、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、または $\pm 5\%$ のデューティサイクルの許容範囲が可能である。一実施形態によれば、評価装置は、ヒータの加熱電力を適応させるために、ヒータの固定動作電圧でデューティサイクルを変更するように構成されてもよい。これにより、評価装置は、デューティサイクルを介して非常に精密なヒータ信号を決定してもよく、ガスは、ヒータ信号に対応する少なくとも1つのセンサ信号のサンプリング時間を決定することによって非常に精密に測定されてもよい（したがって、ヒータ信号は、ガスを介

10

20

30

40

50

して検出器に搬送され、例えば、センサ信号として検出器によって検出される）。

【0057】

一実施形態によれば、評価装置は、アナログ・デジタル変換器の入力信号を得るために、検出器の少なくとも1つからのセンサ信号をデジタル・アナログ変換器によって生成されたオフセット信号と結合し、センサ信号の全期間中にアナログ・デジタル変換器の入力信号が所定の範囲（例えば、値の範囲）内に留まることを達成するために、オフセット信号を調整するように構成されてもよい。さらに、評価装置は、オフセット信号を調整した後にサンプリング時間を調整し、サンプリング時間の変更後に、変更されたサンプリング時間の設定で得られたサンプル値がまだ指定された範囲内にあるかどうかの検証を再び実行するように構成されてもよい。例えば、アナログ・デジタル変換器は、サンプリング時間

10

に存在する信号値をデジタル化し、したがって、センサ信号をサンプリングする。例えば、評価手段は、アナログ・デジタル変換器の入力値が、アナログ・デジタル変換器の最大処理可能な入力値の所定の上限閾値（例えば、95%、90%、または85%）を超えることを検出することへの反応として、またはアナログ・デジタル変換器の入力値が、所定の下限閾値（例えば、アナログ・デジタル変換器の最大処理可能な入力値の5%、10%、または15%）を下回ることを検出することへの反応として、オフセット信号を調整してもよい。例えば、オフセット信号を調整した後のサンプリング時間を追跡する文脈で、サンプリング時間を調整してもよい。例えば、オフセット信号を使用することにより、センサ信号とオフセット信号とを合成した入力信号が所定の範囲内に留まることを達成してもよく、ここで、所定の範囲は、例えば、捕捉され得るアナログ・デジタル・コンバータの限界（例えば、アナログ・デジタル・コンバータの動作範囲）として定義されてもよい。例えば、オフセット信号は、センサ信号を増幅または減少させてもよく、したがって、アナログ・デジタル変換器の最適な動作範囲または動作ウィンドウ（例えば、指定された範囲内）で連続的に同じ（例えば、全期間中）を維持してもよい。

【0058】

アナログ・デジタル変換器の入力信号がセンサ信号の全期間中に残るべき所定の範囲は、センサ信号の振幅とセンサ信号のオフセットのための所定の範囲を定義してもよい。したがって、例えば、オフセット信号は、センサ信号のオフセットをアナログ・デジタル変換器の所定の範囲にもたすだけでなく、入力信号が振幅に関して所定の範囲の大部分を採用する振幅を構成するように、センサ信号の振幅を制御してもよい。評価装置がサンプリング時間を変更した場合、サンプリング時間は、得られたサンプル値（またはアナログ／デジタル変換器の入力値）で再度検証される。例えば、得られたサンプル値が位置する所定の範囲は、所定の下限閾値と所定の上限閾値との間であってもよい。任意で、評価装置は、必要に応じて、得られたサンプル値を再度検証した後に、オフセット信号および／またはヒータの加熱電力を再調整するように構成されていてもよい。このように、評価装置は、センサ信号がオフセット信号で変換されて、例えば、アナログ・デジタル変換器の最適動作範囲（所定の範囲）を採用してもよい入力信号に変換されるので、センサ信号がアナログ・デジタル変換器によって非常に正確に分析されてもよいことを可能にする。これにより、評価装置を用いて非常に精密なガス分析を行うことが可能となる。

【0059】

一実施形態によれば、評価装置は、少なくとも1つの検出器からの少なくとも1つのセンサ信号に依存してヒータに印加される加熱電力を制御して、少なくとも1つのセンサ信号を所定の値の範囲に近づけるように構成されてもよい。さらに、評価装置は、センサ信号からガス濃度に関する情報を導出する際に、加熱電力に関する情報（例えば、Hz、Uss）を考慮するように構成されていてもよい。例えば、評価装置は、センサ信号の振幅を所定の値範囲に持ってくるように加熱パワーを制御するように構成されてもよい。ここで、振幅は、センサ信号の最小値および／または最大値、または最大値と最小値との差であってもよい。例えば、センサ信号が非常に低い振幅を有する場合、検出器によって検出されたセンサ信号が、少なくとも所定値範囲の少なくとも全体をほぼカバーする振幅を構成するように、評価装置によってヒータに加熱電力が印加されてもよい。例えば、所定値範囲

10

20

30

40

50

は、センサ信号が評価装置によって処理されるアナログ・デジタル変換器の動作範囲を構成してもよい。従って、例えば、評価装置は、少なくとも1つのセンサ信号がアナログ・デジタル変換器の動作範囲の少なくとも70%、75%、または80%を採用するように、ヒータに加熱電力を適用してもよい。評価装置は、加熱電力に関する情報に依存して、センサ信号に関する情報に依存して、ガス濃度に関する情報および／またはセンサ信号の熱拡散率に関する情報を決定するように構成されてもよい。例えば、加熱電力に関する情報は、加熱電力の振幅、加熱電力の位相、および／または加熱電力のオフセットを定義してもよい。例えば、センサ信号に関する情報は、センサ信号の振幅、センサ信号の位相、および／またはセンサ信号のオフセットを定義してもよい。このように、ガスは、評価装置を用いて非常に精密に分析されてもよい。

10

【0060】

一実施形態では、少なくとも1つのヒータと、ヒータに対して異なる距離に配置された2つの検出器とを有する熱ガスセンサを動作させるための方法が提供される。方法は、指定された期間の持続時間を有する周期的な信号をヒータに印加することを含んでもよい。少なくとも1つのセンサ信号は、3つの時点で検出器の1つによってサンプリングされてもよく、ここで、第2のサンプリング時間は、第1のサンプリング時間（すなわち1/4の期間、5/4の期間、または9/4の期間によって）と比較して、期間の持続時間（例えば±2%または±2°）に関して90°だけ時間シフトされていてもよく、第3のサンプリング時間は、第1のサンプリング時間（すなわち、1/2の期間、3/2の期間、または5/2の期間によって）と比較して、期間の持続時間（例えば、±2%または±2°）に関して、180°だけ時間シフトされてもよい。第1のサンプリング時間、第2のサンプリング時間、および第3のサンプリング時間においてセンサ信号をサンプリングすることに基づく3つのサンプル値に基づいて、第1のサンプル値および第3のサンプル値がセンサ信号の最大値または最小値を構成するかどうかを（例えば、DCオフセットを除いて）特定することができる（例えば、評価装置によって）。センサ信号の最大値および最小値を構成する第1のサンプル値および第3のサンプル値は、例えば、第1のサンプル値が最大値を構成し、第3のサンプル値が最小値を構成することを意味してもよく、または、第1のサンプル値が最小値を構成し、第3のサンプル値が最大値を構成することを意味してもよい（これは、本明細書に記載されているすべての実施形態に適用される）。

20

【0061】

実施形態は、プログラムがコンピュータ上で実行されるときに方法を実行するためのプログラムコードを有するコンピュータプログラムに関する。

30

【図面の簡単な説明】

【0062】

ここに説明される実施例で、いずれの独立請求項の全ての特徴またはそれと同等なものを備えないものはいずれも、本願発明をより容易に理解するためのものである。

本願発明による実施形態は、その後、添付の図面を参照してより詳細に記載される。図示された概略図面に関して、図示された機能ブロックは、本願発明の装置の要素または特徴、および本願発明の方法の対応する方法ステップであると理解され、本願発明の方法の対応する方法ステップがそこから導き出されることがあることに留意されたい。図面では、

40

【図1A】図1Aは、本願発明の一実施形態によるガスセンサの概略図である。

【図1B】図1Bは、本願発明の一実施形態による熱ガスセンサの評価装置の概略図である。

【図1C】図1Cは、本願発明の一実施形態による、加熱電力の制御を有する熱ガスセンサのための評価装置の概略図である。

【図1D】図1Dは、本願発明の一実施形態による、3つの時点でのセンサ信号のサンプリングを有する熱ガスセンサの評価装置の概略図である。

【図2A】図2Aは、本願発明の一実施形態による、光学顕微鏡内のガスセンサの概略図である。

【図2B】図2Bは、本願発明の一実施形態による、走査電子顕微鏡内のガスセンサの

50

概略図である。

【図 3】図 3 は、本願発明の一実施形態によるガスセンサのためのマイクロブリッジの走査電子顕微鏡像の断面の概略説明図である。

【図 4】図 4 は、本願発明の一実施形態による、第 1 の断絶が、第 2 の断絶のヒータに垂直な拡がりとは異なる拡がりを持つガスセンサの概略説明図である。

【図 5】図 5 は、本願発明の一実施形態による、第 1 の断絶領域および第 2 の断絶領域のそれぞれが複数の断絶領域を有するガスセンサの概略図である。

【図 6 A】図 6 A は、本願発明の一実施形態による、第 1 の断絶領域および第 2 の断絶領域のそれぞれが同数の断絶を有するガスセンサの概略図である。

【図 6 B】図 6 B は、本願発明の一実施形態による、第 1 の断絶領域における多数の断絶と、第 2 の断絶領域における単一の断絶とを有するガスセンサの概略図である。

【図 6 C】図 6 C は、本願発明の一実施形態による、第 1 の断絶領域における多数の断絶が、第 2 の断絶領域における多数の断絶とは異なる拡がりを持つヒータに対して垂直に構成する、ガスセンサの概略図である。

【図 7】図 7 は、本願発明の一実施形態によるガスセンサの原理の概略図である。

【図 8】図 8 は、本願発明の一実施形態によるガスセンサにおける熱輸送の概略説明図である。

【図 9】図 9 は、本願発明の一実施形態によるガスセンサのヒータ信号、第 1 のセンサ信号、および第 2 のセンサ信号の概略説明図である。

【図 10】図 10 は、本願発明の一実施形態によるガスセンサのヒータの駆動の概略説明図である。

【図 11】図 11 は、本願発明の一実施形態によるガスセンサのセンサ信号を評価するための回路の概略説明図である。

【図 12】図 12 は、本願発明の一実施形態によるガスセンサの制御の概略図である。

【図 13 A】図 13 A は、本願発明の一実施形態によるガスセンサのセンサ信号を分析する方法のブロック図である。

【図 13 B】図 13 B は、本願発明の一実施形態によるトラッキングサンプリング時を有するガスセンサのセンサ信号を評価するための方法のブロック図である。

【図 14】図 14 は、本願発明の一実施形態によるガスセンサのヒータ信号と 2 つのセンサ信号との間の位相シフトを示す図である。

【図 15】図 15 は、本願発明の一実施形態によるガスセンサの少なくとも 1 つのセンサ信号の振幅を示す図である。

【図 16】図 16 は、本願発明の一実施形態による、圧力の関数としての、ガスセンサの第 1 のセンサ信号と第 2 のセンサ信号との間の位相シフトを示す図である。

【図 17 A】図 17 A は、本願発明の一実施形態による、周波数の関数としてのガスセンサのセンサ信号の位相シフトを示す図である。

【図 17 B】図 17 B は、本願発明の実施形態による、周波数の関数としてのガスセンサのセンサ信号の振幅を示す図である。

【図 18】図 18 は、本願発明の一実施形態による、窒素濃度の関数としてのガスセンサの第 1 のセンサ信号、第 2 のセンサ信号、およびヒータ信号の位相シフトを示す図である。

【図 19】図 19 は、本願発明の一実施形態による、窒素濃度の関数としてのガスセンサの第 1 のセンサ信号および第 2 のセンサ信号の振幅を示す図である。

【図 20】図 20 は、本願発明の一実施形態による、さまざまなガス混合物のためのガスセンサの合成信号を示す図である。

【図 21】図 21 は、本願発明の一実施形態による CO₂ 濃度の関数としてのガスセンサの合成信号を示す図である。

【図 22】図 22 は、本願発明の一実施形態による、圧力の関数としてのガスセンサの合成信号を示す図である。

【図 23】図 23 は、本願発明の一実施形態によるガスセンサのガス圧力とガス温度の

10

20

30

40

50

関係を示す図である。

【図 2 4】図 2 4 は、本願発明の一実施形態によるガスセンサの合成信号を生成する方法のブロック図である。

【図 2 5】図 2 5 は、本願発明の一実施形態によるセンサの合成信号の関数としての熱拡散率を示す図である。

【図 2 6】図 2 6 は、本願発明の実施形態に従った第 1 のガス混合物のための加熱期間中のヒータ内の電流フローの図である。

【図 2 7】図 2 7 は、本願発明の実施形態に従った第 2 のガス混合物のための加熱期間中のヒータ内の電流フローの図である。

【図 2 8】図 2 8 は、本願発明の実施形態に従った第 3 のガス混合物のための加熱期間中のヒータ内の電流フローの図である。

10

【図 2 9】図 2 9 は、本願発明の一実施形態に従った異なるガス混合物のための異なる相情報の図である。

【図 3 0】図 3 0 は、本願発明の一実施形態に従った異なるガス混合物のための異なる振幅情報の図である。

【図 3 1】図 3 1 は、本願発明の実施形態に従った異なるガス混合物の合成信号の説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0063】

図面による実施形態の詳細な説明

20

【0064】

本願発明の実施形態を図面に基づいてさらに詳細に説明する前に、異なる実施形態で図示されたこれらの要素の説明が相互に交換可能であるか、または適用可能であるように、同一であるか、機能的に同一であるか、または同じ効果を有する要素、物体、および／または構造が、異なる図面において同一または類似の参照数字で提供されていることに留意されたい。

【0065】

図 1 は、本願発明の一実施形態によるガスセンサ 100 の概略図である。ガスセンサ 100 は、膜 110（例えば、薄層膜）と、発熱体 120 と、第 1 の感熱素子構造 130 と、第 2 の感熱素子構造 140 とから構成されてもよい。任意で、ガスセンサは、第 1 の感熱素子構造 130 または第 2 の感熱素子構造 140 のみから構成されてもよい。膜 110 は、フレーム 150 によって延在し、第 1 の断絶領域 160 および第 2 の断絶領域 170 を構成してもよい。膜 110 の第 1 の断絶領域 160 は、少なくとも 1 つの断絶 162 を構成してもよく、膜 110 の第 2 の断絶領域 170 は、少なくとも 1 つの断絶 172 を構成してもよい。例えば、発熱体 120 は、膜 110 の第 1 の断絶領域 160 と第 2 の断絶領域 170 との間に、膜 110 上に自立するブリッジ構造として配置されていてもよい。第 1 の感熱素子構造 130 は、ホットエンド 132 とコールドエンド 134 とから構成されてもよい。第 1 の感熱素子構造 130 のホットエンド 132 は、発熱体 120 に対向する第 1 の断絶領域 160 の側の膜 110 上に配置されていてもよい。第 2 の感熱素子構造 140 は、さらに、ホットエンド 142 およびコールドエンド 144 を含んでいてもよい。ホットエンド 142 は、発熱体 120 に対向する第 2 の断絶領域 170 の側で膜 110 上に配置されてもよい。

30

【0066】

40

膜110は、200nm～4000nm、300nm～3000nm、400nm～2000nm、または1μm～10μmの間の厚さを有する薄層膜であってもよい。一実施形態によれば、膜全体の厚さは約2μmである（例えば、複数の膜層、センサ層、およびパッシベーション層からなる）。例えば、膜層は、Si酸化物および／またはSi窒化物で構成されていてもよい。例えば、発熱体120、第1の感熱素子構造体130および第2の感熱素子構造体140が配置されている膜110の表面に対して垂直な面、すなわちシート面内への膜110の拡がりを厚さと定義してもよい。膜110は、導電性材料、絶縁性材料、または半導体材料から構成されてもよく、ここで、材料は、例えば、5W/(m*K)以下、100mW/(m*K)以下、または50mW/(m*K)以下の非常に低い熱伝導率を有する材料から構成されてもよい。例えば、適応された基本的なドーピングを有する半導体は、単純な5マスクMEMSプロセスで膜110を製造するためのコスト効率の高い基板として機能してもよい。

10

【0067】

一実施形態によれば、発熱体120（以下では、発熱体120をヒータと呼ぶこともある）は、自立ブリッジ構造を形成してもよく、および／またはワイヤを含んでもよい。一実施形態によれば、発熱体120は、フレーム150の一方の側からフレーム150の反対側に広がっていてもよい。例えば、電圧が感熱素子120に印加されてもよく、その結果、感熱素子120は、例えば、第1の断絶領域162および／または第2の断絶領域172内に位置する、分析されるべきガスに加熱電力を送信してもよい。例えば、発熱体120に印加される電圧は、正弦波信号または周期的な方形波信号のような周期的な電圧信号であってもよい。このように、例えば、発熱体120は、周期的なヒータ信号（例えば、加熱電力）を供給してもよい。例えば、ヒータ信号は、膜110を介して、および／または、例えば、第1の断絶162または第2の断絶172に配置されたガスを介して、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140に伝達されてもよい。

20

【0068】

例えば、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140は、蛇行状に構成されており、例えば、直列に接続されてサーモパイルを形成する感熱素子に対応してもよい。このように、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140は、検出器として機能してもよく、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140は、例えば、ヒータ信号を検出してもよい。

30

【0069】

一実施形態によれば、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140は、膜110上に全体的に配置されてもよく、または膜110上に少なくとも部分的に配置され、かつフレーム150上に少なくとも部分的に配置されてもよい。したがって、例えば、フレーム150の温度を比較温度としてもよく（例えば、第1の感熱素子構造体130のコールドエンド134がここに配置されてもよく、および／または第2の感熱素子構造体140のコールドエンド144がここに配置されてもよい）、膜110上に配置された感熱素子構造体の一部（例えば、ホットエンド132、142）が測定温度（例えば、ヒータ信号）を検出してもよい。例えば、ホットエンド132、142とコールドエンド134、144とは、導体を介して接続されている。したがって、例えば、第1の材料を含む導体は、第1のコールドエンドと第1のホットエンドとを接続してもよく、第2の材料を含む第2の導体は、第1のホットエンドと第2のコールドエンドとを接続してもよい。第1の導体と第2の導体とのこの接続は、感熱素子、例えば、直列に接続されてサーモパイルを形成してもよく、したがって、例えば、第1の感熱素子構造130または第2の感熱素子構造140を構成してもよい。したがって、例えば、これらの導体に沿って温度差（例えば、比較温度と測定温度との間の温度差）が生じてもよく、その結果、例えば、金属導体の端部（例えば、ホットエンドおよび／またはコールドエンド）に電圧が誘導されてもよい。したがって、例えば、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140は、熱を電気エネルギーに変換するように構成されてもよい。一実

40

50

施形態によれば、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140は、ワイヤまたは自己支持ブリッジ構造であってもよい。

【0070】

一実施形態によれば、膜110は、膜材料の温度膨張係数および／または熱伝導率がキャリア材料の熱膨張係数および／または熱伝導率から逸脱するように実施されるキャリア材料からなるフレーム150によって広げられてもよい。フレーム150は、例えば、膜110が担持されてもよいキャリア材料または基板材料で構成されてもよい。したがって、例えば、フレーム150に比較温度が設定されてもよい。一実施形態によれば、フレーム150および膜110はまた、同じ熱膨張係数を有していてもよい。

【0071】

一実施形態によれば、膜110は、フレーム150よりも低い熱伝導率を有していてもよい。この場合、例えば、膜110は、膜110を介してではなく、主に分析対象ガス（例えば、第1の断絶162および／または第2の断絶172に配置されている）を介して、発熱体120から第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140にヒータ信号が伝達されるように、特に非常に低い熱伝導率を有することが好ましい。したがって、例えば、膜110を介した熱輸送は、抑制されてもよいし、低減されてもよいし、または減速されてもよい。

【0072】

したがって、膜110は、発熱体120から第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140への寄生熱伝導を抑制するように構成されてもよい。したがって、例えば、膜110の熱伝導率は、発熱体120から膜110を介して第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140に熱がほとんど伝導されず、熱の大部分または全熱が分析対象ガスを介して伝導されるように選択されてもよい。

【0073】

一方、膜110を保持するフレーム150のキャリア材料の熱伝導率は、非常に高いものであってもよい。したがって、例えば、150W/(m*K)の熱伝導率を有するシリコンをキャリア材料として用いてもよい。このように、キャリア材料は、ヒートシンクとして使用されてもよい。このように、例えば、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140は、部分的に、例えばホットエンド132、142が膜上に配置され、少なくとも部分的に、例えばコールドエンド134、144がキャリア材料上に配置され、その結果、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140内に温度差が生じてよく、それにより、発熱体120からそれぞれの感熱素子構造130、140への熱輸送が検出されてもよい。

【0074】

このように、一実施形態によれば、第1の感熱素子構造130のコールドエンドおよび第2の感熱素子構造140のコールドエンドは、フレーム150のキャリア材料上に配置されてもよい。例えば、それらは、膜110がキャリア材料によって運ばれる場所に配置される。

【0075】

一実施形態によれば、膜110の第1の断絶領域160は、その長手方向の拡がり164が第1の感熱素子構造130と発熱体120との間の領域を完全に覆うのに十分な大きさを有する連続的断絶領域162を含んでいてもよい。膜110の第2の断絶領域170は、その長手方向の拡がり174が、第2の感熱素子構造140と発熱体120との間の領域を完全に覆うのに十分に大きい連続的断絶領域172を構成してもよい。したがって、例えば、長手方向の拡がり164、174は、発熱体120の全長と同じくらいの大きさ、および／または少なくとも第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140の全長と同じくらいの大きさである。したがって、これにより、発熱体120から膜110を介して第1の感熱素子構造130または第2の感熱素子構造140に可能

10

20

30

40

50

な限り少ない熱を伝達することが可能になるが、大部分は、第1の断絶領域160の第1の断絶162および／または第2の断絶領域170の第2の断絶172の中のガスを介して伝達される。

【0076】

一実施形態によれば、第1の断絶領域160の少なくとも1つの断絶162の横方向の拡がり166は、第2の断絶領域170の少なくとも1つの断絶172の横方向の拡がり176とは異なってもよい。例えば、第1の断絶162および第2の断絶172のそれぞれの横方向の拡がり166、176は、発熱体120の最大拡がりの方向に垂直な方向に、または発熱体120からそれぞれの感熱素子構造（例えば、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140）に向かう方向に向けられてもよい。例えば、図1Aによれば、第1の断絶162および第2の断絶172は、同じ横方向の拡がり166、176を構成する。

【0077】

一実施形態によれば、第1の断絶162は、第1の断絶162が第1の断絶領域160の拡張に対応するように、縦方向の拡がり164および横方向の拡がり166を構成してもよい。同様に、例えば、第2の断絶172は、第2の断絶172が第2の断絶領域170の拡がりに対応するように、縦方向の拡がり174および横方向の拡がり176を構成してもよい。したがって、例えば、第1の断絶領域160の全体が第1の断絶162を構成してもよく、第2の断絶領域170の全体が第2の断絶172を構成してもよい。

【0078】

任意で、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140のコールドエンド134、144の側では、膜110は、第3および／または第4の断絶領域を構成してもよい。したがって、例えば、第1の感熱素子構造130は、第1の断絶領域160と第3の断絶領域との間に、ワイヤの形態で、または自己支持ブリッジ構造として配置されてもよく、および／または、第2の感熱素子構造140は、例えば、第2の断絶領域170と第4の断絶領域との間に、ワイヤの形態で、または自己支持ブリッジ構造として配置されてもよい。このように、例えば、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140は、分析対象のガスによって2面から囲まれていてもよい。

【0079】

一実施形態によれば、第1の感熱素子構造130は、第2の感熱素子構造140とは異なる発熱体120までの距離を有してもよい。例えば、図1Aでは、第1の感熱素子構造130は、第2の感熱素子構造140と同様に、発熱体120までの距離を構成する。加熱要素120から第1の断絶162を介して第1の感熱素子構造体130へ、および／または感熱素子120から第2の断絶172を介して第2の感熱素子構造体140へ、感熱素子から第1の断絶162および／または第2の断絶172に配置された分析対象ガスへ、およびガスから第1の感熱素子構造体130および／または第2の感熱素子構造体140への未知の熱移動が発生する可能性がある。例えば、第1の感熱素子構造130によって検出される発熱体120からの発熱信号を第1のセンサ信号と称してもよく、第2の感熱素子構造140によって検出される発熱体120からの発熱信号を第2のセンサ信号と称してもよく、例えば、第2の感熱素子構造140によって検出される発熱体120からの発熱信号を第2のセンサ信号と称してもよい。

【0080】

例えば、第1のセンサ信号および／または第2のセンサ信号は、2つの未知の熱遷移（例えば、発熱体→ガス、ガス→感熱素子構造）と、解析対象のガスを介した熱伝達とから構成されてもよい。第1の感熱素子構造130が第2の感熱素子構造140とは異なる間隔で発熱体120から離れている場合、例えば、未知の熱遷移（第1のセンサ信号および第2のセンサ信号は同じ熱遷移を含み得る）を差し引くことができ、したがって、差信号は、加熱要素120から加熱要素120への熱伝達のみを含むか、または大部分への熱伝達を含み、分析されるガスを介したそれぞれの感熱素子構造130、140は、未知の熱伝達を含まないか、または非常に小さな部分にのみ含む。

10

20

30

40

50

【0081】

一実施形態によれば、第1の断絶領域160および第2の断絶領域170は、（例えば、膜材料110の残存によって）複数の断絶が感熱素子120に対して平行に列をなして配置されるグリッド構造が形成される（例えば、第1の断絶領域160または第2の断絶領域170において）ように配置できる、複数の断絶（例えば、断絶162および断絶162₁、または断絶172および断絶172₁）を構成してもよく、列は、互いにオフセットするように配置される。この場合、断絶領域160、170内の断絶は、縦方向の拡がり164、174および横方向の拡がり166、176に関して互いに異なってもよい。例えば、図1Aによれば、第1の断絶領域160の断絶162₁は、断絶162の長手方向の拡がり164よりも短い長手方向の拡がりを構成する。同様に、第2の断絶領域170の断絶172₁は、断絶172の長手方向の拡がり174よりも短い長手方向の拡がりを構成してもよい。

10

【0082】

一実施形態によれば、第1の断絶領域160および第2の断絶領域170は、膜110による熱伝導の経路が直接経路122a、122bよりも長いグリッド構造が形成されるように配置される複数の断絶を有してもよい。例えば、直接経路122a、122bは、発熱体120から感熱素子構造体130、140に至る、発熱体120に垂直な直線経路であってもよい。この場合、直接経路122a、122bは、断絶162、162₁および断絶172、172₁をそれぞれ通過してもよく、その結果、分析対象ガスによる熱伝導が第1の感熱素子構造体130および／または第2の感熱素子構造体140によって感知されてもよい。直接経路122a、122bが膜110を介してのみ行われ、分析されるべきガスを介して行われない場合、ガスセンサ100は、ガスの意味のある分析を確実に行うことができない可能性がある。

20

【0083】

一実施形態によれば、少なくとも1つの断絶162、172は、第1の断絶領域160および第2の断絶領域170において、任意に丸みを帯びた角を有する長方形の切り欠きを形成してもよい。この場合、それは、例えば、長手方向の穴である。また、例えば、楕円形の穴であってもよい。また、図1Aでは、第1の断絶領域160の断絶162及び第2の断絶領域170の断絶172を長方形の断絶（穴）として図示しているが、断絶は、どのような形状（例えば、三角形、円形、正方形、多角形等）で構成されていてもよい。断絶162、172の形状は、発熱体から膜110を介して第1の感熱素子構造体130および／または第2の感熱素子構造体140に至る熱経路が可能な限り長く、分析対象ガスを介した経路が非常に長い経路を構成するように適合されてもよい。このように、これにより、膜110を介さずに、分析されるべきガスを介して可能な限り多くの熱を輸送することが可能となり、その結果、ガスセンサ100は、ガスを非常に正確に分析することができる。

30

【0084】

一実施形態によれば、少なくとも1つの断絶162、172は、幅方向の長さの少なくとも3倍の長さを有していてもよい。したがって、例えば、断絶162の長手方向の拡がり164は、横方向の拡がり166よりも3倍長くてもよく、または、断絶172の長手方向の拡がり174は、横方向の拡がり176よりも3倍長くてもよい。このように、例えば、長さが長手方向の拡がり164、174を構成し、幅が横方向の拡がり166、176を構成する。例えば、長さは、発熱体120に平行な方向（または発熱体120の最大拡がり方向）として定義されてもよく、幅は、発熱体120に垂直な方向（または発熱体120の最大拡がり方向）として定義されてもよい。

40

【0085】

一実施形態によれば、第1の断絶領域160内の複数の断絶162、162₁間の距離168と、第2の断絶領域170内の複数の断絶172、172₁間の距離178は、機械的に耐久性のあるグリッド構造をもたらす最小の実現可能な構造幅に対応してもよい。距離168、178は、2つの断絶の間のリッジの幅を規定してもよく、膜110の膜材料が

50

らなる。距離 168, 178 が小さいほど、発熱体 120 から第 1 の感熱素子構造 130 および／または第 2 の感熱素子構造 140 に膜 110 を介して熱が伝達される量が少なくなり、分析対象のガスを介して熱が伝達される量が多くなる。

【0086】

一実施形態によれば、第 1 の感熱素子構造 130 および第 2 の感熱素子構造 140 は、保護層で不動態化されてもよい。保護層は、分析対象のガスによる損傷から第 1 の感熱素子構造 130 および第 2 の感熱素子構造 140 を保護してもよく、したがって、第 1 の感熱素子構造 130 および／または第 2 の感熱素子構造 140 の損傷に起因するガス分析におけるガスセンサの不正確さの可能性を回避してもよい。

【0087】

一実施形態によれば、第 1 の感熱素子構造のホットエンド 132 は、膜 110 の第 1 の断絶領域 160 の端部まで達してもよく、第 2 の感熱素子構造 140 のホットエンド 142 は、膜 110 の第 2 の断絶領域 170 の端部まで達してもよい。例えば、ホットエンド 132 と第 1 の断絶領域 160 との間の距離、またはホットエンド 142 と第 2 の断絶領域 170 との間の距離は 0.5 mm、100 nm、または 10 μ m よりも大きくないことが好ましい。例えば、断絶 162 または断絶 142 がこの端部まで達している場合、膜 110 は、それぞれのホットエンドとそれぞれの断絶との間の距離が非常に小さいだけである。これにより、膜 110 の膜材料は、第 1 の感熱素子構造 130 または第 2 の感熱素子構造 140 によるヒータ信号の検出を妨げないか、またはわずかにしか妨げないことが可能となり、その結果、ガスセンサ 100 は、ガスを非常に正確に分析することができる。

【0088】

図 1B は、少なくとも 1 つのヒータ 120 と、ヒータ 120 に対して異なる距離 180₁ および 180₂ で配置された 2 つの検出器（第 1 の検出器 130 および第 2 の検出器 140）とを有する熱ガスセンサ 100 の、本願発明では評価手段とも称される評価装置 200 の概略図である。第 1 の検出器 130 は、距離 180₁ でヒータ 120 から離れて配置されてもよく、第 2 の検出器 140 は、距離 180₂ でヒータ 120 から離れて配置されてもよい。評価装置 200 は、第 1 の検出器 130 の検出器信号の振幅についての情報 210 と、第 2 の検出器 140 の検出器信号の振幅についての情報 220 と、ヒータ信号と第 1 の検出器 130 の検出器信号との間の第 1 の位相差についての情報 210 と、ヒータ信号と第 2 の検出器 140 の検出器信号との間の第 2 の位相差についての情報 220 とを取得するように実施されてもよい。

【0089】

一実施形態によれば、情報 210 は、第 1 の検出器 130 の検出器信号の振幅に加えて、ヒータ信号と第 1 の検出器 130 の検出器信号との間の第 1 の位相差を含んでもよく、情報 220 は、第 2 の検出器 140 の検出器信号の振幅に加えて、ヒータ信号と第 2 の検出器 140 の検出器信号との間の第 2 の位相差を含んでもよい。しかしながら、それぞれの検出器（第 1 の検出器 130 および／または第 2 の検出器 140）の検出器信号の振幅が、第 1 の位相差および第 2 の位相差とは別個に、熱ガスセンサから評価装置に送信されることも可能である。一実施形態によれば、情報 210 および情報 220 は、評価装置 200 に別個の回線を介して送信されるのではなく、例えば相互回線または無線を介して送信されることも可能である。

【0090】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、検出器信号の振幅についての情報 210、220 に依存し、第 1 の位相差および第 2 の位相差についての情報 210、220 に依存する中間量としての合成信号 230 を形成するように実施されてもよい。合成信号 230 は、第 1 の検出器 130 の検出器信号及び第 2 の検出器 140 の検出器信号の振幅情報と位相情報とを組み合わせてもよい。評価装置 200 は、合成信号 230 に基づいて、ガスの濃度またはガスまたはガス混合物としての流体の熱拡散率に関する情報 240 を決定するように実装されてもよい。例えば、評価装置 200 は、計算のさらなるプロセスにおいて、合成信号 230 に組み込まれた個々の情報 210、220 を個別に再検討することなく

10

20

30

40

50

、この決定を実行してもよい。

【0091】

例えば、検出器信号の振幅は、それぞれの検出器130、140によって情報210、220として直接提供されてもよい。ヒータ信号122と各検出器130、140の検出器信号との間の第1の位相差および第2の位相差に関する情報210、220は、熱ガスセンサ100によって決定され、例えば、評価装置200に送信されてもよい。

【0092】

あるいは、第1の検出器130の検出器信号および第2の検出器140の検出器信号は、それぞれ情報210および情報220を介して評価装置200に送信されてもよく、ヒータ信号122は、評価装置200に直接追加的に送信されてもよい。この場合、評価装置は、第1の検出器130の検出器信号と第2の検出器140の検出器信号とからそれぞれの振幅を決定し、このように決定された情報に依存して合成信号230を形成するために第1の位相差と第2の位相差とを決定するように構成されてもよい。

【0093】

評価装置200が合成信号230を形成するという事実のために、評価装置200は、評価装置200が、第1の検出器130の検出器信号の振幅および第1の位相差に関する情報210と、第2の検出器140の検出器信号の振幅および第2の位相差に関する情報220とを別々に修正する場合と同様に、ガス濃度および熱拡散率に関する情報240を得るための熱ガスセンサ100の可能なエラーを容易に、かつ、はるかに迅速に修正することができる。このように、合成信号230は、解析対象のガスの濃度や熱拡散率に関する情報240の決定を容易にすることができ、熱ガスセンサ100で発生する誤差を抑制または低減することが可能となる。

【0094】

一実施形態によれば、評価装置200は、ヒータ信号122からヒータ振幅に関する情報、例えば加熱電力に関する情報を取得し、合成信号230を得るために、ヒータ振幅に関する情報、情報210および情報220の線形結合を形成するように構成されてもよい。

【0095】

代替的に、評価装置200は、ヒータ信号122からヒータ振幅に関する情報を取得するだけでなく、上述したように、例えば、情報210が第1の検出器130の検出器信号を含み、情報220が第2の検出器140の検出器信号を含む場合、第1の位相差および第2の位相差に関する情報を計算してもよい。

【0096】

このように、第1の位相差および第2の位相差の形で合成信号230に組み込まれるのは、ヒータ信号の位相だけではなく、ヒータの振幅でもあり、これにより、評価装置200は、ヒータ120からの2つの検出器の第1の距離180₁および第2の距離180₂に依存して、分析されるべきガスの濃度および熱拡散率に関する情報240を決定することが可能である。したがって、例えば、第1の検出器130の検出信号は、ヒータ120に対する第2の検出器140の距離180₂が、ヒータ120に対する第1の検出器130の距離180₁よりも大きいので、第2の検出器140の検出信号よりも大きな振幅を構成する。ヒータ120までの距離が増加すると、それぞれの検出器130、140によって検出されるヒータの振幅が減少する可能性がある。ヒータ振幅に関する追加の情報のために、評価装置200は、したがって、ヒータ信号122のヒータ振幅を基準とみなしてもよく、合成信号230は相対振幅信号を構成してもよいので、ガス濃度および熱拡散率に関する情報240をさらに正確に決定してもよい。例えば、相対振幅信号は、絶対振幅信号よりも誤差が少ない。

【0097】

10

20

30

40

50

一実施形態によれば、評価装置 200 は、 $\text{sigX} = \text{sigUss} * \text{Ka} + \text{sigPhi} * \text{Kp}$ に従って組合せ信号 sigX_{230} を得るために実施されてもよい。項 sigUss は、第 1 の検出器 130 の検出器信号の振幅に関する情報 210 および第 2 の検出器 140 の検出器信号の振幅に関する情報 220 に依存する振幅情報または振幅信号であってもよい。例えば、 sigUss は、第 1 の検出器 130 の検出器信号の振幅に関する情報 210 と、第 2 の検出器 140 の検出器信号の振幅に関する情報 220 との線形結合であってもよく、 sigPhi は、第 1 の位相差に関する情報 210 と、第 2 の位相差に関する情報 220 とに依存してもよい位相情報または加算された位相信号であってもよい。したがって、例えば、 sigPhi は、第 1 の位相差に関する情報 210 と第 2 の位相差に関する情報 220 との加算であってもよい。また、 Ka および Kp は、定数であってもよい。このようにして決定された組合せ信号 230 は、振幅情報 sigUss と位相情報 sigPhi とを含んでもよく、その結果、4 つの情報（例えば 第 1 の検出器 130 の検出器信号の振幅に関する情報 210、第 2 の検出器 140 の検出器信号の振幅に関する情報 220、ヒータ信号と第 1 の検出器 130 の検出器信号との間の第 1 の位相差に関する情報 210、およびヒータ信号と第 2 の検出器 140 の検出器信号との間の第 2 の位相差に関する情報 220）が合成信号 230 に合成されてもよく、その結果、評価装置 200 は、情報 210、220 を処理するためにより少ない電力を使用してもよい。このように、評価装置 200 は、ガス濃度および熱拡散率に関する情報 240 を非常に効率的に、迅速かつ正確に決定するように構成されてもよい。

10

20

【0098】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、 $\text{sigUss} = 2 * \text{Hz.Uss} - (\text{D1.Uss} + \text{D2.Uss})$ に従って振幅情報 sigUss を取得するように構成されてもよい。 Hz.Uss は、ヒータ信号 122 から得られるヒータ振幅に関する情報であってもよい。また、 D1.Uss は、第 1 の検出器 130 の検出信号の振幅に関する情報 210 であってもよく、 D2.Uss は、第 2 の検出器 140 の検出信号の振幅に関する情報 220 であってもよい。このように、振幅情報 sigUss は、第 1 の検出器 130 の検出器信号の振幅に関する情報 210 と、第 2 の検出器 140 の検出器信号の振幅に関する情報 220 と、ヒータ振幅 Hz.Uss とが、第 1 の検出器 130 の検出器信号の振幅に関する情報 210 と、第 2 の検出器 140 の検出器信号の振幅に関する情報 220 とが、ヒータ振幅に関連してに考慮されるように、互いに計算されるので、相対的な振幅信号を構成してもよい。振幅の相対的な考慮のために、絶対振幅値の可能な誤差が回避されてもよく、その結果、評価装置 200 は、ガス濃度および熱拡散率に関する情報 240 を非常に正確に決定してもよい。

30

【0099】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、ガス濃度または熱拡散率に関する情報 240 を得るために、合成信号 230 の多項式、例えば 1 次の多項式を計算するように実装されてもよい。例えば、多項式（例えば多項式 y ）は、 $y = A_0 + A_1 * \text{sigX} + A_2 * \text{sigX}^2$ に従って求められてもよい。評価装置 200 による合成信号 230 の多項式の形成のために、合成信号 230 は、可能な圧力ドリフト誤差または温度ドリフト誤差に関して非常に簡単にかつ効率的に補正されてもよい。

40

【0100】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、ガス濃度および／または熱拡散率に関する情報 240 を得るために、合成信号 230 の多項式に補正項を乗算するように実装されてもよい。合成信号 230 の補正項は、圧力に関する情報に依存してもよく、温度に関する情報に依存してもよく、例えば、圧力依存性および温度依存性を補正してもよい。換言すれば、補正項は、合成信号 230 からの圧力ドリフトおよび／または温度ドリフトを補償してもよい。したがって、熱ガスセンサ 100 によって検出された信号の評価装置 200 に

50

よる誤った解釈の可能性が低減されるかもしれない。

【0101】

一実施形態によれば、評価装置200は、ガス濃度に関する情報C240を得るために

$$C = \text{pol}(\text{sig}X) \cdot \left(1 - \left[\frac{f(p)}{\text{sig}X - \text{const}1}\right] \cdot \left(1 - \left[\frac{f(T)}{p - \text{const}2}\right]\right)\right)$$

に従って計算を実行するように実装されてもよい。sigXは合成信号230であってもよく、pol(sigX)は合成信号sigX230の多項式であってもよく、f(p)は圧力pの関数であってもよく、const1は定数であってもよく、f(T)は温度Tの関数であってもよく、const2は第2の定数であってもよく、f(p)は熱ガスセンサ100の周辺領域で測定された圧力pの関数であってもよく、f(T)は熱ガスセンサ100の周辺領域で測定された温度Tの関数であってもよい。乗算の第2項

10

$$\left(1 - \left[\frac{f(p)}{\text{sig}X - \text{const}1}\right] \cdot \left(1 - \left[\frac{f(T)}{p - \text{const}2}\right]\right)\right)$$

は、合成信号230の補正項として理解されてもよい。補正項は、ガスセンサ100の測定条件（例えば、周囲の圧力／測定圧力、または周囲の温度／測定温度など）に依存してもよい。したがって、補正項は、ガス濃度に関する情報240の決定に対する熱ガスセンサ100の周囲圧力または周囲温度の可能な影響を補正してもよい。したがって、起こりうる圧力ドリフトまたは温度ドリフトが抑制されてもよい。

20

【0102】

30

40

50

一実施形態によれば、評価装置 200 は、ガス濃度に関する情報 C 240 を得るために、以下にしたがって計算を実行するように実装されてもよい。

$$C[\text{vol}\%] = A.y(\text{sigX}) \cdot \left(1 - \left[\frac{B.y(p) - B.\text{ref}}{\text{sigX} - B.\text{ref}}\right] \cdot \left(1 - \left[\frac{C.y(T) - C.\text{ref}}{p - C.\text{ref}}\right]\right)\right)$$

式中、sigX は合成信号 230 であってもよく、A.y(sigX) は合成信号 sigX 230 の多項式であってもよく（例えば 1 次の）、B.y(p) は圧力 p の関数であってもよく（例えば 2 次の多項式関数）、B.ref は定数であってもよく、C.y(T) は温度 T の関数であってもよく、C.y(T) は温度 T の関数であってもよく（例えば 2 次の多項式関数）、B.ref は定数であってもよく、C.y(T) は温度 T（例えば 2 次の多項式関数）の関数であってもよく、C.ref は第 2 の定数であってもよい。例えば、関数 B.y(p) は、熱ガスセンサ 100 の周辺領域で測定された圧力 p の関数であってもよく、関数 C.y(T) は、熱ガスセンサ 100 の周辺領域で測定された温度 T の関数であってもよい。また、ガス濃度に関する情報 C 240 を算出するための乗算の第 2 項

$$\left(1 - \left[\frac{B.y(p) - B.\text{ref}}{\text{sigX} - B.\text{ref}}\right] \cdot \left(1 - \left[\frac{C.y(T) - C.\text{ref}}{p - C.\text{ref}}\right]\right)\right)$$

は、補正項を定義してもよい。この場合、例えば、補正項は、圧力 p 及び温度 T に依存してもよい。したがって、例えば、B.y(p) は、ガス濃度に関する情報 240 の計算に影響を与え得る圧力の補正を考慮した場合の結果として、例えば、圧力 p に依存する多項式関数であってもよい。同様に、多項式関数 C.y(T) を温度 T の関数として形成することにより、ガス濃度に関する情報 240 の計算に対する温度 T の可能な影響を非常に正確に考慮することができる。多項式関数を圧力 p の関数として、および温度 T の関数として形成することにより、誤差補正が非常に正確に近似されてもよく、その結果、評価装置 200 は、ガス濃度に関する情報 240 を非常に効果的かつ非常に正確に決定するように実施されてもよい。

【0103】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、ガス濃度および／または熱拡散率に関する情報 240 を決定する際に、熱ガスセンサ 100 の周辺領域の圧力および／または温度を考慮するように実装されてもよい。この目的のために、例えば、熱ガスセンサ 100 は、圧力センサおよび温度センサで構成されていてもよく、これらのセンサは、圧力および／または周辺領域の温度を検出し、評価装置 200 に送信してもよい。したがって、例えば、評価装置 200 は、熱ガスセンサ 100 の周辺領域における異なる圧力条件および／または温度条件に起因するガス濃度および／または熱拡散率に関する情報 240 の不正確な計算の可能性を考慮し、修正してもよい。このように、評価装置 200 は、熱ガスセンサ 100 の周辺領域の圧力および／または温度に反応して、それに応じて、ガス濃度および／または熱拡散率に関する情報 240 を非常に正確に決定してもよい。

【0104】

本願発明の一実施形態によれば、ガス濃度および／または熱拡散率に関する情報 240 を決定する際に、評価装置 200 は、ドリフト補正の結果としてのガス濃度および／または熱拡散率に関する情報を得るために、合成信号 230、熱ガスセンサ 100 の周辺領域の温度に関する情報、および熱ガスセンサ 100 の周辺領域の圧力に関する情報をドリフト補正の入力量として使用するように実装されてもよい。このように、例えば、ガス濃度及び／又は熱拡散率に関する情報 240 を得るために、温度及び圧力に関する情報に依存した合成信号に対してドリフト補正を行ってもよい。例えば、記載された 3 つの入力変数（合成信号、温度に関する情報、および圧力に関する情報）とは別に、ドリフト補正は、それ以上の変数を取得せず、以前に取得された定数、例えば、校正との関連で決定された

定数のみを使用してもよい。この場合、定数は、使用される熱ガスセンサ１００に固有のものであってもよい。このように、評価装置２００は、非常に正確な結果（情報２４０）を得るために、ガス濃度および／または熱拡散率に関する情報２４０を計算する際に、熱ガスセンサ１００間の小さな違いを考慮するように実装されてもよい。例えば、ドリフト補正は、温度ドリフトおよび／または圧力ドリフトを補正してもよい。

【０１０５】

図１Ｃは、少なくとも１つのヒータ１２０と２つの検出器（第１の検出器１３０および第２の検出器１４０）とを有する熱ガスセンサ１００の評価装置２００の概略図である。第１の検出器１３０は、ヒータ１２０に対する第１の距離１８０_１を有してもよく、第２の検出器１４０は、ヒータ１２０に対する第２の距離１８０_２を有してもよい。図１Ｃによれば、第１の検出器１３０および第２の検出器１４０は、ヒータ１２０に対する距離１８０_１、１８０_２が同じであるように構成されている。しかしながら、第１の距離１８０_１が第２の距離１８０_２と異なることもあり得る。したがって、例えば、第１の検出器１３０は、第２の検出器１４０とは異なる距離でヒータ１２０に配置されてもよい。評価装置２００は、少なくとも１つのセンサ信号２１０、２２０を所定値の範囲に収めるために、少なくとも１つの検出器（例えば、第１の検出器１３０および／または第２の検出器１４０）からの少なくとも１つのセンサ信号（例えば、第１のセンサ信号２１０および／または第２のセンサ信号２２０）に依存して、ヒータ１２０に印加され得る加熱電力を制御するように（例えば、加熱電力を制御するための制御ユニット２５０を使用して）構成されていてもよい。

【０１０６】

例えば、評価装置によって少なくとも１つのセンサ信号２１０、２２０を分析および／またはさらに進行させるために、評価装置２００によって少なくとも１つのセンサ信号２１０、２２０を所定値の範囲に収めると有利である。例えば、加熱電力が増加する場合、少なくとも１つのセンサ信号２１０、２２０の振幅または周波数もまた、例えば増加してもよい。例えば、これは、少なくとも１つのセンサ信号２１０、２２０が小さすぎて、所定値範囲が大きすぎる場合に、評価装置２００によって実行されてもよい。このように、新しいセンサ信号２１０、２２０は、制御装置２５０による加熱電力の制御の後に、所定値範囲を埋めてもよいし、所定値範囲内に位置してもよい。例えば、所定値範囲は、使用される評価装置２００の構成要素、例えばアナログ-デジタル変換器（ＡＤＣ）に依存してもよい。したがって、例えば、少なくとも１つのセンサ信号２１０、２２０がＡＤＣに適合された所定値範囲（例えば、ＡＤＣ動作範囲）に適合されている場合、ＡＤＣは、少なくとも１つのセンサ信号２１０、２２０を非常に効率的に処理することがさらに可能である。

【０１０７】

評価装置２００は、ヒータ１２０の加熱電力が低減されるように制御ユニット２５０でヒータ１２０の加熱電力を制御するように実施されてもよい。これにより、少なくとも１つのセンサ信号２１０、２２０も低減されてもよい。例えば、これは、少なくとも１つのセンサ信号２１０、２２０が所定の値範囲を超える場合、すなわち大きすぎる場合に有利であり得る。評価装置２００が、制御ユニット２５０によってヒータ１２０の加熱電力を制御するように実装されているという事実のために、評価装置２００の例示的な構成要素、例えばＡＤＣによって少なくとも１つのセンサ信号２１０、２２０をさらに処理するときに、少なくとも１つのセンサ信号２１０、２２０の情報が失われないか、または少ししか失われないことがあり得る。

【０１０８】

一実施形態によれば、評価装置２００の制御ユニット２５０は、ヒータ１２０の加熱電力を制御するための制御信号２５２をヒータ１２０に送信してもよい。さらに、制御ユニット２５０は、ヒータ１２０の制御された加熱電力についての情報１２２を評価装置２００に提供してもよい。

【０１０９】

評価装置 200 は、少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 からガス濃度および／または熱拡散率に関する情報 240 を導出する際に、加熱力に関する情報 122 を考慮するように構成されていてもよい。このように、制御装置 250 は、少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 が加熱電力に依存するので、センサ信号 210, 220 を所定の値範囲に収め、分析において加熱電力に関する情報 122 を追加的に考慮するように構成されていてもよい。さらに、この評価装置 200 は、1 つのセンサ信号、例えば第 1 のセンサ信号 210 または第 2 のセンサ信号 220 が、ガス濃度および／またはガスまたは流体（例えばガスまたはガス混合物）の熱拡散率に関する情報 240 を一定の精度で導出するのに十分であってもよいことを可能にする。第 1 のセンサ信号 210 および第 2 のセンサ信号 220、ならびに加熱電力 122 が情報 240 を導出するために使用される場合、情報 240 の決定は過剰に決定され、その結果、情報 240 は評価装置 200 によって非常に正確に決定されてもよい。例えば、ヒータ 120 に対する第 1 の検出器 130 の第 1 の距離 180₁ が第 2 の検出器 140 の第 2 の距離 180₂ と異なる場合、ガス濃度および／またはガスの熱拡散率に関する情報 240 は、ヒータ 120 の加熱電力に関する情報 122 を使用せずに、第 1 のセンサ信号 210 および第 2 のセンサ信号 220 から導出されるだけでであってもよい。

10

【0110】

一実施形態によれば、評価装置 200 はまた、制御ユニット 250 からではなく、熱ガスセンサ 100 から加熱電力に関する情報 122 を取得してもよい。

【0111】

20

一実施形態によれば、評価装置 200 は、周期的な信号（例えば、制御信号 252）をヒータ 120 に適用するように実装されてもよい。例えば、周期的な信号は、周期的な方形波信号または正弦波信号であってもよい。制御信号 252、したがってヒータ 120 によって分析されるべきガスに放散される熱が周期的な信号である場合、第 1 の検出器 130 によって検出される第 1 のセンサ信号 210 および第 2 の検出器 140 によって検出される第 2 のセンサ信号 220 もまた、周期的な信号であってもよい。しかしながら、第 1 の距離 180₁ および第 2 の距離 180₂ により、第 1 のセンサ信号 210 および／または第 2 のセンサ信号 220 は、ヒータ 120 の周期的な信号に関して位相が異なってもよく、ヒータ 120 の周期的な信号に関して振幅が異なってもよい。例えば、評価装置 200 は、ガス濃度および／または熱拡散率に関する情報 240 を非常に正確に決定するために、これらの相違点を使用してもよい。

30

【0112】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、（例えば、制御信号 252 によって）ヒータ 120 に印加される加熱電力を 2 つの値の間で切り替えるように構成されてもよい。このように、例えば、周期的な方形波信号がヒータ 120 に適用されてもよい。このように、例えば、ヒータ 120 は、第 1 の加熱電力と第 2 の加熱電力とを交互に分析対象ガスに伝達してもよい。

【0113】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 の最小値および少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 の最大値が所定値の範囲内にあるように、加熱電力の振幅を制御するように（例えば、制御ユニット 250 で）実施されてもよい。例えば、制御信号 252 によってヒータ 120 の加熱電力の振幅が増加した場合、例えば、少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 の最小値が減少し、少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 の最大値が増加するようにしてもよい。例えば、制御信号 252 によって加熱電力の振幅が減少した場合、少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 の最小値が増加してもよく、少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 の最大値が減少してもよい。

40

【0114】

一実施形態によれば、所定の値範囲は、評価装置 200 の ADC などのコンポーネントの値範囲に依存してもよい。したがって、例えば、所定値範囲は、コンポーネントの値範

50

図（例えば、評価装置 200 のコンポーネントの値範囲）に依存して決定されてもよい。したがって、例えば、所定値範囲は、少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 の最小値が、例えば、成分値範囲の 0 % ~ 30 %、1 % ~ 25 %、または 2 % ~ 20 % の範囲にあること、および少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 の最大値が、成分値範囲の 70 % ~ 100 %、75 % ~ 99 %、または 80 % ~ 98 % の範囲にあることを規定してもよい。このように、例えば、所定値範囲は、最小値が位置する下位値範囲と、最大値が位置する上位値範囲とから構成されていてもよい。

【0115】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 の振幅が所定の振幅範囲内にあるような加熱電力の振幅を（例えば、制御装置 250 で）設定または調整するように実装されてもよい。例えば、少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 が周期的な正弦波信号からなる場合、その振幅は、センサ信号の各時点で所定の振幅範囲内にあることが好ましい。ここで、少なくとも 1 つのセンサ信号の振幅は、完全に指定された振幅範囲を利用すべきである。例えば、指定された振幅範囲は、上振幅範囲、中央振幅範囲、および下振幅範囲に圧縮／分割されてもよい。少なくとも 1 つのセンサ信号の振幅が利用する指定振幅範囲は、例えば、少なくとも 1 つのセンサ信号の最大振幅が上側の範囲にあり、最小振幅が下側の範囲にあることが望ましい。また、所定の振幅範囲は、例えば、成分範囲に依存してもよい。このように、例えば、所定の振幅範囲は、少なくとも 1 つのセンサ信号の振幅が、例えば、アナログ-デジタル変換器の成分値範囲の少なくとも 50 %、または少なくとも 65 %、または少なくとも 75 % を利用するように決定されてもよい。

【0116】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、センサ信号 210, 220 がサンプリングされるサンプリング時間を設定または調整するように構成されてもよい。例えば、センサ信号 210, 220 は、任意で、評価装置 200 または熱ガスセンサ 100 によって前処理されてもよく、および／または DC オフセットで適用されてもよい。一実施形態によれば、センサ信号 210, 220 が、最大振幅のある時点でサンプリングされ、最小振幅のある時点でサンプリングされると有利であり得る。例えば、これら 2 つのサンプリング時間は、評価装置 200 が、サンプリング時間が誤って選択されていると評価装置 200 が判断した場合に、評価装置 200 によって設定または再調整されてもよい。サンプリング時間を正確に設定することによって、例えば、評価装置は、第 1 のセンサ信号 210 とヒータ信号（例えば、ヒータ 120 によって放出され、制御信号 252 によって制御される）との間、または第 2 のセンサ 220 とヒータ信号との間の位相差または振幅差を非常に簡単に決定することが可能であってもよい。非常に正確な位相差および／または振幅差によって、評価装置 200 は、分析されるべきガスのガス濃度および／または熱拡散率に関する情報 240 を非常に正確に決定するか、または導出することができる。

【0117】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、センサ信号 210, 220 が最大値に達する時点で、サンプリングが、例えば、 $\pm 2^\circ$ までの位相差で行われ、センサ信号 210, 220 が最小値に達する時点で、サンプリングが、例えば、 $\pm 2^\circ$ までの位相差で行われるように、サンプリング時間を設定するように実装されてもよい。例えば、最大値は、センサ信号 210, 220 の最大振幅を定義してもよく、最小値は、上述したように、センサ信号 210, 220 の最小振幅を定義してもよい。

【0118】

一実施形態によれば、評価手段 200 は、アナログ・デジタル変換器の入力信号を得るために、検出器 130, 140 の少なくとも 1 つからのセンサ信号 210, 220 を、デジタル・アナログ変換器によって生成されたオフセット信号と結合するように実装されてもよい。評価手段 200 は、アナログ・デジタル変換器の入力信号がセンサ信号 210, 220 の合計期間中に所定の範囲内に留まることを達成するために、オフセット信号を調整するために実装されてもよい。したがって、例えば、オフセット信号は、アナログ・デ

デジタル変換器の成分値範囲内にある入力信号が生成されるように、センサ信号 210, 220 を適応させるように実装されてもよい。このように、例えば、オフセット信号は、分析されるべき異なるガスからの異なるセンサ信号 210, 220 に反応できるように調整／適応されてもよい。したがって、例えば、オフセット信号は、結果として得られる入力信号が所定の範囲内にあるように、大きすぎるセンサ信号 210, 220 を減少させるように構成されてもよい。さらに、センサ信号 210, 220 が小さすぎる場合、オフセット信号は、所定の範囲内にある入力信号が生成されるようにセンサ信号 210, 220 を増加させるように構成されてもよい。

【0119】

このように、一方では、評価装置 200 は、加熱電力を制御することによってセンサ信号 210, 220 の振幅を所定の値の範囲に収まるように実施されてもよく、センサ信号 210, 220 が所定の値の範囲内にあるように、センサ信号 210, 220 とオフセット信号とを結合することによってセンサ信号 210, 220 のオフセットを変更するように実施されてもよい。これにより、センサ信号 210, 220 が非常に正確に分析されてもよく、したがって、分析されるべきガスの濃度および／または熱拡散率に関する非常に正確な情報 240 が、評価装置 200 によって決定されてもよい。

【0120】

一実施形態によれば、評価手段 200 は、サンプリング時間の設定または調整が定常状態にあるとき、および、オフセット信号の調整が定常状態にあるときにのみ加熱電力を制御するように実装されてもよい。定常状態は、センサ信号 210, 220 が予め定義されたイベント（例えば、最大振幅（最大値）、ゼロクロス、または最小振幅（最小値）など）でサンプリングされてもよいように、サンプリング時間が評価手段 200 によって決定されているように理解されてもよい。同様に、定常状態は、センサ信号 210, 220 が、オフセット信号をセンサ信号 210, 220 と結合する際に、所定の範囲内にある入力信号を生成するように、オフセット信号が調整されたことを意味してもよく、したがって、評価装置によってセンサ信号 210, 220 を非常に正確に分析するために、情報の損失なしに、または情報の損失がほとんどないことを意味してもよい。したがって、例えば、事前設定（定常状態におけるサンプリング時間、または定常状態におけるオフセット信号など）は、制御装置 250 によって加熱電力を制御するときに、新しいセンサ信号 210, 220 を事前設定で非常に正確に分析し、特定の状況下では、センサ信号 210, 220 からガス濃度および／または熱拡散率に関する情報 240 を導出するために、サンプリング時間、またはオフセット信号の新たな制御をもはや必要としないように、評価手段 200 によって決定されてもよい。

【0121】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、サンプリング時間が設定または調整されている間、および／またはオフセット信号が調整されている間、（例えば、制御装置 250 によって）加熱電力の制御を停止するように実装されてもよい。したがって、例えば、サンプリング時間およびオフセット信号がまだ定常状態にない間に、センサ信号 210, 220 に変更が加えられないことを確実にしてもよい。このように、これは、サンプリング時間およびオフセット信号が、誤差に対する感受性が非常に小さいか、または全くないだけで非常に正確に決定されてもよいので、センサ信号 210, 220 が非常に正確に分析されてもよいことを確実にしてもよい。

【0122】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、平均加熱電力または最大加熱電力を制御し、さらに加熱電力の振幅を制御するように実装されてもよい。したがって、例えば、制御装置 250 は、制御信号 252 として、ヒータ 120 のための新しいヒータ信号を熱ガスセンサ 100 に送信してもよく、ここで、制御信号は、例えば、変更された平均加熱電力、最大加熱電力、または加熱電力の振幅からなる。しかしながら、制御信号 152 には、ヒータ 120 用の熱ガスセンサによって平均加熱電力、最大加熱電力、または加熱電力の振幅がどのように変更されるかを示す情報が含まれていてもよい。

【0123】

図1Dは、少なくとも1つのヒータ120と、ヒータ120に対して異なる距離（例えば、第1の距離180₁および第2の距離180₂）で配置された2つの検出器（例えば、第1の検出器130および第2の検出器140）とを有する熱ガスセンサ100の評価装置200の概略図である。例えば、第1の検出器130は、ヒータ120に対する第1の距離180₁を有してもよく、第2の検出器140は、ヒータ120に対する第2の距離180₂を有してもよい。評価装置200は、ヒータ120に所定の周期継続時間を有する周期信号260を適用するように実装されてもよい。この場合、例えば、周期信号は、方形波信号、既知のパワーを有するインパルス信号、または正弦波信号であってもよい。任意で、高調波を有する正弦波信号であってもよいし、三角信号であってもよい。周期信号はまた、ヒータ信号と呼ばれてもよく、ヒータ120から分析対象ガスを介して第1の検出器130および／または第2の検出器140に熱の形で伝達されてもよい。伝達された熱は、第1の検出器130によって第1のセンサ信号210として検出され、第2の検出器140によって第2のセンサ信号220として検出されてもよい。第1のセンサ信号210および第2のセンサ信号220は、それぞれ所定の周期的な期間を構成する第1の周期信号および第2の周期信号から構成されていてもよい。これにより、分析されるべきガスが、熱ガスセンサ100、または評価装置200によって、そのガス濃度および／または熱拡散率に関して非常に正確に分析されてもよい。評価装置200は、少なくとも1つのセンサ信号（例えば、第1のセンサ信号210および／または第2のセンサ信号220）を検出器130、140のうちの1つから3つの時点で（例えば、サンプリング手段270によって）サンプリングするように実装されてもよい。例えば、第2のサンプリング時間は、第1のサンプリング時間と比較して、期間継続時間に対して（例えば、±2°で）90°だけタイムシフトされてもよい。したがって、例えば、第2のサンプリング時間は、第1のサンプリング時間と比較して、1/4の期間持続時間、5/4の期間持続時間、または9/4の期間持続時間によってタイムシフトされてもよい。第3のサンプリング時間は、第1のサンプリング時間と比較して期間持続時間に対して180°、または第2のサンプリング時間と比較して90°だけ時間シフトされてもよい。第1のサンプリング時間、第2のサンプリング時間、および第3のサンプリング時間は、±2%の公差を構成してもよい。すなわち、例えば、第3のサンプリング時間は、第1のサンプリング時間と比較して、1/2の期間の持続時間、3/2の期間の持続時間、または5/2の期間の持続時間によってタイムシフトされてもよい。このように、センサ信号210、220は、正確に定義された位置でサンプリングされてもよく、センサ信号210、220からガス濃度および／または熱拡散率に関する情報240を非常に正確に決定することを可能にする。評価装置200は、第1のサンプリング時間、第2のサンプリング時間、および第3のサンプリング時間（例えば、サンプリング装置270によって実行される）でセンサ信号をサンプリングすることに基づく3つのサンプリング値に基づいて、第1のサンプリング値および第3のサンプリング値がセンサ信号210、220の最大値および最小値を構成するかどうかを検出するように実施されてもよい。例えば、これは、検査装置280によって実行されてもよい。例えば、検査装置280は、DCオフセットを無視してもよく、したがって、DCオフセットとは別に、例えば、第1のサンプリング値が最大値を構成し、第3のサンプリング値がセンサ信号210、220の最小値を構成するかどうかを検査してもよい。したがって、例えば、第2のサンプリング時間は、センサ信号210、220の「ゼロクロス」であってもよく、また、検査手段280によって検討されてもよい。

【0124】

第1のサンプリング時間、第2のサンプリング時間、および／または第3のサンプリング時間、ならびに第1のセンサ信号210および第2のセンサ信号220は、熱ガスセンサ100によって検出されたガスのガス濃度および／または熱拡散率に関する情報240を決定するために使用されてもよい。任意で、ヒータ信号122は、情報240の決定に追加的に使用されてもよい。したがって、例えば、第1のセンサ信号210と第2のセンサ信号220との間の位相差および／または第1のセンサ信号210と第2のセンサ信号

10

20

30

40

50

220との間の振幅差が、サンプリング時間／サンプル値に基づいて決定されてもよい。任意で、第1のセンサ信号210とヒータ信号122との間の位相差および／または振幅差、ならびに／または第2のセンサ信号220とヒータ信号122との間の振幅差が決定されてもよい。このようにして決定された位相差および振幅差から、ガス濃度および／または熱拡散率に関する情報240が決定されてもよい。

【0125】

一実施形態によれば、評価装置200は、第1のサンプル値および第3のサンプル値がセンサ信号210、220の最大値および／または最小値を構成するかどうかを識別することに依存してサンプリング時間を変更するように実装されてもよい。例えば、これは、サンプリング制御手段290によって行われてもよい。したがって、例えば、第1のサンプル値および第3のサンプル値がセンサ信号210、220の最大値および／または最小値に対応しない場合、新たなサンプリング時間が決定されてもよい。サンプリング時間を制御することにより、サンプル値が所定の値に対応することを確実にすることができる。例えば、検査手段280が、許容範囲外の偏差（例えば、 $\pm 2^\circ$ ）があると判定した場合、サンプリング時間は、サンプリング制御手段290によって変更／再調整されてもよい。

【0126】

一実施形態によれば、評価装置200は、第1のサンプル値がセンサ信号210、220の第1の極値、例えば最大値または最小値を構成し、第3のサンプル値が第2の極値、例えばセンサ信号210、220の最小値または最大値を構成するように、サンプリング時間を設定または調整するように実装されてもよい。例えば、第2のサンプル値は、センサ信号210、220の平均値またはDC成分、例えば「ゼロクロス」を構成してもよい。

【0127】

一実施形態によれば、評価装置200は、サンプリング時間を設定または調整する際に、センサ信号210、220が所定の閾値を通過する時点の情報を考慮するように構成されてもよい。例えば、この時点は、例えば、センサ信号210、220の直流成分または平均値を構成する第2の時点であってもよい。したがって、例えば、検査手段280は、第1のサンプリング時間および／または第2のサンプリング時間を検査するために、第2のサンプリング時間を使用してもよい。このように、検査手段280が、第2のサンプリング時間に基づいて、第1のサンプリング値がセンサ信号210、220の最大値または最小値に対応しておらず、第3のサンプリング値がセンサ信号210、220の最小値または最大値に対応していないと判定した場合、サンプリング制御装置290は、サンプリング時間を新たに設定してもよいし、再調整してもよい。例えば、指定された閾値は、（例えば、DCオフセットとは別に）「ゼロクロス」を定義してもよい。

【0128】

一実施形態によれば、評価装置200は、第2のサンプリング時間における第2のサンプル値が、第1のサンプリング時間におけるサンプル値の平均値と同一であるかどうか、および第3のサンプリング時間における第3のサンプル値と同一であるかどうかを検査し、検査に依存して、第1のサンプル値および第3のサンプル値がセンサ信号の最大値および最小値を表すかどうかを検出するように実装されてもよい。例えば、第2のサンプル値は、第1のサンプル値と第3のサンプル値との間の差、またはサンプル値の平均値と第2のサンプル値との間の差に対して、最大 $\pm 1\%$ の公差で同一であることが好ましい。そうでない場合、検査装置280は、サンプリング時間が誤って選択されたことを検出してもよい。第1のサンプル値は第1の極値を構成し、周期継続時間に関して180°時間シフトされた第3のサンプル値は、センサ信号210、220の第2の極値を構成するので、第2のサンプル値は、第1のサンプリング時間と第2のサンプリング時間との間のちょうど半分の時間に位置していてもよい。したがって、第2のサンプリング値は、他の2つのサンプリング値の平均値に対応していてもよい。したがって、これは、検査装置280の助けを借りてサンプル値を検査するための効率的かつ正確な方法を構成できる。

【0129】

一実施形態によれば、評価装置200は、好ましくは50%のデューティ比を有する周

期的な方形波信号 260 をヒータ 120 に適用するように実装されてもよい。しかしながら、周期的な方形波信号が、5%～50%、8%～48%、または10%～45%の範囲のデューティ比を構成することも可能である。ヒータ 120 に適用される周期的な方形波信号 260 は、+/-2%の公差を有してもよい。一実施形態によれば、デューティ比は、インパルスの周期的なシーケンスについて、インパルスの持続時間と周期の持続時間との比を示す。

【0130】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、アナログ・デジタル変換器への入力信号を得るために、センサ信号 210、220 をデジタル・アナログ変換器によって生成されたオフセット信号と結合するように実装されてもよい。例えば、アナログ・デジタル変換器は、サンプリング時間に存在する信号値（例えば、第1のサンプル値、第2のサンプル値、および/または第3のサンプル値）をデジタル化し、これをセンサ信号 210、220 をサンプリングするために使用してもよい。例えば、サンプリング装置 270 は、アナログ・デジタル変換器を構成してもよい。

10

【0131】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、センサ信号 210、220 の全期間中にアナログ・デジタル変換器の入力信号が所定の範囲内に収まることを達成するために、オフセット信号を調整するように構成されてもよい。したがって、例えば、オフセット信号は、デジタル化においてセンサ信号 210、220 の情報が失われないように、または情報損失が低減されるように、アナログ・デジタル変換器の動作範囲（例えば、所定の範囲）にある入力信号が生成されるように、センサ信号 210、220 のオフセットを変更してもよい。したがって、例えば、サンプリング装置 270 は、アナログ・デジタル変換器の入力値が、所定の上限閾値（例えば、所定の範囲）を超えるか、または所定の下限閾値（例えば、所定の範囲）を下回るかを調べてもよい。したがって、サンプリング装置 270 は、入力値、例えば入力信号の値が所定の範囲内に収まるように、センサ信号 210、220 と結合されてもよいオフセット信号を生成してもよい。評価装置 200 は、オフセット信号を調整した後にサンプリング時間を調整し、サンプリング時間の変更後に、変更されたサンプリング時間の設定で得られたサンプル値が依然として所定の範囲内にあるかどうかの検査を再び実行するように実装されてもよい。したがって、例えば、オフセット信号は、評価装置 200 によってセンサ信号 210、220 に対して最初に生成されてもよく、サンプリング時間は、その後、サンプリング装置 270 によって決定され、検査され、場合によっては再調整されてもよい（例えば、これは、サンプリング時間のトラッキングを構成してもよい）。このトラッキングの後、評価装置 200 によるオフセット信号の繰り返し調整を伴う可能性のある新しいサンプル値が作成されてもよい。このように、例えば、アナログ・デジタル変換器がセンサ信号 210、220 を処理してもよくなるまで、オフセット信号とサンプリング時間は交互に調整されてもよいし、追跡されてもよい。このように、この時点で、オフセット信号およびサンプリング時間は、定常状態であってもよい。

20

30

【0132】

例えば、サンプリング制御手段 290 によって変更されたサンプリング時間の設定により、アナログ・デジタル変換器の入力値とみなされる新たなサンプル値が生成される。アナログ・デジタル変換器の入力信号が所定の範囲内に留まるように、オフセット信号とヒータ 120 の加熱電力を再調整してもよい。例えば、オフセット信号はセンサ信号 210、220 のオフセットを適応させてもよく、加熱電力の変更はセンサ信号 210、220 の振幅を適応させて、所定の範囲にある入力信号が生成されるようにしてもよい。

40

【0133】

一実施形態によれば、評価装置 200 は、少なくとも1つのセンサ信号 210、220 を所定の値の範囲にもたすために、検出器 130、140 のうちの少なくとも1つからの少なくとも1つのセンサ信号 210、220 に依存して、ヒータ 120 に印加される加熱電力を制御するように実装されてもよい。評価装置 200 は、センサ信号 210、22

50

0 からガス濃度および／または熱拡散率に関する情報 240 を導出する際に、加熱電力に関する情報（例えば、ヒータ信号 122）を考慮するように実装されてもよい。したがって、例えば、ヒータ 120 の加熱パワーの増加時に、センサ信号 210, 220 は、センサ信号 210, 220 の振幅の増加を経験してもよく、または、加熱パワーの減少時に、少なくとも 1 つのセンサ信号 210, 220 は、センサ信号 210, 220 の振幅の減少を経験してもよい。このように、例えば、センサ信号 210, 220 は、ヒータ 120 の加熱電力を制御することによって、所定の値の範囲に収められてもよい。

【0134】

以下では、熱ガスセンサおよび評価装置の実施形態を、さらなる図面に基づいて説明する。

【0135】

1.1 熱ガスセンサの技術的バリエーション

【0136】

図 2A および図 2B はそれぞれ、物理ガス特性を測定するためのガスセンサ 100 の概略図である。熱ガスセンサ 100 は、薄膜 110 と発熱体 120 とを有してもよく、例えば、膜 110 の第 1 の断絶領域 160 と膜 110 の第 2 の断絶領域 170 との間に膜 110 上の自己支持ブリッジ構造として配置されていてもよい。ワイヤセンサ（温度センサ構造体 130、140 の例；図 2 および図 3 参照）の場合、薄膜 110（例えば、複数のベース層、センサ層、およびパッシベーション層からなる）の厚さは、例えば、1 ~ 10 μm の間であってもよい。また、発熱体 120 をヒータと称してもよい。図 2A および図 2B によれば、第 1 の断絶領域 160 の全体が膜 110 の断絶 162 を構成してもよく、第 2 の断絶領域 170 の全体が膜の断絶 172 を構成してもよい。このように、発熱体 120 は、第 1 の断絶 162 と第 2 の断絶 172 との間に自立するように配置されてもよい。第 1 の断絶 162 は、感熱素子 120 と第 1 の温度センサ構造 130 との間で、自己支持型のブリッジ構造の形態で制限されてもよい。第 2 の断絶 172 は、感熱素子 120 および第 2 の温度センサ構造 140、例えば、自己支持型ブリッジ構造の形態で制限されてもよい。第 1 の温度センサ構造 130 および／または第 2 の温度センサ構造は、ワイヤセンサ、サーモパイル、温度可変抵抗器またはサーミスタであってもよい。

【0137】

任意で、ガスセンサ 100 は、第 1 の外側断絶 192 と第 2 の外側断絶 194 とから構成されてもよい。したがって、例えば、第 1 の感熱素子構造 130 は、第 1 の断絶 160 と第 2 の外側断絶 194 との間の自己支持型ブリッジ構造であってもよく、第 2 の感熱素子構造 140 は、第 2 の断絶 172 と第 1 の外側断絶 192 との間の自己支持型ブリッジ構造であってもよい。第 1 の感熱素子構造 130 は、第 1 の検出器または第 1 のセンサと呼ばれてもよく、第 2 の感熱素子構造 140 は、第 2 のセンサまたは第 2 の検出器と呼ばれてもよい。

【0138】

ガスセンサ 100 の断面は、図 2A の上部領域で見ることができる。例えば、ガスセンサ 100 は、キャリア材料からなるフレーム 150 を含む。例えば、キャリア材料で作られたフレーム 150 は、膜 110 を広げてよい。一実施形態によれば、膜 110 は、1 μm ~ 50 μm 、2 μm ~ 25 μm 、または 3 μm ~ 10 μm 、例えば 8 μm の範囲の厚さ 111（例えば、第 1 の感熱素子構造 130、第 2 の感熱素子構造 140、および発熱体 120 が配置されている膜 110 の表面に垂直な拡がり）で構成されていてもよい。一実施形態によれば、膜 110 は、フレーム 150 からの凹部 190 によって実現されてもよい。したがって、例えば、凹部 190 は、膜 110 が所望の厚さ 111 で実現されてもよいように選択されてもよい。

【0139】

図 2A および図 2B の実施形態によれば、凹部 190 は、発熱体 120、第 1 の感熱素子構造 130、および第 2 の感熱素子構造 140 のみが、例えばフレーム 150 の間に広がったままであるように実施されてもよい。一実施形態によれば、第 1 の感熱素子構造 1

10

20

30

40

50

30、第2の感熱素子構造140、および発熱体120が配置される膜110の表面は、 $200 \times 200 \mu\text{m}^2 \sim 5 \times 5 \text{mm}^2$ 、 $500 \times 500 \mu\text{m}^2 \sim 2000 \times 2000 \mu\text{m}^2$ 、または $800 \times 800 \mu\text{m}^2 \sim 1200 \times 1200 \mu\text{m}^2$ の範囲の拡がりを含んでもよく、ここで拡がりは、正方形または長方形の拡がりであってもよい。ガスセンサ100は、 $500 \text{nm} \sim 5 \text{mm}$ 、 $1 \mu\text{m} \sim 1 \text{mm}$ 、または $200 \mu\text{m} \sim 600 \mu\text{m}$ 、例えば $400 \mu\text{m}$ の範囲の厚さ101（例えば、膜110の厚さ111と平行）で構成されていてもよい。発熱体120が配置された膜110の表面に平行なガスセンサ100の拡がりは、 $1 \times 1 \text{m}^2$ から $1 \times 1 \text{cm}^2$ 、 $1.5 \times 1.5 \text{mm}^2$ から $9 \times 9 \text{mm}^2$ 、または $2 \times 2 \text{mm}^2$ から $8 \times 8 \text{mm}^2$ 、例えば $6.5 \times 2.5 \text{mm}^2$ の範囲であってもよい。

【0140】

一実施形態によれば、第1の感熱素子構造130、第2の感熱素子構造140、および／または発熱体120は、膜110の一部であってもよい。

【0141】

ガスの種類および／またはガス混合物に依存する熱輸送を測定するために、フレームの間に自己支持的に広がっており、分析されるべきガスによってマイクロワイヤとして囲まれていてもよい3つの微細なブリッジ構造（例えば、発熱体120、第1の感熱素子構造130、および第2の感熱素子構造140）を有するマイクロチップ（熱ガスセンサ100の一例）が使用されてもよい。例えば、分析対象ガスは、第1の断絶162、第2の断絶172、第1の外側断絶192、および／または第2の外側断絶194に配置されてもよい。中央ブリッジ構造がヒータ120として実装されてもよく、ヒータ120に対して異なる距離で両側に配置された2つの検出器構造（例えば、第1の感熱素子構造130および第2の感熱素子構造140）が、ガス混合物からの伝達応答を測定するための温度センサとして使用されてもよい。

【0142】

例えば、周期的な熱信号が中心線（発熱体120）に印加され、その結果、例えば、発熱体によって熱が放射される。熱伝導は、発熱体120から分析対象のガスへの未知の熱遷移、およびガスからセンサワイヤへの（例えば、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140への）未知の熱遷移を介して行われてもよい。第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140によってそのように検出される熱伝達は、伝達応答として、またはセンサ信号（例えば、第1の感熱素子構造130によって検出される第1のセンサ信号および第2の感熱素子構造140によって検出される第2のセンサ信号）として理解されてもよい。ヒータ120までの距離が異なる2つの同一のセンサ（例えば、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140）を用いて温度応答（例えば、伝達応答）を測定することによって、測定配置における未知の熱遷移は、例えば、排除されてもよい。2つのセンサ信号の位相および振幅は、本質的にガスによる熱伝達に依存してもよい。

【0143】

1.1.1 実施例 MEMSワイヤセンサとしてのガスセンサ100（検出器抵抗（例えば、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140の抵抗）におけるTCR（抵抗の温度係数）の評価）（代替的な実施形態、任意で、セクション1.2による信号生成および評価、およびセクション1.3による評価アルゴリズムと組み合わせて使用可能）

【0144】

温度ガスセンサ100の第1の変形例は、シリコンオンインシュレータ（SOI）ウェハ基板に基づいて構築されてもよい。例えば、分析すべきガス空間内に広がるシリコンマイクロワイヤ（例えば、第1の温度センサ構造130および第2の温度センサ構造140）からなる自己支持型の微細ブリッジ構造を有するマイクロチップで構成される。センタワイヤをヒータ120として実装してもよく、2本の検出器ワイヤ（例えば、第1の温度センサ構造130および第2の温度センサ構造140）を、ヒータの両側の温度センサとして、同一の距離を隔てて使用してもよい（図2A、図2B参照）。。

【0145】

例えば、図2Aは、MEMSワイヤセンサチップ（ガスセンサ100）を光学顕微鏡で観察した画像（左側）、図2Bは、MEMSワイヤセンサチップ（ガスセンサ100）を光顕微鏡で観察した画像（右側）である。

【0146】

図3は、例えばガスセンサの発熱体、第1の感熱素子構造、および／または第2の感熱素子構造に使用され得るシリコンブリッジ120／130／140の概略図である。換言すれば、図3は、熱MEMSワイヤセンサ（例えばガスセンサ）のマイクロブリッジ（SEM、走査型電子顕微鏡）の詳細を示す。例えば、図示されたシリコンブリッジ120／130／140は、SOI技術で製造されてもよい。したがって、例えば、フレーム150の基板またはキャリア材料は、酸化物材料152、シリコン材料154、およびアルミニウム材料156から構成されてもよい。例えば、シリコンブリッジを実現するために、シリコン材料154は、フレーム150のキャリア材料に切り欠き158（例えば、トレンチ）を実現するために、部分的に除去されてもよく、したがって、シリコンブリッジ120／130／140を実現するために、シリコン材料154が除去されてもよい。シリコンブリッジ120／130／140は、（例えば、酸化物材料152からなる）膜110上に配置されてもよい。

【0147】

例えば、膜110は、第1の断絶領域160／162および第2の断絶領域170／172を構成してもよい。第1の断絶領域160／162および第2の断絶領域170／172は、例えば空洞であってもよい断絶を構成する。このように、膜110は、分析対象のガスが配置されてもよく、シリコンブリッジが発熱体120を構成する場合にはシリコンブリッジ120／130／140から同じものに熱が伝達され、シリコンブリッジ120／130／140が第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140を構成する場合にはシリコンブリッジ120／130／140に熱が伝達されてもよい。第1の断絶領域162および第2の断絶領域172を構成していてもよい。シリコンブリッジ120／130／140は、アルミニウム材料156と接触してもよく、その結果、アルミニウム材料156は、例えば、ボンドパッドとして使用されてもよい。例えば、ボンドパッドによって、発熱体120に励起性ヒータ信号が印加されてもよいし、第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140が読み出されてもよい（例えば、第1のセンサ信号または第2のセンサ信号）。

【0148】

SOI技術のメリット

【0149】

- ・ 結晶抵抗パス、検出器（例えば、第1の感熱素子構造130および第2の感熱素子構造140）の抵抗の温度係数（TCR）は、もっぱらウェハ材料（活性層内）のベースドーピングに依存していてもよい。

- ・ 温度検出器（例えば、第1の感熱素子構造130および第2の感熱素子構造140）の抵抗器の高いベース抵抗における白金と同様の大きさのTCRは、ブリッジ構造120、130、140（1mmよりも短い）の短い抵抗経路（例えば、フレーム150のフレーム側からフレーム150の対向するフレーム側へ）のために、センサの寸法（例えば、第1の感熱素子構造130および第2の感熱素子構造140の寸法）を小型化することを可能にし、かつ、抵抗温度検出器（RTD）の領域（例えば、第1の感熱素子構造130および第2の感熱素子構造140）については、例えば、以下のように、自己発熱による温度測定誤差が比較的小さいので、8kOhmよりも大きいベース抵抗値が使用されてもよく、これは、測定動作中に360μW未満の電力入力が必要とする可能性がある。

- ・ ヒータ抵抗（例えばヒータ120の）は、移植により低動作電圧（好ましくは3.3V）に適用可能

- ・ オーミックセンサ抵抗の非常に均質な分布、例えば第1の感熱素子構造130および／または第2の感熱素子構造140の抵抗を、非常に狭いプロセス分野でウェハ（例えばフレ

10

20

30

40

50

ーム150)の上に、特に、検出器抵抗(例えばセンサ抵抗)の公差は、例えば活性層(活性層、ベースドーピング、および材料厚さ)のSOI材料の公差によって決定されるとともに、ディープエッチング(Deep RIE)の横方向構造精度によって決定される。

【0150】

SOI技術のデメリット。

【0151】

- ・ ウェハを購入する場合、比較的高価なSOI基板材料。
- ・ 希望する仕様(ウェハ径、ハンドルと活性層の材料厚、活性層のドーピング)で入手できないことが多い。
- ・ 現在、構造体のパッシベーションは行われていないが、特定の状況下では、パッシベーションは、入熱時の層の異なる材料の拡がり、TCRの特性曲線の変化に起因するバイメタル効果につながる。

【0152】

1.1.2項の実施例。薄層膜上のMEMSサーモパイルセンサとしてのガスセンサ100(形態1による実施形態、任意に、セクション1.2による信号生成および評価とセクション1.3による評価アルゴリズムとの組合せで使用可能)

【0153】

図4は、左側がガスセンサ100の概略説明図であり、右側がガスセンサ100の詳細図である。

【0154】

一実施形態によれば、ガスセンサ100は、膜110と、膜110の第1の断絶領域160と膜110の第2の断絶領域170との間の膜110上に配置されてもよい発熱体120とから構成されてもよい。第1の断絶領域160は、断絶162を含んでもよく、第2の断絶領域170は、断絶172を含んでもよい。

【0155】

第1の断絶162および／または第2の断絶172は、発熱体120(これは、例えば、ヒータと呼ばれてもよい)の最大拡がり方向に平行な長手方向の拡がり構成してもよく、横方向の拡がり構成してもよく、例えば、発熱体120の最大拡がり方向に垂直な方向の拡がり構成してもよい。したがって、図4によれば、第1の断絶162は、第2の断絶172よりも大きな横方向の拡がり有してもよい。さらに、図4によれば、第1の断絶162および第2の断絶172は、同じ縦方向の拡がり構成してもよい。例えば、第1の断絶162及び第2の断絶172は、第1の断絶162及び第2の断絶172が、それぞれ第1の発熱体構造体130と第2の発熱体構造体140との間の領域と発熱体120との間の領域とを完全に覆うほどの大きさの縦方向の拡がり構成する。したがって、例えば、第1の断絶162および第2の断絶172の長手方向の拡がりは、発熱体120の全長に沿って延びる。これにより、発熱体120によって放射された熱の大部分が膜110を介して輸送されることが回避される。したがって、熱の大部分は、第1の断絶162および第2の断絶172に配置されたガスを介して、それぞれの感熱素子構造130、140に伝達されることが達成され得る。

【0156】

例えば、第1の感熱素子構造130は、第2の感熱素子構造140とは異なる発熱体120までの距離を有してもよい。したがって、例えば、図4によれば、第1の感熱素子構造130は、第2の感熱素子構造140よりも発熱体120まで長い距離を有している。例えば、第1の感熱素子構造130は、発熱体120から第1の断絶162内のガスへの第1の熱伝達210、及びガスから第1の感熱素子構造130への第1の熱伝達210を検出し、第1のセンサ信号と同様に感知してもよい。例えば、第2の感熱素子構造140は、発熱体120から第2の断絶172内のガスへの第2の熱伝達220、及びガスから第2の感熱素子構造140への第2の熱伝達220を検出し、第2のセンサ信号と同様のものを提供してもよい。第1の感熱素子構造130および第2の感熱素子構造140の発熱体120までの距離が異なるため、第1のセンサ信号および第2のセンサ信号から差分

10

20

30

40

50

信号が形成されてもよく、その結果、未知の遷移（例えば、発熱体からガスへの遷移および／またはガスからそれぞれの感熱素子構造への遷移）が計算されてもよく、したがって、ガスセンサ１００は、第１の断絶１６２または第２の断絶１７２におけるガスを介した熱伝達を主に、または唯一に考慮することになる。

【０１５７】

一実施形態によれば、熱センサ１００は、膜１１０を広げるフレーム１５０をさらに含んでもよい。第１の感熱素子構造１３０および第２の感熱素子構造１４０は、膜１１０上に少なくとも部分的に配置され、フレーム１５０上に少なくとも部分的に配置されてもよい。この場合、第１の感熱素子構造１３０および第２の感熱素子構造１４０は、発熱体１２０に対向するように配置されたホットエンド１３２、１４２を含んでもよい。さらに、第１の感熱素子構造体１３０および第２の感熱素子構造体１４０は、それぞれ、感熱素子構造体１３０および第２の感熱素子構造体１４０のホットエンド１３２、１４２がある側とは反対側に配置されてもよく、したがって、発熱体１２０から離れて対向するように配置されてもよいコールドエンド１３４、１４４を含んでもよい。したがって、例えば、ホットエンド１３２、１４２は、膜１１０上に配置されてもよく、コールドエンド１３４、１４４は、フレーム１５０上に配置されてもよい。この場合、例えば、フレーム１５０は、膜１１０とは異なる材料で構成されてもよい。これにより、例えば、フレーム１５０のフレーム材料によって、ホットエンド１３０、１４２によって測定され、発熱体１２０から伝達された温度に関して、基準温度がコールドエンド１３４、１４４に適用されてもよい。

【０１５８】

すなわち、図４の左側の図は、ガスセンサ１００のレイアウトを構成するものであってもよく、図４の右側の図は、例えば、ガスの種類に依存する熱輸送を測定するためのガスセンサ１００（例えば、ＭＥＭＳ膜センサ）の画像を構成するものであってもよい（形態１による実施形態）。例えば、図４は、膜１１０の一定の断絶（例えば、第１の断絶１６２および第２の断絶１７２）を有するガスセンサ１００の変形例を示している。例えば、一定の断絶１６２、１７２は、ヒータ１２０と検出器（例えば、第１の感熱素子構造１３０および第２の感熱素子構造１４０）との間の熱輸送の主要部分を生じて、例えば、２つの要素の間に囲まれた測定ガス体積を介して、例えば、第１の断絶１６２および第２の断絶１７２に配置された測定ガスを介して、強制的に発生するようにする。

【０１５９】

例えば、ガスセンサ１００の技術的製作における工程工数を削減し、ガスの種類に依存する熱輸送２１０、２２０の測定中に感度を高めるために、マイクロチップは、ヒータ構造１２０およびサーモパイル構造１３０、１４０（検出器）を有する薄層膜１１０に基づいて実現されてもよく、ここで、薄層膜１１０は、ヒータ１２０と検出器１３０、１４０との間の横方向の領域でエッチングされてもよい。

【０１６０】

（例えばセクション１．１．１に記載されているような）ワイヤセンサと比較して、膜センサ（例えば、ガスセンサ１００）は、二元混合物のガス濃度に対して同一の感度で、熱エネルギーの１／３しか必要としない。ワイヤセンサと同様に、ヒータ構造体（例えば発熱体１２０）は、例えば検出対象のガスの測定空間内に中央に広がった自己支持型のファインブリッジ構造体として配置されている。ヒータ１２０までの距離が異なる両側（例えば）に配置された２つの検出器ワイヤは、例えば、横方向に広がった膜表面（膜１１０の）上に配置され、トレンチエッジ（例えば、第１の断絶１６２または第２の断絶１７２のエッジ）まで達してもよい「サーモパイル」構造（例えば、第１の感熱素子構造１３０および／または第２の感熱素子構造１４０の）に置き換えられてもよい。

【０１６１】

10

20

30

40

50

例えば、サーモパイル130、140のコールドエンド134、144は、高い熱伝導率（例えば、シリコン、約150W/(°K)）を有し、ヒートシンク（室温付近の冷却体）として機能し得るキャリア材料（例えば、フレーム150の材料）に直接接触することが好ましい。例えば、サーモパイルの冷間端134、144とシリコンとの間には、シリコンと接点を電氣的に絶縁するベース膜材料（膜110の材料）が配置されており、このベース膜材料は、サーモパイルのコールドエンド134、144とシリコンとの間に配置されている。しかしながら、この層は非常に薄いので、サーモパイルからの熱を効果的にシリコンに伝えることができる。このようにして、室温（例えば、ホットエンド132、142によって測定される）に対する直接的な差として、過温度（例えば、コールドエンド134、144によって測定される）を測定してもよい。例えば、温度補償のための測定場所は、シリコンチップ（例えば、フレーム150）上またはシリコンチップに機械的に直接接続されている。

10

【0162】

膜110の膜材料における熱伝導に起因するヒータ120と検出器構造体130、140との間の熱輸送210、220の寄生効果を低減するために、膜110は、結果的に、ヒータ120から検出器130、140への熱輸送210、220が、主に最短の横方向距離を介して行われ、したがって、例えば、間に位置する（例えば、第1の断絶162および第2の断絶172内に配置された）測定ガスの体積を横切る経路を通過するように中断されてもよい。その結果、ヒータ120の周期的な熱パルスに対するセンサ130/140のガスタイプに依存した伝達応答（例えば、第1のセンサ信号および第2のセンサ信号）が大幅に増加してもよい。

20

【0163】

一実施形態によれば、図5は、その左側にガスセンサ100の概略図を示し、その右側にガスセンサ100の拡大詳細図を示す。図5のガスセンサ100は、図4のガスセンサ100と同じ特徴および機能を有してもよく、ここで、図5のガスセンサ100は、第1の断絶領域160および／または第2の断絶領域170の設計において、図4のガスセンサ100とは異なってもよい。したがって、例えば、図5のガスセンサ100の第1の断絶領域160は、多数の断絶162_iを構成してもよく、第2の断絶領域170もまた、多数の断絶172_iを構成してもよい。このように、例えば、図5の実施形態によれば、第1の断絶領域160は23個の断絶を有してもよいので、ガスセンサ100の第1の断絶領域160の断絶162_iの指数*i*は、1から23に達してもよい。例えば、図5の実施形態によれば、第2の断絶領域170は14の断絶を有してもよいので、ガスセンサ100の第2の断絶領域170の断絶172_iの指数*i*は、1から14まで到達してもよい。任意で、断絶162_iおよび断絶172_iのインデックス*i*は、例えば、自然数を定義してもよく、ここで、インデックス*i*は、断絶162_i、172_iが1つの断絶領域160、170内に何個存在するかを示す。

30

【0164】

断絶162_i、172_iは、第1の断絶領域160および第2の断絶領域170において、それぞれ、発熱体120の最大拡がり方向と平行な方向に列をなして配置されてもよく、列は、追加的に、互いにオフセットして配置されてもよい。例えば、これは、一膜材料によって形成された一連続する列の横方向のリッジ112（例えば、発熱体120の最大拡がり方向に垂直な方向に、発熱体120からそれぞれの感熱素子構造130、140まで延びる）が、互いにオフセットして配置されることを意味する。例えば、これにより、膜110の寄生熱伝導114a、114bは、できるだけ長い経路を通過ようになる。

40

【0165】

例えば、断絶162_i、172_iは、膜110内に格子構造が形成されるように配置され、ここで、膜110を通る寄生熱伝導114a、114bの経路は、直接経路210、220よりも長い。例えば、直接経路210、220は、発熱体120からそれぞれの感熱素子構造130、140に至る、発熱体120に垂直な直線経路であってもよく、ここで

50

、直接経路 210、220 は、断絶 162_i、172_i内に配置された分析対象ガスを通過してもよい。例えば、寄生熱伝導 114a、114b の経路は、図 5 に図示されているように、膜 110 を通って直線状に延びるのではなく、巻線状の経路を形成するべきである。例えば、膜 110 を横切る直接的な熱経路は存在しないはずである。これにより、第 1 の感熱素子構造 130 および第 2 の感熱素子構造 140 が、直接経路 210 および／または 220 を介して発熱体 120 からの熱伝達を検出してもよく、寄生熱伝導 114a、114b の影響が検出において最小化されてもよく、その結果、ガスが非常に正確に分析できる。

【0166】

例えば、断絶 162_i、172_iは、±20°の公差で、熱伝導の主方向（例えば、発熱体 120 から感熱素子構造体 130、140 への直接経路 210、220）に対して垂直であってもよい長手方向の断絶であってもよい。

【0167】

一実施形態によれば、断絶 162_i、172_iは、角が丸みを帯びた長方形の切り欠きであってもよい。例えば、それらは、長手方向の穴と呼ばれることもあり、また、例えば、楕円形の穴であってもよい。この場合、断絶 162_i、172_iは、その幅の少なくとも 3 倍の長さを有していてもよい。例えば、長さは、発熱体 120 の最大拡がり平行な方向として定義されてもよく、幅は、発熱体 120 の最大拡がり垂直な方向として定義されてもよい。この特徴により、寄生熱伝導 114a、114b の経路が非常に長いことが実現され、その結果、ガスセンサ 100 によるガス分析の品質が向上する可能性がある。

【0168】

一実施形態によれば、第 1 の断絶領域 160 および第 2 の断絶領域 170 における断絶 162_i、172_iは、それぞれ、断絶 162_i、172_i間の距離 116a、116b が、機械的に耐久性のあるグリッド構造をもたらす最小の実現可能な構造幅に対応するように配置されてもよい。例えば、距離 116a、116b は、膜 110 上の膜材料で作られたリッジの幅である。距離 116a、116b が短く実現されるほど、寄生熱伝導 114a、114b が小さくなり、その結果、ガスセンサ 100 によるガス分析の品質が向上する可能性がある。この場合、距離 116a、116b は、ガスセンサ 100 によるガス分析の品質を高くするために、断絶 162_i、172_iによって形成される格子構造膜 110 が機械的に耐久性を有するように選択されることが好ましい。

【0169】

換言すれば、図 5 は、例えば、ガスの種類に依存する熱輸送（直接経路 210、220 を介して）を測定するための MEMS 膜センサ（例えば、ガスセンサ 100）のレイアウトを例示してもよい（形態 1 による実施形態）。このように、図 5 のガスセンサ 100 は、ガスセンサ 100 の機械的安定性を高めるために、膜 110 の膜材料からなるグリッド構造を有する変形例を例示してもよい。グリッドの幾何学的形状は、寄生熱伝導 114a、114b が、膜材料の中で可能な限り長い経路を通過しなければならないように選択されてもよい。

【0170】

図 5 は、ガスセンサ 100 のさらなる実施形態を示し、これは、長期的な動作におけるガスセンサ 100 の機械的安定性を向上させるための、ヒータ素子 120 と検出素子（例えば、第 1 の感熱素子構造 130 および第 2 の感熱素子構造 140）との間のグリッド構造を示す。このような配置は、熱伝導が膜材料の格子状リッジを介して寄生的な態様 114a、114b でも起こる可能性があるため、熱ガスセンサ 100 のガスタイプに依存した感度を低下させる可能性がある。したがって、ヒータ 120 に周期的に入力される熱エネルギーの一部は、最短横方向距離 210、220 を介して測定ガスを介して輸送される熱エネルギーの一部よりも早く検出器構造（例えば、第 1 の感熱素子構造 130 および／または第 2 の感熱素子構造 140）に輸送されてもよい。ローパスフィルタとして周期的な励起に応答し得る検出器（例えば、第 1 の感熱素子構造 130 および／または第 2 の感熱素子構造 140）の熱質量のために、例えば、2 つの熱波ランタイム（例えば、直接経

10

20

30

40

50

路 2 1 0 を介した熱伝達を伴う寄生熱伝導 1 1 4 a および／または直接経路 2 2 0 を介した熱伝達を伴う寄生熱伝導 1 1 4 b) は、単一の正弦波検出器信号 (例えば、第 1 のセンサ信号または第 2 のセンサ信号) とともにループされている。

【0171】

例えば、グリッドの幾何学的形状は、寄生熱伝導 1 1 4 a, 1 1 4 b が膜材料の中で可能な限り長い経路を通過しなければならないように選択される。例えば、楕円形の穴 (例えば、断絶 1 6 2_i、1 7 2_i) は、熱伝導の主方向に対して横方向に配置される。例えば、楕円孔のアスペクト比は、それらが幅の少なくとも 3 倍の長さを有するようなものであり、リッジ幅 (例えば、距離 1 1 6 a、1 1 6 b) は、例えば、利用可能な層技術で機械的に耐久性のあるグリッド構造をもたらす最小の実現可能な構造幅に対応している。

10

【0172】

図 6 A、図 6 B、図 6 C は、ガスセンサ 1 0 0 のさらなる実施形態の概略図である。この場合、図 6 A、図 6 B、および図 6 C のガスセンサ 1 0 0 は、図 4 および／または図 5 のガスセンサ 1 0 0 と同じ特徴および機能を備えてもよい。ガスセンサ 1 0 0 の第 1 の断絶領域 1 6 0 と第 2 の断絶領域 1 7 0 との間には、ガスセンサ 1 0 0 の第 1 の断絶領域 1 6 0 と第 2 の断絶領域 1 7 0 との間には相違点があってもよい。

【0173】

したがって、例えば、図 6 A のガスセンサ 1 0 0 は、第 1 の断絶領域 1 6 0 内の 8 つの断絶 1 6 2_i と、第 2 の断絶領域 1 7 0 内の 8 つの断絶 1 7 2_i とから構成されてもよい。この場合、例えば、断絶 1 6 2_i は、断絶 1 7 2_i よりも大きな横方向の拡がりを構成してもよい。さらに、断絶 1 6 2_i、1 7 2_i は、それぞれ、それらの断絶領域 1 6 0、1 7 0 内で異なる縦方向の拡がりを構成してもよい。

20

【0174】

例えば、図 6 b のガスセンサ 1 0 0 は、8 つの断絶 1 6 2_i を有する第 1 の断絶領域 1 6 0 と、連続する断絶 1 7 2 を有する第 2 の断絶領域 1 7 0 とからなる。したがって、例えば、図 6 b の変形例では、図 6 a の変形例および／または図 5 と図 4 の変形例が、断絶領域 1 6 0、1 7 0 において互いに結合されている。

【0175】

例えば、図 6 c のガスセンサ 1 0 0 は、複数の断絶 1 6 2_i、1 7 2_i を有する第 1 の断絶領域 1 6 0 と第 2 の断絶領域 1 7 0 とからなり、第 1 の断絶領域 1 6 0 は、例えば 2 3 個の断絶 1 6 2_i を有し、第 2 の断絶領域 1 7 0 は、例えば 1 4 個の断絶 1 7 2_i を有していてもよい。この場合、例えば、第 1 の断絶領域 1 6 0 及び第 2 の断絶領域 1 7 0 のそれぞれの断絶 1 6 2_i、1 7 2_i は、同一の横方向への拡がり及び／又は同一の縦方向への拡がりを有してもよい。任意で、断絶 1 6 2_i、1 7 2_i は、列内でのみ同じ縦方向の拡がりおよび／または横方向の拡がりを構成することも可能である。

30

【0176】

したがって、別の言い方をすれば、図 6 A、図 6 B、および図 6 C は、膜の穿孔 (例えば、断絶 1 6 2_i、1 7 2_i) の数およびサイズが異なる MEMS 膜センサ (例えば、ガスセンサ 1 0 0) のさらなるレイアウトのバリエーションを例示してもよい (アスペクト 1 に従った実施形態)。

40

【0177】

膜技術におけるサーモパイル構造 (例えば、第 1 の感熱素子構造 1 3 0 および／または第 2 の感熱素子構造 1 4 0) の利点 (例)。

【0178】

・ ウェハ材料の特性は、例えば、厚さ、表面品質、および、トレンチを構造化するために、適応されたベースドーピングに関してのみ指定されるべきであるので、コスト効率の高い基板上で処理された単純な 5 マスク MEMS が可能である。

・ トレンチの SOI 構造 (例えば、膜 1 1 0 0 のための) 上のガスセンサとは対照的に、適応されたベースドーピングに関して規定されなければならない。

・ 例えば、構造体 (例えば、発熱体 1 2 0、膜 1 1 0、第 1 の感熱素子構造体 1 3 0、第

50

2の感熱素子構造体140)は、保護層で不動態化されており、測定ガス中に位置する可能性のあるフリーラジカルに対するより良い抵抗性を提供し、活性センサ構造体(例えば、第1の感熱素子構造体130および/または第2の感熱素子構造体140)をエッチングし、したがって、機械的に弱めるか、または熱的に変化させる。

・例えば、基板と比較して、薄層膜110上のガスセンサ100は、同じガス感度を達成するために3分の1の加熱電力しか必要とせず、入力電力は、SOI技術における36mWとは対照的に、約12mWである。

・温度可変抵抗構造(RTD)の代わりに、サーモパイル130、140は、測定空間内の熱分布場の検出器として実現されてもよい:例えば、サーモパイル130、140の電子信号評価は、0、6μWであり、したがって、ほとんど電力を必要としないのに対し、一方、SOI技術の抵抗構造に基づく検出器(例えば、図2A、図2B、または図3の第1の感熱素子構造130、第2の感熱素子構造140)は、安定した信号生成のために電流の流れを必要とし、その結果、約140μWと、低い加熱電力が検出器に印加される結果、サーモパイル技術と比較して200倍も大きく、RTD検出器の自己加熱に寄与し、したがって寄生的にガス選択性を低下させる可能性がある。

【0179】

膜技術のデメリット

【0180】

・微細な穿孔膜110は、製造工程および長期の運転において破断する可能性があり、最適化された設計(例えば、図4、図5、図6A、図6B、または図6C)が好ましい。

【0181】

1.1.3 センサ原理(詳細は任意)

【0182】

図7は、熱センサ100(ここでは、ガスセンサを熱センサと呼ぶこともある)の基本原理を示す。明らかに見られるのは、分析されるべきガス混合物による熱結合を有するヒータ120とセンサ構造130、140(第1の温度センサ構造および第2の温度センサ構造は、ここでは、センサ構造、検出器構造、センサ、温度センサまたは検出器とも称されることがある)との間の空間的な分離;およびセンサ構造130、140による測定である。この場合、センサ構造130、140は、ヒータ120に対して異なる距離に配置されてもよいし、同じ距離に配置されてもよい。

【0183】

すなわち、図1は、被測定ガスを介してヒータ120と検出器130、140との間の熱輸送の経路122a、122bについてのセンサの基本原理を模式的に示した説明図である。

【0184】

・ヒータ120とセンサ130、140とは、媒体によって分離されている。

【0185】

ヒータ120とセンサ130、140とは、媒体中に別々に配置され、分析対象のガスによって囲まれている。例えば、ヒータ120から温度センサ130、140への熱流122a、122bは、ガス自体を介してのみ行われる。

【0186】

・複数の距離での測定

【0187】

例えば、熱輸送122a、122bは、ヒータ120から分析対象ガスへの未知の熱遷移122a₁、122b₁を介して、また、ガスからセンサ構造体130、140への未知の熱遷移122a₂、122b₂を介して行われる。2つの距離180₁、180₂で測定する場合、熱遷移122a₁、122b₁、122a₂、122b₂はほぼ同じである。両方のセンサ信号の差は、本質的に媒体自体による熱伝達に依存する。

【0188】

・同一距離での測定

【0189】

複数の距離を有する測定と類似して、この場合には、未知の熱遷移 $122a_1$ 、 $122b_1$ 、 $122a_2$ 、 $122b_2$ も存在する。非常に精密なガス分析もまた、2つのセンサ信号の和を評価することによって実行されてもよく、特定の状況下では、未知の熱遷移 $122a_1$ 、 $122b_1$ 、 $122a_2$ 、 $122b_2$ もまた、分析において考慮されてもよい。

【0190】

複数の距離で測定する場合には、和信号が代替として評価される場合があることに留意されたい。

【0191】

差信号の信号雑音距離が和信号よりも小さいため、差信号よりも和信号を評価することが好ましいことにも注目すべきである。

【0192】

任意で、差信号と和信号の商（これは一般的に標準化されている）を評価に用いてもよい。例えば、和信号のみを評価する場合や、差信号のみを評価する場合と同様に、測定効果をより強く強調することができる。

【0193】

・電気的アナロジー

【0194】

熱流を特定して推定するために、電気的なアナロジーが作成されている（例えば、図8を参照）。熱損失を最適化することは、例えば発熱体 120 を介して大きすぎる加熱電力を投入することなく、センサ 130 、 140 の感度を向上させるために不可欠な要素である。

【0195】

一実施形態によれば、図8は、図7のガスセンサ 100 の特徴および機能を備える。換言すれば、図8は、ガスセンサ 100 における熱輸送の概略図である。ヒータ 120 （温度 T_H ）からセンサ 130 、 140 （温度 T_S ）への熱輸送は、本質的に、測定されるガスを介して行われる。

【0196】

1.2 動作中のガスセンサの実施形態：組込みシステムでの信号生成と信号評価

【0197】

1.2.1 機能原理（詳細は任意）

【0198】

正弦波加熱パワー 122 では、センサ構造体を取り囲むガスの熱特性に強く依存するセンサ信号 210 、 220 （例えば、図9）の正弦波数列が存在する。ヒータ 120 に対して異なる距離 180_1 、 180_2 で2つの同一のセンサ 130 、 140 を用いてヒータ 120 の温度を測定することにより、測定配置における未知の熱遷移を排除または低減できる。

【0199】

評価では、放出された周期的な温度波と受信された周期的な温度波とが比較される（図9参照）。ヒータとセンサとの間の位相シフト 212 、 222 を介した信号 210 、 220 の較正は、例えばガスセンサを用いて、空気中の CO_2 含有量が $0.2\text{ vol\%}$ であることを解決するために使用されてもよい。ガスは圧縮され、圧力および温度を介してその密度を変化させてもよいので、対応するドリフトは補償されるべきである。

【0200】

図2は、 CO_2 と N_2 について比較して、正弦波加熱電力 122 での励起時の信号 210 、 220 を示している。同じ加熱電力 122 では、受信されたセンサ信号 210 、 220 は、それらの振幅、オフセット、および位相位置に関して異なる。一実施形態によれば、信号 210 、 220 は、ガスセンサの第1の感熱素子構造の信号と第2の感熱素子構造の信号との差分信号である。

【0201】

センサが提供する測定値をさらに評価することで、熱伝導率、熱拡散率、ガスの密度が

10

20

30

40

50

わかっている場合は比熱容量が決定され、未知のガス混合物を分析することができる。

【0202】

薄層膜と比較して、自己支持型ブリッジ構造の構造的な違いにより、ヒータと検出器素子間の寄生熱デカップリングがほとんど達成され、信号品質が大幅に向上する。ヒータの熱質量が小さいため、熱を素早く供給して放熱することができるため、300ヘルツまでの周波数での変調が可能である。

【0203】

・1.2.2 熱拡散率決定のための理論的考察（詳細は任意）

【0204】

正弦波加熱パワー122における熱拡散率を決定するために、伝搬する温度場を記述するために、[Baehr 2008]に従ったモデルが使用されてもよい。

10

【0205】

次の式は、一端に正弦波状の温度が印加されたロッドの長手方向軸xに沿った温度伝播（平均値 T_m 、振幅 T_A 、角周波数 ω ）の時間依存性（時間t）を記述している。

【0206】

$$T(x, t) = T_m + T_A \cdot \eta \cdot e^{-k_1 \cdot x} \cdot \sin(2\pi f \cdot t - (k_1 \cdot x + \epsilon)) \quad (1)$$

【0207】

ヒータから気体媒質中に入ると、温度場は位相シフト ϵ_0 と減衰 η_0 を経験する。

20

【0208】

$$\epsilon_0 = \arctan \frac{k}{1+k} \text{ and } \frac{1}{\eta_0} = \sqrt{1+2k+2k^2} \quad (2)$$

【0209】

媒体がかバーする経路xに依存して、温度場は位相シフトと減衰を経験する。パス依存値の変化の本質的な要因である k_1 は、[Baehr 2008]によると、熱拡散率a、角周波数 ω 、したがって励起周波数fに依存する。

【0210】

30

$$k_1 = \sqrt{\frac{\omega}{2 \cdot a}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot f}{a}} \quad (3)$$

【0211】

固体と気体の間の熱伝達の影響を考慮するための係数は、係数 k_1 、熱伝達係数 α 、熱伝導率 λ から得られる。

【0212】

$$k = \frac{k_1 \cdot \lambda}{\alpha} = \frac{b}{\alpha} \cdot \sqrt{\pi \cdot f} \quad \text{を熱貫流係数 } b \text{ とした場合} \quad b = \sqrt{\lambda \cdot c_p \cdot \rho} = \frac{\lambda}{\sqrt{\alpha}} \quad (4)$$

40

【0213】

上記のモデルに従って熱拡散率を決定するためには、位相シフトの評価を行えばよい。式（1）における位相シフトの総和は、次のようになる。

【0214】

$$\Delta\varphi = k_1 \cdot x + \epsilon_0 \quad (5)$$

【0215】

50

2つの異なる距離で2つの温度測定値を比較する場合、一定の熱遷移効果は互いに打ち消し合う。

【0216】

$$\Delta\varphi(x_2) - \Delta\varphi(x_1) = (k_1 \cdot x_2 + \epsilon) - (k_1 \cdot x_1 + \epsilon) \quad (6)$$

【0217】

差分 $\Delta\varphi_{12} = \Delta\varphi(x_2) - \Delta\varphi(x_1)$ と $\Delta x_{12} = x_2 - x_1$ とで簡略化して

$$\Delta\varphi_{12} = k_1 \cdot \Delta x_{12} \quad (7)$$

10

【0218】

かつ(3)を用いると、次のような結果が得られる。

$$\Delta\varphi_{12} = \sqrt{\frac{\pi \cdot f}{a}} \cdot \Delta x_{12} \quad (8)$$

【0219】

熱拡散率 a （円形測定の場合）については、以下のようになる。

20

$$a = \pi \cdot f \cdot \frac{\Delta x_{12}^2}{\Delta\varphi_{12}^2} \quad (9)$$

【0220】

位相シフトが度単位で利用できる場合、熱拡散率 a については次のようになる。

$$a = \frac{180^{\circ 2} \cdot f}{\pi} \cdot \frac{\Delta x_{12}^2}{\Delta\varphi_{12}^2} \quad (10)$$

30

【0221】

温度波は、励起と同じ角周波数で調和的に振動し、媒体中への浸透深さの増加に伴って急速に減衰し、強く減衰するが、位相シフトは増加する。媒体への浸透深さと波長は、発振時間と媒体の熱拡散率の増加に伴って増加する。位相角が 2π ずつ異なる2つの測定点 x_1 、 x_2 間の距離から生じる温度振動の波長 Λ を考慮すると、媒体中への進入点 $x = 0$ で温度振幅が n 番目の値まで低下した温度波の浸透深さが導出されることがある。以下のようになる。

【0222】

40

$$\text{次から } e^{-2\pi x_n/\Lambda} = 1/n, \quad \text{次が適用される。} \quad x_n = \frac{\Lambda}{2\pi} \cdot \ln n = \sqrt{\frac{a}{\pi \cdot f}} \ln n \quad (4)$$

【0223】

このように、振幅の減衰は媒体の熱拡散率を表す指標でもある。

【0224】

・1.2.3 熱伝導率を決定するための理論的考察（詳細は任意）

【0225】

50

媒体の熱伝導率 λ は、測定空間内の平均温度分布で表される。平均ヒータ温度と測定空間の体積内のガスの種類及び／又は混合物の濃度に依存して、平均温度が温度検出器で生じ、前記平均温度は、ヒータから検出器を介してガス状媒体を通して筐体の壁に流れる熱流に比例している。ヒータの温度と検出器の温度は、熱伝導率を決定するために知られていなければならない、例えば、適切な較正を用いて、必要な平均加熱エネルギーが熱伝導率の尺度として決定される場合には、検出器（好ましくは、ヒータに近い検出器）を一定の温度（オーバー）に制御することで十分である。

【0226】

[Simon 2002]および[Baar 2001]によると、気体の熱伝導率を測定するための基本的な原理は、気体中に自立したヒーターエレメント（例えば、ホットワイヤや「ホットプレート」）を用いて、流れのない測定空間に周囲温度を超える過温度を発生させることである。このオーバー温度 ΔT を維持するために必要な加熱電力は、熱伝導率 λ の直接の尺度であり、以下の関係で記述することができる。

【0227】

$$P = \lambda \cdot \Delta T \cdot G \quad (5)$$

【0228】

ここで G は配置の幾何学的定数を表す。対流熱流は測定誤差をもたらすので、正しい測定のための条件は、測定空間内の静止したガス、例えばデッドボリューム内や拡散障壁の背後にあることである[Baar 2001]。これらの測定誤差は文献で議論されており、対流熱流の存在下で熱伝導率を測定する可能性のある方法も提案されている[IST AG 2011, 2013, 2015]。さらに、ヒータの周期的な励起を有する方法が知られており、これは、二元ガス混合物の濃度だけでなく、フーリエ分析によって複数の成分の混合物を決定してもよい[Grien 2012]。

【0229】

1.2.4 本願発明のガスセンサの組み込みマイコン、電子システムおよびソフトウェア（詳細は任意）

【0230】

本願発明の電子システムおよび信号評価の目的は、例えば、できるだけ安価な小型化されたシステムで、ガス濃度に直接依存する信頼性の高い測定結果を生成することである。さらに、本願発明のガスセンサは、空気混合物中の炭素濃度が非常に動的に変化する可能性がある呼吸ガスモニタにおいて使用可能であることが望ましい。したがって、本願発明のガスセンサは、1分間に60ストロークの速度まで、吸気および呼気の呼吸サイクルにおけるガス組成の変化を解決することができるはずである。したがって、センサ信号の高速評価が望ましい。

【0231】

1.2.4.1 ハードウェア

【0232】

1.2.4.1.1 実施例。本願発明のガスセンサのヒータ制御（形態3に従った実施形態、詳細は任意）

【0233】

図10は、本願発明の一実施形態による熱ガスセンサのヒータ制御の電気回路図である。例えば、CPUは、ヒータ電圧の下限値と上限値を指定し、この2つの値の間でタイマを制御的に往復させて切り替える。また、CPUは、加熱電力を算出するために、ある時点での現在の加熱電流を測定してもよい。すなわち、図10は、電圧指定と電流測定を行うヒータ供給装置を例示したものである。

【0234】

正弦波ヒータ励起の例を用いた熱輸送現象への減衰振動のための原理の伝達における上

10

20

30

40

50

記の理論的に考慮された類推とは対照的に、（例えば）開発されたマイクロコントローラ電子システム上に方形波信号が生成される。プロセッサ内のタイマ構造により、この信号は、そのデジタル／アナログ（D A）ポート上のプロセッサによって出力される合成正弦波信号よりもはるかに正確に生成される可能性がある。

【0235】

例えば、2個のヒータ電圧がD Aコンバータを介して指定される。これは、D AコンバータがS P Iを介して制御され、新しいD A値が採用される時点が、選択されたプロセッサコンポーネント（C P U）で正確に決定されない可能性があることに起因する。しかしながら、これは、センサ応答の位相位置を決定することができるようにするための前提条件である。したがって、例えば、2つの電圧のうちの1つがアナログスイッチを介して交互にヒータアンプに印加される。急峻なスイッチングエッジがシステム内でより少なく伝播するように、例えば、下流のローパスフィルタによって平滑化される。オペアンプ（O P）回路は、電圧をヒータによって必要とされる電圧レベルに上昇する。例えば、電流測定抵抗器での電圧降下をさらにO Pで補償する。電流が測定され、ヒータ電圧が分かっているので、ヒータ電力を計算することができる。ヒータ抵抗は温度によって変化することがあるので、これは重要である。

【0236】

例えば、ヒータのデューティサイクルが50%であってもよい（ここでは、例えば、デューティサイクルが50%+/-2%の周期的な方形波信号がヒータに印加される）。

【0237】

代替的に、より短いデューティサイクルが、例えば、5～50%の範囲で使用されてもよい。

【0238】

正弦波（ $U_{pp}/2$ でオフセットされ、両方とも正の範囲の半波）と矩形波の間で同じ電力を得るためには、「等価な」矩形波信号または同じ電力の矩形波信号には、42%のデューティサイクルが必要である。

【0239】

いくつかの実施形態では、デューティサイクルを制御することによってヒータの電力を適応させることは実現されていない。 - これはMSP430ではより困難であるが、より強力なマイクロコントローラを使用する場合には興味深いことである：固定の動作電圧を使用することができ、デューティサイクルを変更することができる（PWM制御の一種）。

【0240】

すなわち、任意に、デューティサイクルを変更することにより、（平均）ヒータ電力を設定することができる。あるいは、（ヒータに印加される電圧の）電圧レベル、（ヒータまたは発熱体に流れる電流の）電流レベルを変化させることにより、ヒータ電力を設定してもよい。また、2つのオプションを組み合わせてもよい。

【0241】

1.2.4.1.2 例。ガスセンサの検出器信号評価（詳細は任意）

【0242】

図11は、本願発明の一実施形態による熱ガスセンサの検出器信号評価の電気回路図である。この場合、ガスセンサの第1の感熱素子構造および第2の感熱素子構造は、それぞれの検出器信号（例えば、第1の感熱素子構造または第2の感熱素子構造によって検出され、ここではセンサ信号と呼ぶこともある）において、ガスセンサの発熱体から分析対象のガスを介して第1の感熱素子構造および第2の感熱素子構造に伝達された熱を評価するために、図11に図示された検出器信号評価を構成してもよい。一実施形態によれば、図11は、第1のセンサ（第1の感熱素子構造）の検出器信号評価を説明する図である。この場合、検出器信号評価は、例えば、C P U（拡大鏡機能）からD A C信号C O 2 _ S 1 _ W i nなどの第1の入力信号と、検出器信号C O 2 _ S e n s o r 1などの第2の入力信号とを受信し、増幅された検出器信号C O 2 _ S 1 _ a nなどの第1の出力信号と、位相評価C O 2 _ S 1 _ d i gなどのコンパレータ信号などの第2の出力信号とを提供する

10

20

30

40

50

ように構成されている。

【0243】

一実施形態によれば、CPUは、センサ信号の振幅がADC範囲内に留まるようにヒータを制御する。例えば、センサ信号は、拡大鏡機能を介してADC境界内に保持される。例えば、位相評価は、MSP430のタイマ構造（時間構造）を使用してコンパレータを介して行われる。

【0244】

センサワイヤ（例えば、感熱素子構造のもの）の抵抗変化は非常に小さい。このため、高い増幅率を有する増幅器が好ましいか、または必要とされる。入力電圧（センサ信号など）の絶対値は多くの要因に依存するため、この値を補償することが推奨される。

10

【0245】

一つの可能性としては、交流（AC）アンプを使用することが考えられる。欠点は、未知の位相シフトが発生することである。

【0246】

したがって、例えば、位相シフトのない直流（DC）増幅器が使用されている。信号の直流成分を補償するために、一実施形態では、オペアンプ（OP）の差動入力において、負の入力端子が検出器信号の平均値まで上昇し、ソフトウェアコントローラによって能動的に追跡され、プロセッサのデジタル・アナログ変換器（DAC）がこの電圧を直接出力する。OPにおける差動入力の差動動作により、入力電圧のDC成分は互いに減算され、信号のAC成分のみが増幅される。このため、ある形態では、アナログからデジタルに変換された（ADC）信号が測定され、それがADCによって検出される可能性のある合理的な境界内にあるかどうかの検査が行われる。信号がOPの上限または下限電圧限界に該当する場合、DAC値はそれに応じて適応される。これにより、増幅された信号が最適な動作範囲または動作窓に連続的に保持される増幅器が得られ、ここでOPでの増幅率は、一種の「拡大鏡機能」であるDC成分を除去することによって増大されてもよい。補償のために必要なDAC値は、評価のためのさらなるパラメータとして使用されてもよく、これにより、絶対平均温度が決定されてもよく、ガス混合物の熱伝導率は、式（5）からの関係を介して決定されてもよい。

20

【0247】

センサ信号の位相位置を決定するために、例えばシュミットトリガを使用した。これは、センサ信号のゼロクロスのすぐ上または下で切り替わるように設定されている。ここでは、信号が最も急峻であるため、最小の位相ノイズが発生する。例えば、DC成分はコンデンサを介して除去される。これにより、センサ応答の位相決定が可能になる。

30

【0248】

プロセッサ（MSP430、テキサス・インスツルメンツ）の内部タイマ構造を利用することで、 0.009° の理論的な位相分解能が可能となる。しかしながら、これは回路のノイズのために達成されない。

【0249】

1.2.4.2 実施例。ガスセンサのためのソフトウェア（詳細は任意、形態3と4の機能は一緒に記載されているが、別々に使用することがきる）

40

【0250】

例えば、ソフトウェアには異なるタスクがある。

【0251】

- ・ ヒータ電圧の開始値、センサ信号のサンプリング時間、直流動作点（拡大鏡機能）の開始値を設定する。

- ・ 最初は、例えば直流動作点を求めようとする。このために、2つのセンサのDAC値は、センサ信号が例えばADCの範囲内で中心となるように設定される。

- ・ ある時点でのセンサ電圧を測定する。振幅を決定するために、想定される最大値および最小値で電圧を検出する。サンプリング時間が誤って選択されたことを認識するために、想定される「ゼロクロス」で別の測定が行われる。サンプリング時間が正しい場合、例えば以下ようになる。

$$\frac{U_{max} + U_{min}}{2} = U_0$$

サンプリング時間が正しくない場合、上記の式はもはや正しくない。例えば、ソフトウェアは、このことから、サンプリング時間を適合しなければならないことを認識してもよい。例えば、再調整は、ソフトウェアを介して無効化されてもよい。それは、信号がADCの境界内にある場合にのみ実行される。

- ・ 振幅コントローラがアクティブである場合、例えば、センサ1の信号の振幅を特定の目標値に維持する試みが行われる。例えば、S1の振幅がADCの範囲を少なくとも3/4だけ埋めるように、ヒータのエネルギーが調整される。コントローラは、任意で、ソフトウェアを介してスイッチオフされてもよい。さらに、例えば、サンプリング時間またはDCオフセットが変更されていない場合にのみアクティブである。これは、任意で、この制御ループが定常状態でのみアクティブであることを保証する。

- ・ シュミットトリガ回路の助けを借りてセンサ信号の位相位置を決定する（任意）。設定に応じて、次のサンプリング期間のセンサ信号の3回のサンプリング時間の計算もここで行われる。

【0252】

1.2.4.3 例。ガスセンサ用ソフトウェアコントローラ（詳細はオプション）

【0253】

図12は、本願発明の実施形態による熱ガスセンサ用ソフトウェアのインターリーブコントローラの概略説明図である。

【0254】

複数のインターリーブされたコントローラがソフトウェアで動作する。一番内側のものはDC動作点コントローラである。例えば、定常状態にある場合にのみ（DCオフセットを適応させる必要はなかった）、サンプリング時間のトラッキングが行われる。振幅制御ループでは、例えば、S1の振幅は一定に保たれるが、例えば、DCオフセットおよびサンプリング時間を適応させる必要がなかった場合にのみである。外部制御ループでは、S1の振幅を調整するために必要な加熱エネルギーは、熱システムが特定のガス混合物の大きな帯域幅に動的に適応するように（任意に）調整されてもよい。

【0255】

振幅を決定するためには、例えば、センサワイヤ1本あたり3個のA/Dサンプルが必要である：下側のピークで最小、ゼロクロス、上側のピークで最大。例えば、次のような処理を行う。

【0256】

- ・ 例えば、全てのAD値が現在の設定で初期測定される。
- ・ ここで、例えば、S1とS2の最小/最大A/D値が有効範囲内にあるかどうかの検

10

20

30

40

50

査が行われる。もしそうでない場合は、アンプの D C 動作点が再調整され（D A C を介して）、それ以降の全てのコントローラは一時的にオフになる。両方のセンサーチャンネルが許容動作範囲内（ $A/D_{max} < 3900$ 、または $A/D_{min} > 200$ 、すなわち 4096 桁の A/D レンジの 5～95% の範囲）にある場合にのみ、それ以上のコントローラが再びアクティブになる。

- ・ 振幅の正確な測定を確実にするために、A/D 変換は正しい時間（上/下のピーク、検証のためのゼロクロス）で行われなければならない。現在、例えば、これを行うには 2 つの方法がある。

- A/D 変換自体を介して：ゼロクロスの時間は、A/D 値の最小ピークと最大ピークの 2 つの測定時間の間の半分の時間で予想され、すなわち、 $(\min + \max)/2$ は、ゼロクロスでの A/D 値に対応していることが望ましい。偏差の場合、次の測定のためのサンプリング時間が適応される。例えば、約 0.625° （度）または $14.47 \mu s$ の偏差が許容される。

- コンパレータ信号を介して：コンパレータはセンサ信号のゼロクロス時に切り替わるので、例えば、A/D 測定を実施する時間を決定することができる：正エッジの切り替わり時間の測定値で、 90° （または上側のピークは $2.0833 ms$ ）、 180° （負エッジのゼロクロスは $4.1666 ms$ ）、 270° （下側のピークは $6.2499 ms$ ）が加算される。ここでは、 0.625° の偏差も許容される。

- ・ 例えば、両方のコントローラ（DC 動作点と位相）が制御値の変更を必要とせず、したがって定常状態にあった場合にのみ、振幅コントローラが効果を発揮する。それは、所望の振幅 S 1 が達成されるようにヒータの値を再調整する。

【0257】

図 3 A は、本願発明の実施形態による 2 つの検出器増幅器の直流動作点の制御およびトラッキングを説明するブロック図である。

【0258】

図 4 は、検出器信号と振幅コントローラ S 1 の振幅測定のためのサンプリング時間のトラッキングを説明するブロック図である。全てのコントローラがチューニングされている場合、例えば、ガス混合物は、検出器の振幅および位相の測定値を用いて評価される。

【0259】

一実施形態によれば、図 13 A および図 13 B は、図 13 B が「サンプリング時間を追跡する」というブロックを介して図 13 A に接続された 1 つのブロック図とみなすことができる。

【0260】

1.2.4.4 例。ガスセンサのタイミング表（詳細は任意）

【0261】

例えば、マイクロコントローラのアナログ・デジタル変換器がヒータの消費電流と検出器電圧（センサ信号の例）を測定する A D C 測定時間は、2 つのヒータパルス期間にまたがって延びるソフトウェアのタイミングテーブルで定義される。一実施形態によれば、可変 A D C 制御に使用されるプロセッサ上では 1 つのタイマしか利用できないので、例えば、これらの 2 つの期間が必要とされる。ヒータが $120 Hz$ で運転される場合、ガス混合物の評価に関連するすべての測定値は、2 期間後、すなわち $60 Hz$ の周波数で得られる。ヒータのパルス形状は期間にわたって安定しているので、入力ヒータ電流は固定時間で測定することができる。ピーク値の場合は 45° で、低熱電流値（一般的にはゼロ）の場合は 170° で測定する。検出器あたりのそれぞれの 3 つの A D C 測定値（上側と下側のピーク、およびゼロクロス）は、タイミングテーブルで定義された時間窓内の可変測定値として期待される。

【0262】

- ・ ADC__SENSOR1.

- CO2-S1-min: $33.6^\circ \dots 123.6^\circ$ ($778 \mu s \dots 2861 \mu s$)

- CO2-S1-Null. $123.6^\circ \dots 213.6^\circ$ ($2861 \mu s \dots 4944 \mu s$)

- CO2-S1-max: $213.6^\circ \dots 303.6^\circ$ ($4944 \mu s \dots 7028 \mu s$)

- ADC__SENSOR2.

- o CO2-S2-min : 68.6 ° -141.4 ° (1588 μs .. 3273 μs)
- o CO2-S2-Null. 158.6 ° -231.4 ° (3671 μs .. 5356 μs)
- o CO2-S2-max : 248.6 ° .. 321.4 ° (5755 μs .. 7440 μs)

【0263】

1.3 実施例。ガスセンサのガス圧力およびガス温度のドリフト補正（例えば、形態2に準拠したもの；詳細は任意）を伴うガス混合物に関する較正のための評価アルゴリズム

【0264】

1.3.1 混合ガス中の測定

【0265】

1.3.1.1 二元混合

【0266】

図14は、例示的に、一定温度、一定圧力での位相信号におけるセンサのCO₂依存性を示している。ここでは、例えば、3つの位相シフトが図示されている；200 μmの距離を有するヒータと検出器1との間の位相差D1-Hz.dPhi（赤）、300 μmの距離を有するヒータと検出器2との間の位相差D2-Hz.dPhi（青）、および検出器2と検出器1との間の位相差D2-D1.dPhi（緑、右y軸）が図示されている。一実施形態によれば、図14は、圧力p = 1010 mbar、温度T_{amp} = 24 °C、周波数f = 120 Hzでの加熱電力P = (15 ± 12.5) mWでの空気中のCO₂の(0...5) vol%に対する位相シフトヒータ検出器を示す。

【0267】

図15は、検出器D1およびD2における例示的に測定された振幅、およびヒータ振幅に対して相対的に形成された振幅の和信号を、センサのCO₂依存性について図示している。ここでは、例えば、検出器1における振幅D1.Uss（赤）と、検出器2における振幅D2.Uss（青）が図示されている。例えば、CO₂濃度の増加時、すなわち混合ガス中の熱拡散率の増加時には、2つの振幅信号は落ち込む。ヒータ振幅と検出器振幅の和の差を形成することにより、相対振幅信号sigUss = 2*Hz.Uss - (D1.Uss + D2.Uss)（緑色、右y軸）は、例えば、ガス混合物中のCO₂濃度の増加に伴って増加する。一実施形態によれば、図15は、圧力p = 1010 mbar、温度T_{amp} = 24 °C、周波数f = 120 Hzでの加熱電力P = (15 ± 12.5) mWでの空気中のCO₂の(0...5) vol%に対する検出器の振幅を示す。

【0268】

1.3.1.2 圧力依存性

【0269】

センサ信号は圧力と温度に強く依存することがある。従って、ガス特性を正しく決定するためには、交差効果を知り、アルゴリズムによって補正する必要がある。例えば、図16は、空気中のセンサ信号の絶対圧力に対する、および異なる温度に対する交差感度を例示している。例示的に図示されるのは、周波数f = 120 Hzの加熱電力P = (15 ± 12, 5) mWでの空気中の異なる温度T_{amp} = (18...28) °Cにおける圧力p = (910...1110) mbarに対する空気中の検出器D2-D1間（例えば、第1の感熱素子構造D1と第2の感熱素子構造D2との間）の位相シフトD2-D1の交差感度である。

【0270】

圧力の影響は直線的な関係を示し、温度の影響は理論的に計算されたように二乗関係を示す。いずれの交差感度もガス濃度の信号の大きさのオーダーである。

【0271】

1.3.1.3 加熱電力と周波数依存性

【0272】

図17Aは、CO₂の測定における周波数を横切る位相についてのセンサ信号の説明図である。換言すれば、図17Aは、100% CO₂における周波数の関数としての位相シフト

10

20

30

40

50

を示す図である。位相は飽和状態に入る。

【0273】

図17Bは、CO₂における測定における周波数を横切る振幅のセンサ信号の説明図である。換言すれば、図17Bは、周波数の関数としての100%CO₂における振幅をしめす図である。振幅はゼロに向かって減少する。

【0274】

空気と比較して、システムがそのA/Dレンジを超えないように、燃料ガスの測定では加熱電力を低減する必要がある。加熱電力の変動は、サンプルガスが熱的影響を受けにくい加熱電力を最小に設定する場合と比較して、可能な限り最大のセンサ振幅でシステムを動作させ、より安定した信号を得ることが実際には理にかなっていることを示すが、信号対雑音距離も減少する。センサに周期的に導入される加熱エネルギーは、例えば、連続的に加熱されないように、この期間内に試料体積から離れることができるものでなければならない。例えば、3つの測定系において、120Hzで約26mWのピーク加熱電力が規定されている。

【0275】

センサの動作は1次の理想的なローパスフィルタを構成しており、センサ信号には倍音のスペクトル成分は存在しない。この理由から、周波数スペクトルを積極的に掃引しても付加的な情報は得られない。このため、センサを固定周波数で動作させることにした。このシステムのための電子機器に関する労力を削減することができ、確保された値が得られるまでの必要な測定時間を大幅に短縮することができる（すべて任意）。

【0276】

ヒータでの励起周波数が高いほど、センサ自体の熱質量が固体とガスとの間の伝達速度を制限するので、ガスを介してヒータと検出器との間で伝達されるエネルギーが少なくなる可能性がある。振幅は、ゼロに向かって消えていく信号までの周波数の増加とともに減少し（図17B参照）、位相シフトは、それ自体が最大に飽和する（図17A参照）。

【0277】

異なるガス混合物に対する位相分解能、位相差、及び振幅を最適化することで、例えば、マイクロセンサワイヤでは26mWの加熱電力で120Hz、薄層膜上のMEMSサーモパイルセンサでは約8mWで160Hzの周波数で最適な位相応答を得ることができた（詳細は任意）。

【0278】

1.3.1.4 燃料ガス混合物

【0279】

測定ステーションで異なるガス組成を調べた。図18は、窒素添加量の増加に伴うメタン用センサの位相信号の変化をほぼ直線的な挙動として示したものである。例えば、図示されているのは、200μmの距離を有するヒータと検出器1との間の位相差D1-Hz・dPhi（赤）、300μmの距離を有するヒータと検出器2との間の位相差D2-Hz・dPhi（青）、および検出器2と検出器1との間の位相シフトD2+D1・dPhi（緑、右y軸）としての、メタン中の窒素濃度の関数としての位相信号である。ここで、実施形態によれば、図18において、圧力p=990mbar、温度T_{amp}=21°C、周波数f=120Hzでの加熱電力P=(13±12, 5)mWでのメタン中のN₂の(0...30)vol%について、ヒータ-検出器間の位相シフトが図示されている。

【0280】

10

20

30

40

50

図19は、第1の検出器によって検出された振幅D1.Uss（赤色）と、第2の検出器によって検出された振幅D2.Uss（青色）を示す図である。ここで、一実施形態によれば、図19において、圧力 $p = 990 \text{ mbar}$ 、温度 $T_{\text{amp}} = 21^\circ\text{C}$ 、加熱電力 $P = (13 \pm 12, 5) \text{ mW}$ 、周波数 $f = 120 \text{ Hz}$ でのメタン中の N_2 の $(0 \dots 30) \text{ vol\%}$ についての検出器の振幅を例示している。両方の振幅信号D1.Uss、D2.Ussは、メタン中の N_2 濃度の増加に伴って、すなわち、例えば、混合ガス中の熱拡散率を低下させた場合には、立ち下がる。ヒータ振幅と検出器振幅の和との差を形成することにより、相対振幅信号 $\text{sigUss} = 2 \cdot \text{Hz.Uss} - (\text{D1.Uss} + \text{D2.Uss})$ （緑色、右Y軸）は、例えば、 N_2 濃度の増加に伴って増加する。

10

【0281】

図20は、異なる燃料ガスの混合ガスについて、位相と振幅から算出されたセンサ信号 sigX （ガスセンサの合成信号の一例）を示す図である。このように、図20は、異なる燃料ガスとその混合物であるメタン、エタン、プロパン、およびその混合物であるメタン95-エタン05、メタン93-エタン05- CO_2 02、メタン91-エタン05- CO_2 04、メタン91-エタン05- CO_2 02-プロパン02、メタン90-エタン10および天然ガス-L（2桁の数字は、ガス成分の体積%での割合を示す）のセンサ信号（ガスセンサの合成信号の一例）を示している。メタン、エタンおよびプロパンは、互いに大きく異なるが、メタン混合物もまた、 $2 \text{ vol\%} \sim 10 \text{ vol\%}$ の異なるガスの成分で互いに異なる。一実施形態によれば、図20は、圧力 $p = 1001 \text{ mbar}$ 、温度 $T_{\text{amp}} = 26^\circ\text{C}$ 、周波数 $f = 120 \text{ Hz}$ での加熱電力 $P = (13 \pm 12.5) \text{ mW}$ での異なる燃料ガスについてのセンサ信号を示す。

20

【0282】

1.3.1.5 混合ガス中の測定結果から得られた知見

【0283】

センサ信号は、強い圧力と温度の依存性を示す。標準条件へのトレーサビリティと表からの比較で既知の混合物のガス特性を正しく決定するためには、そのために交差影響が既知であり、例えば補正されていなければならない。圧力の影響は線形関係を示し、温度の影響は二乗関係を示す。両方の交差感度は、ガス濃度の信号の大きさのオーダーである。

30

【0284】

1.3.2 実施例。ガスセンサのガス圧力とガス温度に対するドリフト補正を伴う混合ガスの較正方法（例：形態2による、詳細は任意）。

【0285】

1.3.2.1 位相と振幅の和信号（例）

【0286】

位相／振幅測定の組み合わせは、特に安定したセンサ信号（合成信号）であることが示されている。例えば、両方の信号は、別々の定数の助けを借りて重み付けされ、加算され、したがって、例えば、単一のセンサ信号を形成するために結合される。

【0287】

40

$$\text{sigX} = \text{sigUss} * Ka + \text{sigPhi} * Kp \quad (6)$$

【0288】

ここで、 sigX は計算された和信号を表し、 sigUss は相対振幅信号を表し、 sigPhi は両検出器の加算された位相信号を表す。係数 Ka および Kp は、両方の部分信号が乗算される定数である。例えば、振幅信号を mV に換算すると、 $Ka = 1 / 3500$ 、位相信号を度数に換算すると、例えば、 CO_2 の $30 \text{ vol\%}$ までの CO_2 空気混合物では、 $Kp = 1 / 276$ となる。

【0289】

50

例えば、加算位相信号 $sigPhi$ は、ヒータインパルスの増加エッジと検出器における増加エッジとの間のランタイムに対する2つの位相差の和から形成される。例えば、以下になる。

【0290】

$$sigPhi = (D1 - Hz).phi + (D2 - Hz).phi \quad (7)$$

【0291】

ここで、 $(D1 - Hz).phi$ および $(D2 - Hz).phi$ は、ヒータと検出器との間の位相差を構成するためのものである。

【0292】

図14に示すように、 CO_2 濃度が高くなるほど、すなわち熱拡散率が高くなるほど、ヒータと検出器の位相差は大きくなるが、検出器での2つの振幅は熱拡散率が高くなるほど小さくなる(図15)。

【0293】

例えば、ヒータの振幅と検出器の振幅の和との差が形成されることにより、ガス混合物中の CO_2 含有量が増加すると、相対振幅信号が増加する。

【0294】

$$sigUss = 2 * Hz.Uss - (D1.Uss + D2.Uss) \quad (8)$$

【0295】

例えば、位相と振幅から計算される信号 $sigX$ は、例えば CO_2 の(0..6)vol%に対して(1.7..2.0)の間の範囲にある。装置(例えばガスセンサ)は、(16..28)°Cの間の温度範囲で、(900..1200)mbarの間の気圧場で測定された。

【0296】

1.3.2.2 多項式補正によるドリフト補正(詳細は任意)

【0297】

既知のガス混合物にセンサを校正する場合、測定値からガス濃度を推測できるように、センサ信号の圧力と温度の強い依存性を補償する必要がある。

【0298】

例えば、ガス濃度($CO_2[vol\%]$)、センサ信号 $sigX$ (位相と振幅の和信号)、圧力ドリフト、温度ドリフトからなる4次元のベクトル場(行列)となる。図21の図において、ガス濃度と温度信号の依存性を示す個々のグラフは、それぞれ一定の周囲圧力または一定の温度を表すものであり、互いに平行にずれていることがわかる。平行にシフトされたすべての特性曲線から平均グラフを形成すると、平均温度と平均圧力についての信号の正規化された関係が得られる(図21の赤線230a参照)。

【0299】

図21は、圧力範囲が(900..1200)mbar、温度範囲が(16..28)°Cの場合の、窒素中の CO_2 のガス濃度を(0..5)vol%変化させた場合の測定データのマトリクスを示す。圧力依存性多項式関数の助けを借りて、較正曲線の緑の線230bは、現在の動作圧力に向かってシフトさせることができる。赤線230aは、すべての青線230₁から230₁₆の平均に対応し、平均温度と平均圧力に正規化されたガス濃度のセンサ信号の特性曲線である。

【0300】

測定された変動からのセンサ信号 $sigX$ の特性曲線を、各温度と圧力を横切る平均ガス濃度(図22参照)に適用してプロットすると、同様に、互いに平行にシフトした直線の曲線の集合が得られる。圧力が高く、冷たいガス、すなわちガス分子が互いに接近している場合には、センサ信号は高くなり、圧力が低く、暖かいガスの場合には、センサ信号 $sigX$ は低くなる。

【0301】

10

20

30

40

50

このように、図 2 2 は、平均固定ガス濃度に対するセンサ信号 sigX の圧力依存性を、異なる温度の曲線の集合で示している。最も低い線 2 3 0₁ は、変動の中で最も高い温度 2 8℃での関係を記述し、最も高い線 2 3 0₇ は、1 6℃での信号の圧力依存性を示す。

【0 3 0 2】

固定平均センサ信号に対して、図 2 2 の平行な一組の線に、当該水平線が一組の曲線の全ての線と交差するような水平線を入れると、図 2 3 のガス圧とガス温度との関係が得られる。

【0 3 0 3】

図 2 3 は、ガス圧力とガス温度との関係（平均ガス濃度と平均センサ信号 sigX の場合）を示している。

【0 3 0 4】

1.3.2.3 回帰定数の決定（詳細は任意）

【0 3 0 5】

ガスセンサを特定のガス混合物に較正する場合、変動マトリクスから上述の関係を介して連続して回帰が形成される。回帰レベル A は、校正基準のガス濃度とセンサ信号 sigX との間の関係を記述する。圧力および温度ごとの個々の曲線は、それぞれ次の形式に従って二乗回帰で近似される： $y = A.c0 + A.c1 \cdot \text{sigX} + A.c2 \cdot \text{sigX}^2$ 。すべての曲線の増加はほぼ一定であり、二乗係数 $c2$ はゼロに向かって行くので、係数 $A.c0$ 、 $A.c1$ および $A.c2$ についてのすべての値から平均値が形成され、図 2 1 に赤で図示された中心特性曲線 2 3 0_a は、測定値の変動 2 3 0₁ ~ 2 3 0₁₆ の全体にわたって得られる。これは、圧力のドリフトの影響に応じて x 軸上でシフトされなければならない。圧力に依存する $\text{sigX}_0 = f(p)$ のために、関連するオフセット $A.c0$ が求められ、これは回帰平面 A の方程式に挿入される。

【0 3 0 6】

回帰平面 B はセンサ信号 sigX の圧力ドリフトを記述している。オフセット $A.c0$ は、圧力ドリフト $A.c0 = \text{sigX}.y0 + B.c1 \cdot \text{pressure}.x0 + B.c2 \cdot \text{pressure}.x0^2$ の関数として再び計算される。 $\text{sigX}.y0 = 0$ の場合、式は次のように単純化される。 $A.c0 = (B.c1 \cdot \text{pressure}.x0 + B.c2 \cdot \text{pressure}.x0^2)$ 。(現在の)圧力依存多項式係数 $A.c0 = f(p)$ は、例えば、平面 A の回帰方程式(代入)で置き換えられる。

【0 3 0 7】

例えば、回帰平面 A の多項式の圧力依存性オフセットの決定値は、オフセットと増加との角度関係の余弦関係から計算される。 $A.c1 = A.c0 / \text{sigX}_0$; $\text{sigX}_0 = f(p)$ および $A.c0 = (-1) \cdot \text{sigX} \cdot A.c1$ 。高次の多項式では、曲線の 1 次微分が形成され、そこから基準点の傾きが計算される。

【0 3 0 8】

10

20

30

40

50

回帰平面		多項式係数			決定係数	前の面を参照 (変動の中心)
		c0	c1	c2		
A	信号対CO2比	-266.153759	144.315423	0	0.999258	0
B	圧力対信号シフト	0.94394	0.001017	-1.50E-07	0.999929	1.843335
C	温度対圧力シフト	884.519093	7.844777	-0.023415	0.9983	1050

表1：3つの回帰平面の多項式係数（例）

【0309】

1.3.2.4 CO2 値への信号変換（例：詳細は任意）

【0310】

例えば、回帰面 A の多項式から算出したガス濃度の値を圧力と温度のドリフトで補正する。

【0311】

$$CO_2[vol\%] = A.y(sigX) \cdot \left(1 - \left[\frac{B.y(p) - B.ref}{sigX - B.ref} \right] \cdot \left(1 - \left[\frac{C.y(T) - C.ref}{p - C.ref} \right] \right) \right) \quad (9)$$

【0312】

ここで、A.y(sigX)、B.y(p)、およびC.y(T)は、測定信号、ガス圧力、およびガス温度のそれぞれの全多項式に対応する。

【0313】

この式に変動範囲の幾何学的中心を構成する固定参照を挿入し、それに応じて多項式を分解すると、次のような式が得られる。B.ref = B.y(c.ref) とすると、次のようになる。

【0314】

$$CO_2[vol\%] = A.y(sigX) \cdot \left(1 - \left[\frac{B.c1 \cdot (p - C.ref) + B.c2 \cdot (p^2 - C.ref^2)}{sigX - B.y(C.ref)} \right] \cdot \left(1 - \left[\frac{C.y(T) - C.ref}{p - C.ref} \right] \right) \right) \quad (10)$$

【0315】

C.ref=1050mbarを挿入した場合、以下のようになる。

【0316】

$$CO_2[vol\%] = A.y(sigX) \cdot \left(1 - \left[\frac{B.c1 \cdot (p - 1050) + B.c2 \cdot (p^2 - 1050^2)}{sigX - B.y(1050)} \right] \cdot \left(1 - \left[\frac{C.y(T) - 1050}{p - 1050} \right] \right) \right) \quad (11)$$

【0317】

図24は、形成されたセンサ信号sigXから圧力と温度の影響を考慮してガス濃度を決定する処理の一例を示す概略ブロック図である。すなわち、図24は、圧力及び温度の影響を考慮して、振幅及び位相からセンサ信号sigXを形成するとともに、形成されたセンサ信号sigXからガス濃度を決定する処理（一例）を模式的に示す説明図である。

【0318】

既知の混合ガスの濃度に対するセンサ信号の較正の他に、混合ガスの熱拡散率aを直接

10

20

30

40

50

決定することも可能である。図 25 では、理論的に計算された熱拡散率がセンサ信号 s_{igX} に対してプロットされている。すなわち、図 25 は、窒素 N_2 中の二酸化炭素 CO_2 の混合ガス中で、一定圧力、一定温度でのセンサ信号 s_{igX} に対する熱拡散率を示している。熱拡散率 240_1 (赤線) は、二酸化炭素濃度 240_2 (緑線) の増加に伴って低下する。

【0319】

このように、物理ガス特性を測定するための熱ガスセンサの設計および評価が本明細書に記載されている。本願発明では、以下のことが提案されている（形態は互いに独立しており、組み合わせて使用することができる）。

【0320】

- ・ SOI 基板上の MEMS ワイヤセンサと薄層膜上のサーモパイルセンサの 2 つの技術バリエーションに基づくセンサ設計
- ・ ガスセンサの動作：組み込みシステムでの信号生成と信号評価
- ・ ガス圧力とガス温度に対するドリフト補正を伴う混合ガスの較正のための評価アルゴリズム

【0321】

1.4 市場-可能な応用分野（任意で）

【0322】

呼吸の医療技術における

【0323】

天然ガス分析における-熱量の決定

【0324】

今日の市場には、患者の換気のための様々なシステムがある。これらは臨床および在宅ケア部門での使用方法によって区別される（例：Heinen+Lowenstein社、Dräger社、Stephan Medizintechnik社のシステム）。これらの供給者のシステムには、圧力、呼吸流量、呼吸ガス分析に必要なすべての測定装置が上位バージョンにのみ含まれている。このためには、複数の装置を組み合わせ、主に患者から遠隔で測定する必要がある。このことから、患者の近くでの呼吸流量と CO_2 含有量のコスト効率の良い測定はまだ実施されておらず、プロジェクトの革新的な内容は、ハイブリッドフィルタを備えたマルチセンサシステムの開発によって確認されていることがわかる。

【0325】

新しい MEMS ベースのガス測定システムの開発に成功したことは、センサ技術と呼吸器ケアにとって大きな進歩であると考えている。1つのセンサシステムに両方のセンサー（ CO_2 と流量）を統合することで、設置スペースとシステムの重量を大幅に削減することができる（挿管患者のための必須基準）。患者に近い測定ポイントをマスクやチューブ上に直接設置することで、気道に限りなく近く、チューブや動き、干渉源からの影響を避けるため、十分に正確な測定が可能になる。さらに、熱測定原理により、より正確な流量測定と迅速なガス分析が可能になると期待されている。

【0326】

図 26、図 27 および図 28 は、ガスセンサのヒータに印加される加熱電圧 300、加熱期間 302 の間の電流フロー 310、発明の評価装置の任意の ADC（アナログ-デジタル変換器）の測定時間 320、および検出器（例えば、第 1 の検出器または第 2 の検出器）のコンパレータ信号を例示する図である。例えば、発明的評価装置は、所定の加熱電圧 300 におけるヒータを通る電流フロー 310 の測定に基づいて、加熱期間 302 の間にヒータによってどれだけの熱が放散されているかという情報を得るように構成されている。一実施形態によれば、評価装置は、指定された加熱電圧 300 をオンにした直後と、指定された加熱電圧をオフにした直後に、電流フロー 310 を取得するように構成されている。例えば、これは、加熱電流 310 の開始ピーク 312 および電流フロー 310 の加熱電流終了値 314 が評価装置によって処理されてもよいことを意味する。

【0327】

実施形態によれば、開始ピーク312は、常に同じガスセンサに対して同じ値を有する(1%未満、0.5%未満、または0.1%未満の小さな変動がある可能性がある)。図26から図28に示された実施形態によれば、開始ピーク312は常に2.93Vであり、スイッチオン後約400μsである。この開始ピーク312の値は、図26から図28のガスセンサについて例示されている。別のガスセンサについては、開始ピーク312の値は、図26～図28に例示した値から逸脱していてもよい。ここで、開始ピーク312の値は、異なるガスセンサ間だけでなく、構造が同一のガスセンサ間でも逸脱してもよいことに留意されたい。

【0328】

加熱期間302の間にヒータが加熱され、その結果、正のTCR(温度係数)に従ってヒータ抵抗が増加し、スイッチオフの瞬間($I_{zz} = U / R_{Hz} \rightarrow I_{zz} = 1 / R_{Hz}$)にヒータが終了温度に達する。加熱電流終了値314が小さいほど、ヒータが高温になり、ヒータを取り囲む分析対象のガスへの放熱量が小さくなり、ガスまたはガス混合物の熱伝導率が小さくなる。

【0329】

図26から図28に従った実施形態では、ガスまたはガス混合物は、発明のガスセンサおよび/または本願発明の評価装置によって分析される。ここでは、10%のCO₂と90%のN₂(窒素)を有するガス混合物が図26の実施形態に従って分析され、ガス窒素(N₂の100%)が図27の実施形態に従って分析され、ガス酸素(O₂の100%)が図28の実施形態に従って分析される。例えば、これらの成分は、異なる熱伝導率、例えば、0.0263 W/(m*K)の熱伝導率λを有する酸素、0.0260 W/(m*K)の熱伝導率λを有する窒素、および0.0168 W/(m*K)の熱伝導率λを有するCO₂を構成する。

【0330】

図26の実施形態によれば、加熱電流端値314は2.7Vに達し、その結果、スイッチオン電流(開始ピーク312)とスイッチオフ電流加熱電流端値314との間に220mVの差($\Delta U = 220\text{mV}$)に達する。図27の実施形態によれば、加熱電流終了値314は、スイッチオン電流(開始ピーク312)とスイッチオフ電流(加熱電流終了値314)との間に214mV($\Delta U = 220\text{mV}$)の差が到達する結果、2.71Vに達する。図28の実施形態によれば、加熱電流終了値314は2.72Vに達し、その結果、スイッチオン電流(開始ピーク312)とスイッチオフ電流(加熱電流終了値314)との間に210mV($\Delta U = 220\text{mV}$)の差が生じる。すなわち、評価装置は、スイッチオン瞬間とスイッチオフ瞬間との間、すなわち、コールドヒータとホットヒータとの間の加熱電流(電流流310)の差を処理(検査)する。

【0331】

本願発明の実施形態によれば、本願発明のヒータは、例えば3Vで加熱できるように高ドープされているので、測定効果は最小である。また、ヒータのTCR(温度係数)が低い(例えば、 $\leq 6 \times 10^{-3} \text{ } 1/\text{K}$ 、 $\leq 4.1 \times 10^{-3} \text{ } 1/\text{K}$ 、 $\leq 3.9 \times 10^{-3} \text{ } 1/\text{K}$)場合がある。

【0332】

本願発明の実施形態によれば、本願発明のヒータは、例えば3Vで加熱できるように高ドープされているので、測定効果は最小である。また、ヒータのTCR(温度係数)が低い(例えば、 $\leq 6 \times 10^{-3} \text{ } 1/\text{K}$ 、 $\leq 4.1 \times 10^{-3} \text{ } 1/\text{K}$ 、 $\leq 3.9 \times 10^{-3} \text{ } 1/\text{K}$)場合がある。

【0333】

このように、本願発明のガスセンサおよび/または本願発明の評価装置では、例えばセンサ信号(例えば電流フロー310)を用いて、第3のガスの濃度を識別することができる。緊急換気では、酸素濃度を上昇させるのに用いられる。N₂に50 vol%のO₂を混合したも

のを使用するのが一般的である。較正時に新鮮ガスに対し高い酸素濃度でセンサ信号を補正しないと、例えばN₂O₂混合ガス中50 vol%のO₂でガスセンサ(例えば、本発明のガスセンサなどのCO₂センサ)のCO₂濃度は-5%を示す。すなわち、混合物中の第3のガス成分の変化、すなわち酸素濃度の変化は、特定の状況下では、CO₂センサ内の誤差信号につながる。同様に、窒素N₂中の酸素の約56%およびCO₂の約5%の濃度混合物は、センサでは、例えば、21体積%のO₂および約78体積%のN₂による新鮮ガス較正の場合のように、0体積%のCO₂濃度を示す。

【0334】

本願発明のガスセンサの濃度表示をそれに応じて補正することができるような吸入ガスの酸素濃度をセンサに示す技術的可能性がない場合、センサは、例えば、誤った値を表示することになる。

【0335】

図26から図28を参照すると分かるように、熱伝導率に関する情報は、ヒータがそのスイッチオフまで到達する終了温度に位置する。加熱開始時の現在のピーク312とスイッチオフ直前の終了値314との間の温度差(ΔU)を比較すると、ガス混合物中の異なる熱伝導率が異なる ΔU で導出され得る。

【0336】

一実施形態によれば、ヒータは定電圧(図26から図28によれば、D/A出力で30000桁の値に対応するが、これは例示に過ぎず、自由に選択することができる)で動作する。例えば、図10の場合と同様に、シャント抵抗と電流シャントモニタ、例えばIN A 199 A、コンポーネントU 402を介した電流測定では、例えば、加熱電流に比例して作用する電圧信号が得られる。図26~図28は、オシロスコープで記録された信号のうち、加熱電流の経路(電流の流れ310)が大きく拡大された状態(測定ラインを遮蔽することでノイズを低減してもよい)のスクリーンショットを示す図である。例えば、加熱電圧300と測定された加熱電流310との積により、加熱電力に関する記述が可能となる。加熱電流310は、ヒータが加熱され、抵抗の温度勾配(TCR)により内部抵抗が増加するため、時間の経過とともに減少する。内部抵抗が高いため、同じ加熱電圧($I_{Hz} = 1/R_{Hz}$)では、より少ない電流が流れる可能性がある。

【0337】

ヒータが周囲のガスに放散することができるエネルギーの量は、特に、ガスの熱伝導率に依存する。例えば、N₂中のCO₂の10%では、CO₂は $\lambda=0.0168 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ の熱伝導率を持っているので、ヒータは大量の熱を放散することができず、したがって、ヒータは100%のN₂ガスとは対照的に、スイッチオフ前に高い最終温度に達する。測定では、 $\Delta U=220 \text{ mV}$ の差が出ている。窒素N₂は $\lambda=0.0260 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ の熱伝導率を持っているため、100%CO₂ガスに比べて2倍の熱量を放熱することができる。測定では、214mVの ΔU が決定されています。窒素と酸素O₂の熱伝導率の差はあまり大きくない。しかし、ガスセンサおよび/または本明細書に記載された評価装置では、N₂の測定での測定よりもわずかに小さい $\Delta U=210 \text{ mV}$ が決定されてもよい。

【0338】

図29は、一実施形態に従った評価装置のための位相情報sigPhiを表す可能性のある4つの異なる位相信号を示す。図示されているのは、第1の位相差に関する情報210、第2の位相差に関する情報220、位相和400(情報210+情報220)、および位相差410(情報220-情報210)である。一実施形態によれば、位相情報210、情報220、400、410の測定において、温度 $T=24^{\circ}\text{C}$ 、圧力 $p=1013 \text{ mbar}$ が存在する。しかしながら、これは例示に過ぎず、位相情報210、220、400、410はまた、異なる周囲パラメータ設定(異なる温度、異なる圧力)で捕捉されてもよい。

【0339】

図29に示される実施形態によれば、(例えば測定点4520から4620)の第1の部分は、N₂ガス混合物中の10 vol.%CO₂についてのそれぞれの位相情報210, 220, 400および410を構成し、(例えば測定点4670から4780)の第2の部分は、100

10

20

30

40

50

vol.% N₂のガスについてのそれぞれの位相情報210, 220, 400および410を構成し、(例えば測定点4960から5070)の第3の部分は、100 vol.% O₂のガスについてのそれぞれの位相情報210, 220, 400および410を構成する。例えば、個々の部分の間の持続時間は、それぞれの混合物が設定されときの待機時間である。

【0340】

例えば、位相和400は、位相位置の安定した和信号D₁+D₂(D₁は検出器1に対応し、D₂は検出器2に対応する。)を構成する。例えば、100体積%のO₂と100体積%のN₂との識別性は、全ての位相情報について利用可能である。本実施形態によれば、N₂中のCO₂の10体積%とCO₂の0体積%との間に最大の信号差が生じるが、位相差信号410は現在非常にノイズが多いため、位相情報としては位相和400が好ましい。

10

【0341】

図30は、第1の検出器の検出信号の振幅に関する情報210と、第2の検出器の検出信号の振幅に関する情報220とを示す図である。一実施形態によれば、振幅情報210、220を測定する際には、温度T=24℃、圧力p=1013mbarが存在する。しかし、これは例示に過ぎず、振幅情報210、220はまた、異なる周囲パラメータ設定(異なる温度、異なる圧力)で捕捉されてもよい。

【0342】

図30に示される実施形態によれば、第1の部分(例えば測定点4520から4650)は、N₂ガス混合物中の10体積%のCO₂についてのそれぞれの振幅情報210, 220を構成し、第2の部分(例えば測定点4670から4810)は、N₂の100体積%のガスについてのそれぞれの振幅情報210, 220を構成し、第3の部分(例えば測定点4960から5120)は、O₂の100体積%のガスについてのそれぞれの振幅情報210, 220を構成する。個々の部分の間の持続時間は、例えば、それぞれの混合物が設定されるまで待機時間である。

20

【0343】

第1の検出器の検出器信号の振幅に関する情報210と、第2の検出器の検出器信号の振幅に関する情報220とは、例えば、D₂(第2の検出器)の振幅はD₁(第1の検出器)の振幅よりも小さいため、本実施形態では、D₂(空気中1.8 mVに対し約5 mV)の方がノイズが大きいなど、安定した振幅信号を構成する。2つの振幅情報210, 220は、位相信号(図29の210, 220, 400および410参照)に比べて、100 vol.% O₂と100 vol.% N₂とを明確に区別することができる。このように、位相と振幅との比の比較は、評価装置(例えば、システムが新鮮空気の較正からあまりにも遠くにドリフトした場合)によって第3のガスO₂の濃度を推測するために意味がある。

30

【0344】

図31は、組合せ信号sigX230(右y軸)とCO₂基準信号500(左y軸)を示す。一実施形態によれば、組合せ信号sigX230の測定時には、温度T=24℃、圧力p=1013mbarが存在する。しかし、これは例示に過ぎず、合成信号sigX230はまた、異なる周囲パラメータ設定(異なる温度、異なる圧力)で捕捉されてもよい。

【0345】

40

図31に示される実施形態によれば、第1の部分(例えば測定点4610から4650)は、N₂ガス混合物中の10 vol.%のCO₂についての組合せ信号sigX230を構成し、第2の部分(例えば測定点4700から4810)は、N₂の100 vol.%のガスについての組合せ信号sigX230を構成し、そして(例えば測定点4960から5100)の第3の部分は、O₂の100 vol.%のガスについての組合せ信号sigX230を構成する。個々の部分の間の持続時間は、例えば、それぞれの混合物が設定されるまで待機時間である。例えば、NDIR参照検出器(基準信号500参照)はCO₂濃度を検出するだけで、N₂とO₂を区別できない。

【0346】

3つのガスの混合物はすべて、組合せ信号230で明確に区別される。このように、第3

50

のガスO₂の濃度を推論するために、位相と振幅との間の比を比較することが提案されている。

【0347】

N₂の100%とO₂の100%の差は位相信号にわずかに影響を与えるだけであるが（図29）、CO₂の10%-N₂の90%の混合物とN₂の100%の混合物の振幅信号の差は、N₂の100%とO₂の100%の差とほぼ同じくらい大きい（図30）。合成信号sigX（図31）は、この挙動をわずかに曖昧にしている。

【0348】

以下では、本願発明のガスセンサの特徴および機能性を他の言葉で説明するさらなる実施形態が例示される。これらの実施形態は、上述の実施形態と組み合わせてもよいし、代替案を表してもよい。

【0349】

一実施形態によれば、ガスセンサは膜センサである。膜および穿孔膜を有するサーモパイル技術に基づく熱ガスセンサは、より高いガス感度の信号を得るために、膜または構造物の支持を介した寄生熱輸送を最小化するために実施されてもよい。

【0350】

一実施形態によれば、本願発明のガスセンサは、電子システムを構成してもよく、ここで、電子システムは、以下の形態のうちの1つまたはいくつかを個別にまたは組み合わせて構成してもよい。電子システムは、ソフトウェアを介して追跡される動作点を有するDCセンサ増幅器を備えてもよい。さらに、電子システムは、マイクロコントローラ（MSP430）の内部タイマ構造を介して位相位置の測定を実行するように実装されてもよく、ここで、例えば、アナログスイッチおよびマイクロコントローラ（MSP430）の内部タイマ構造を介したヒータ励起信号の正確な生成が、本明細書で使用される。さらに、電子システムは、信号がそこで最も急峻であり、したがって位相ノイズが最小化されるので、ゼロ点交差におけるDCオフセットから解放されたセンサ信号を測定するシュミットトリガを介してセンサ信号の位相位置の測定を実行するように実装されてもよい。オプションとして、電子システムは、S1振幅コントローラを介した加熱電力の制御、および/またはサンプリングのタイミングの制御を含む。

。

【0351】

一実施形態によれば、ガスセンサは較正を有してもよい。較正は、位相と振幅からなる疑似信号を形成するように構成されていてもよく、ここで、信号の形成において強調されていることと、式は疑似信号に配置されていてもよい。

【0352】

特許請求の範囲による実施形態は、本明細書に記載されたすべての特徴、機能性、および詳細を補足してもよいことに留意されたい（これが矛盾をもたらさない場合）。

【0353】

特許請求の範囲の特徴、機能性、および詳細は、追加の実施形態を得るために、本明細書に記載された実施形態と組み合わせてもよい。

【0354】

個々の実施形態またはいくつかの実施形態に示された特徴および機能は、これに反する重大な技術的理由がない場合には、他の実施形態においても採用され得ることに留意されたい。

【0355】

さらに、本明細書に記載された実施形態の部分的な機能性は、これに対して重要な技術的理由がない場合に採用されてもよいことに留意されたい。

【0356】

いくつかの形態が装置の文脈の中で記述されているにもかかわらず、装置のブロックまたは構造部品が対応する方法ステップまたは方法ステップの特徴としても理解されるように、前述の形態は対応する方法の記述も表していることが理解される。それに類推して、

10

20

30

40

50

方法ステップの文脈の中で、または方法ステップとして記述されてきた形態もまた、対応する装置の対応するブロックまたは詳細または特徴の記述を表している。方法ステップの一部または全部は、マイクロプロセッサ、プログラマブルコンピュータ、または電子回路などのハードウェア装置を使用しながら（またはハードウェア装置を使用しながら）実行されてもよい。いくつかの実施形態では、最も重要な方法ステップの一部かまたはいくつかは、そのような装置によって実行されてもよい。

【0357】

特定の実施要件に応じて、本願発明の実施形態は、ハードウェアまたはソフトウェアで実施することができる。実施形態は、デジタル記憶媒体、例えばフロッピーディスク（フロッピーは登録商標）、DVD、ブルーレイディスク、CD、ROM、PROM、EPROM、EEPROMまたはFLASH（登録商標）メモリ、ハードディスク、またはそれぞれの方法が実行されるようにプログラム可能なコンピュータシステムと協働して、または協働して、その上に格納された電子的に読み取り可能な制御信号を有する他の任意の磁気または光学メモリを使用している間に実施されてもよい。このため、デジタル記憶媒体は、コンピュータ読み取り可能であってもよい。

【0358】

したがって、本願発明によるいくつかの実施形態は、本明細書に記載された方法のいずれかが実行されるように、プログラマブル・コンピュータ・システムと協働することができる電子的に読み取り可能な制御信号を含むデータ担体を備える。

【0359】

一般に、本願発明の実施形態は、プログラムコードを有するコンピュータプログラム製品として実施されてもよく、プログラムコードは、コンピュータプログラム製品がコンピュータ上で実行されるときに、いずれかの方法を実行するために有効である。

【0360】

また、プログラムコードは、例えば機械読み取り可能な担体に格納されていてもよい。

【0361】

他の実施形態では、本明細書に記載された方法のいずれかを実行するためのコンピュータプログラムを含み、前記コンピュータプログラムは、機械読み取り可能な担体に格納されている。

【0362】

換言すれば、本願発明の方法の一実施形態は、このように、コンピュータプログラムがコンピュータ上で実行される場合に、本明細書に記載された方法のいずれかを実行するためのプログラムコードを有するコンピュータプログラムである。

【0363】

したがって、本願発明の方法のさらなる実施形態は、本明細書に記載された方法のいずれかを実行するためのコンピュータプログラムが記録されたデータ担体（またはデジタル記憶媒体またはコンピュータ読み取り可能な媒体）である。データ担体、デジタル記憶媒体、または記録された媒体は、典型的には有形または不揮発性である。

【0364】

したがって、本願発明の方法のさらなる実施形態は、本明細書に記載された方法のいずれかを実行するためのコンピュータプログラムを表すデータストリームまたは信号のシーケンスである。データストリームまたは信号のシーケンスは、例えば、データ通信リンクを介して、例えばインターネットを介して送信されるように構成されてもよい。

【0365】

さらなる実施形態は、本明細書に記載された方法のいずれかを実行するように構成または適合された処理ユニット、例えばコンピュータまたはプログラマブル論理装置を含む。

【0366】

さらなる実施形態は、本明細書に記載の方法のいずれかを実行するためのコンピュータプログラムがインストールされたコンピュータを含む。

【0367】

本願発明によるさらなる実施形態は、本明細書に記載された方法の少なくとも1つを実行するためのコンピュータプログラムをレシーバに送信するように構成された装置またはシステムを含む。送信は、例えば、電子的または光学的であってもよい。レシーバは、例えば、コンピュータ、モバイル装置、メモリ装置、または類似の装置であってもよい。装置またはシステムは、例えば、コンピュータプログラムをレシーバに送信するためのファイルサーバを含んでもよい。

【0368】

いくつかの実施形態では、プログラマブル論理装置（例えば、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ、FPGA）が、本明細書に記載された方法の機能の一部または全部を実行するために使用されてもよい。いくつかの実施形態では、フィールドプログラマブルゲートアレイは、本明細書に記載された方法のいずれかを実行するためにマイクロプロセッサと協働してもよい。一般に、いくつかの実施形態では、方法は、任意のハードウェアデバイスによって実行される。前記ハードウェアデバイスは、コンピュータプロセッサ（CPU）のような任意の普遍的に適用可能なハードウェアであってもよく、またはASICのような方法に特有のハードウェアであってもよい。

【0369】

例えば、本明細書に記載された装置は、ハードウェア装置を用いて実施してもよいし、コンピュータを用いて実施してもよいし、ハードウェア装置とコンピュータとの組み合わせを用いて実施してもよい。

【0370】

本明細書に記載された装置、または本明細書に記載された装置の任意の構成要素は、少なくとも部分的にハードウェアおよび／またはソフトウェア（コンピュータプログラム）で実施されてもよい。

【0371】

例えば、本明細書に記載された方法は、ハードウェア装置を使用して実施してもよいし、コンピュータを使用して実施してもよいし、ハードウェア装置とコンピュータとの組み合わせを使用して実施してもよい。

【0372】

本明細書に記載された方法、または本明細書に記載された方法の任意の構成要素は、少なくとも部分的に実施および／またはソフトウェア（コンピュータプログラム）によって実施されてもよい。

【0373】

上述の実施形態は、単に本願発明の原理を例示しているに過ぎない。他の当業者は、本明細書に記載された配置および詳細の修正および変形を理解するであろうことが理解されるであろう。このため、本願発明は、本明細書の説明および実施形態の考察によって本明細書に提示された特定の詳細によってではなく、以下の請求項の範囲によってのみ限定されることが意図されている。

1.5 参考文献

【0374】

10

20

30

40

50

- [Baehr 2008] H. D. Baehr and K. Stephan, Wärme- und Stoffübertragung, 6. neu bearbeitete Auflage ed Springer-Verlag, 2008.
- [Simon 2002] I. Simon and M. Arndt. Thermal and gas-sensing properties of a micromachined thermal conductivity sensor for the detection of hydrogen in automotive applications. Sensors and Actuators A: Physical, 97-98, pp. 104-108, April 2002. doi: 10.1016/S0924-4247(01)00825-1.
- [Baar 2001] J. J. van Baar, R. J. Wiegerink, T. S. J. Lammerink, G. J. M. Krijnen, and M. Elwenspoek. Micromachined structures for thermal measurements of fluid and flow parameters. Journal of Micromechanics and Microengineering, 11(4), pp. 311-318, July 2001. doi: 10.1088/0960-1317/11/4/304.
- [IST AG 2011] German patent: reference DE 10 2011 075 519 A1; title: Verfahren und Vorrichtung zum thermischen Bestimmen des Massendurchflusses eines Mediums in einer Leitung; inventors: Hepp, Christoph; Krogmann, Florian; Lehmann, Mirko; Polak, Jiri; application date: May 9 2011
- [IST AG 2013] Applied for a German patent under reference DE 10 2013 102 2309.3; title: Thermischer Strömungssensor zur Bestimmung eines Gases oder der Zusammensetzung eines Gasgemisches, sowie dessen Strömungsgeschwindigkeit; inventors: Hepp, Christoph, Krogmann, Florian; application date: March 11 2013
- [IST AG 2015] Applied for a German patent under reference DE 10 2015 107 584.9, title: Verfahren zur Bestimmung eines Produktes aus Wärmekapazität und Dichte, inventors: Hepp, Christoph, Krogmann, Florian, Reyes, Diego; application date: May 13 2015
- [Grien 2012] H. Grienauer - AMS GmbH, Dielheim: Gasanalyse mit thermisch modulierten Wärmeleitfähigkeits-Sensoren mit Fourier-Analyse des Messsignals; 16. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2012; 22.-23.05.2012; Nürnberg, Germany; Chapter 1.2 Chemische Sensoren; pp 54-61; DOI: 10.5162/sensoren2012/1.2.2; ISBN: 978-3-9813484-0-8
- [2003] A. Al-Salaymeh, M. Alhusein, F. Durst, (2003) "Development of a two-wire thermal flow sensor for industrial applications", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 9 Issue: 2, pp.113-131, "https://doi.org/10.1108/13552510310482370"
- [2009] DE 10 2008 047 511 A1 2009.03.19; Vorrichtung und Verfahren zur Atemgasanalyse; Weinmann Geräte für Medizin GmbH + Co. KG, Florian Dietz
- [2011] Kliche, Billat, Messner, Zengerle: Sensorsystem zur thermischen Gasanalyse von Gasgemischen, Konferenzbeitrag in Proc. of Mikrosystemtechnik Kongress 2011, Darmstadt, Deutschland, (Poster), 10. Oktober 2011, Seite 875-878, ISBN: 978-3-8007-3367-5 (2011)
- [2011] Sensor for gas analysis based on thermal conductivity, specific heat capacity and thermal diffusivity; K Kliche, S Billat, F Hedrich, C Ziegler, R Zengerle; Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), 2011 IEEE 24th International Conference on
- [2013] Sensor for thermal gas analysis based on micromachined silicon-microwires; K Kliche, G Kattinger, S Billat, L Shen, S Messner, R Zengerle, IEEE Sensors Journal 13 (7), 2626-2635; 2013

10

20

30

40

50

【図面】

【図 1 A】

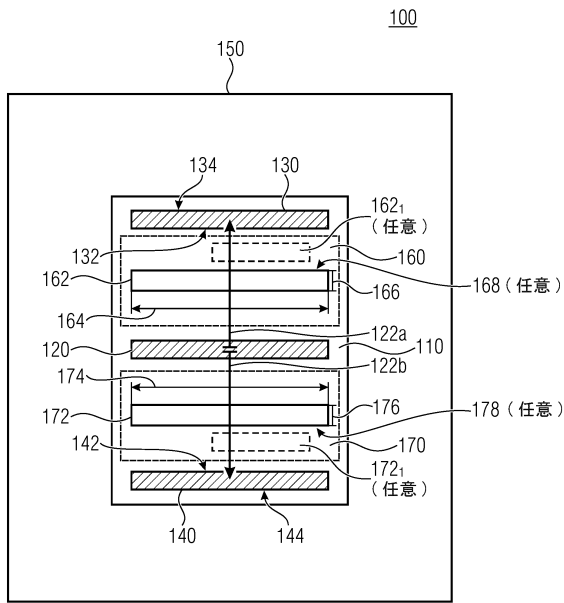


Fig. 1a

【図 1 B】

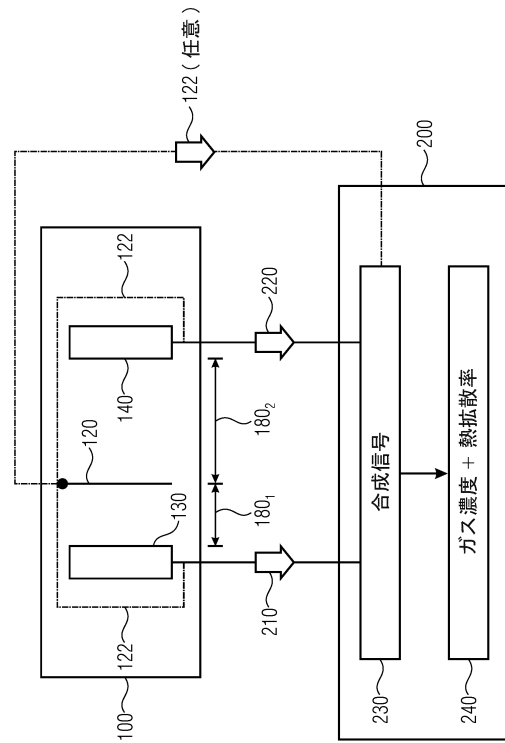


Fig. 1b

【図 1 C】

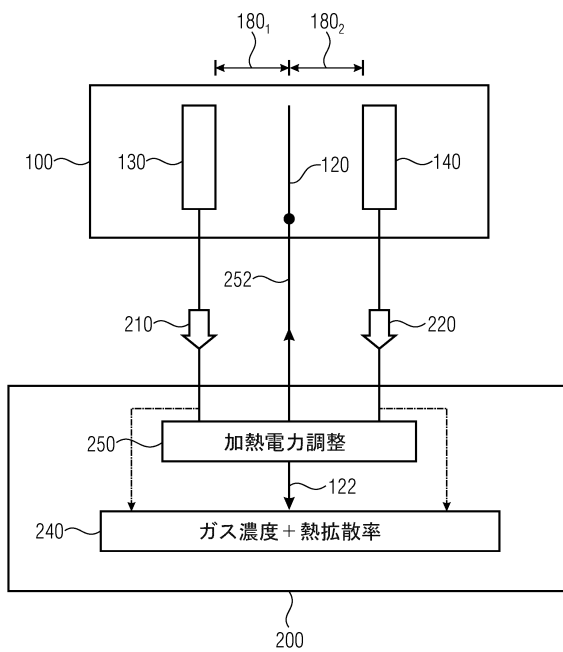


Fig. 1c

【図 1 D】

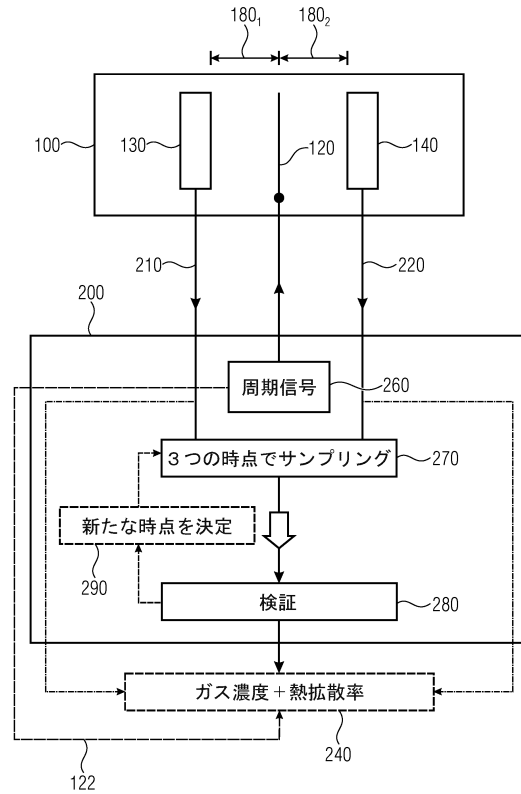


Fig. 1d

10

20

30

40

50

【図 2 A】

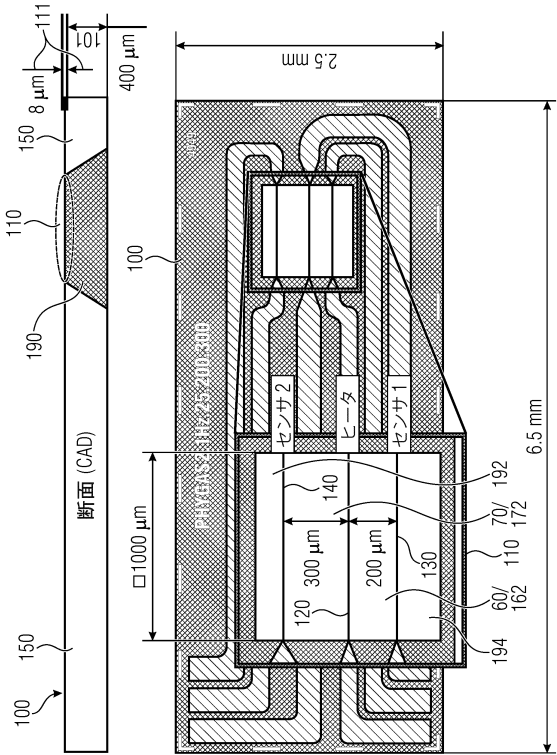


Fig. 2a

【図 2 B】

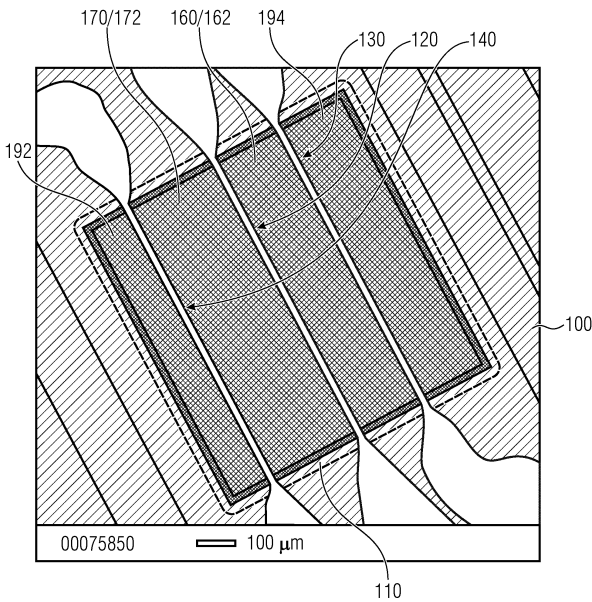


Fig. 2b

【図 3】

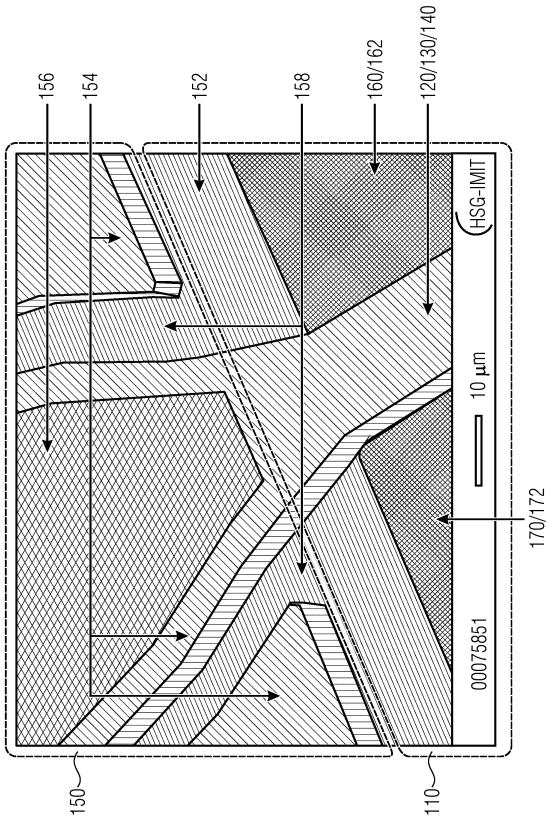


Fig. 3

【図 4】

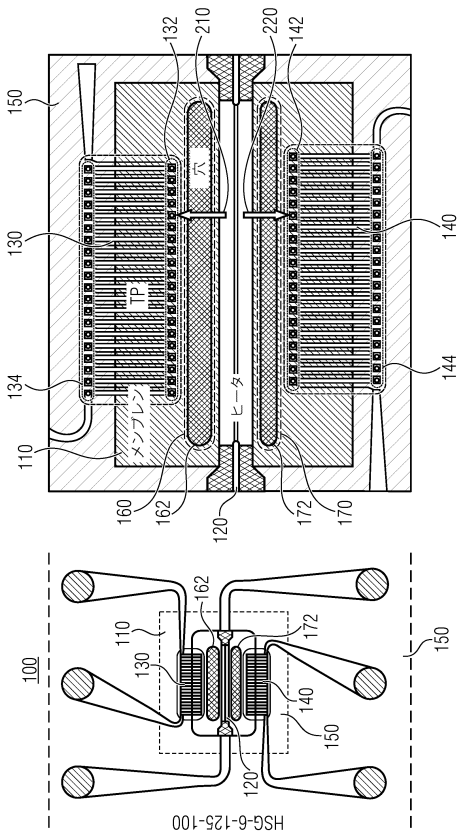


Fig. 4

10

20

30

40

50

【図 5】

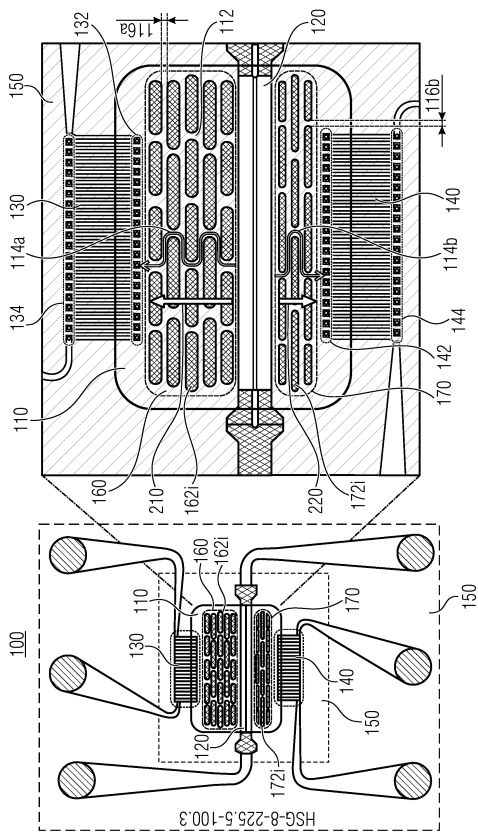


Fig. 5

【図 6 A】

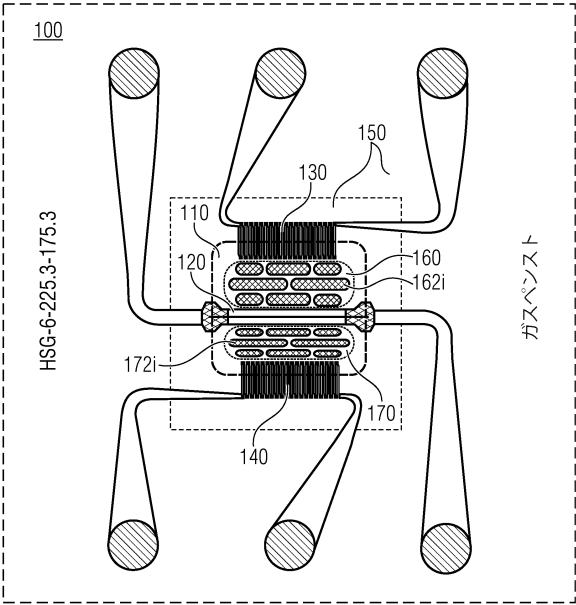


Fig. 6a

【図 6 B】

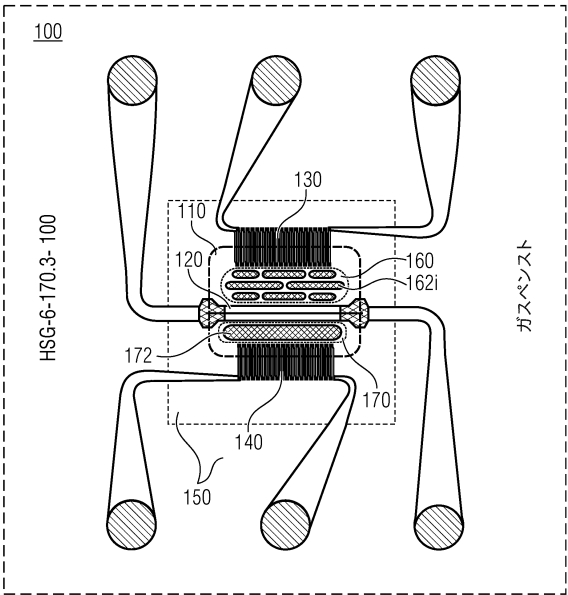


Fig. 6b

【図 6 C】

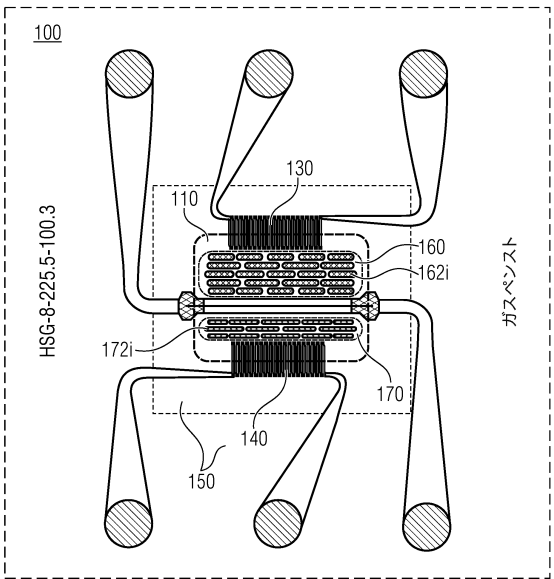


Fig. 6c

10

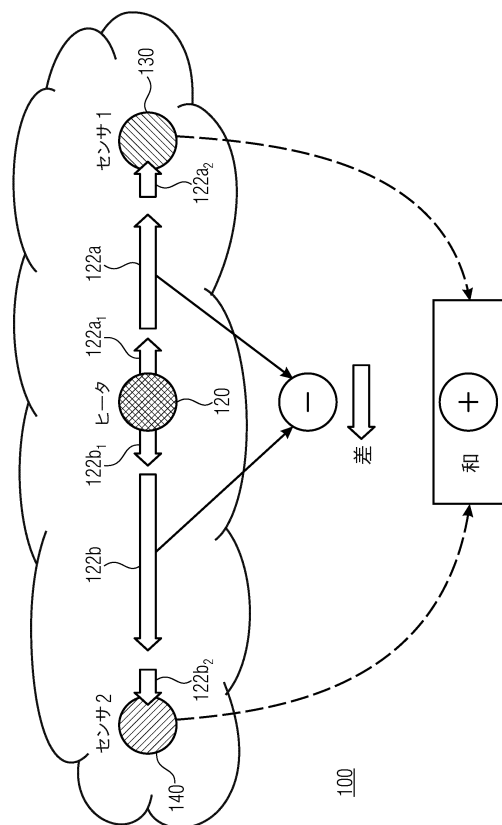
20

30

40

50

【圖 7】



【図 8】

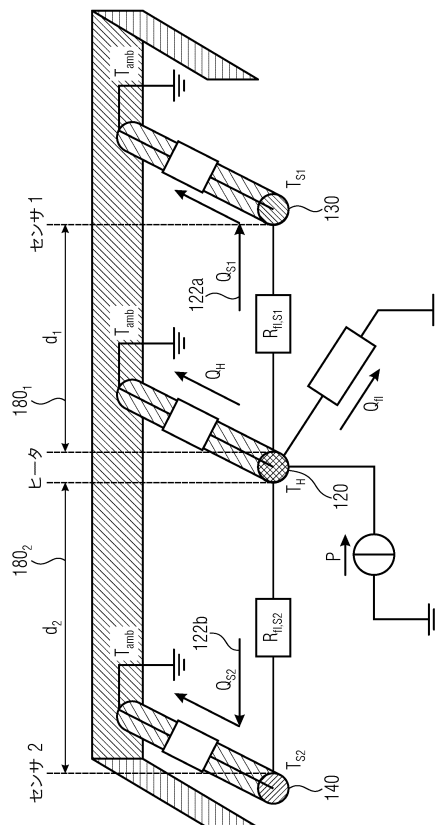


Fig. 7

Fig. 8

【圖 9】

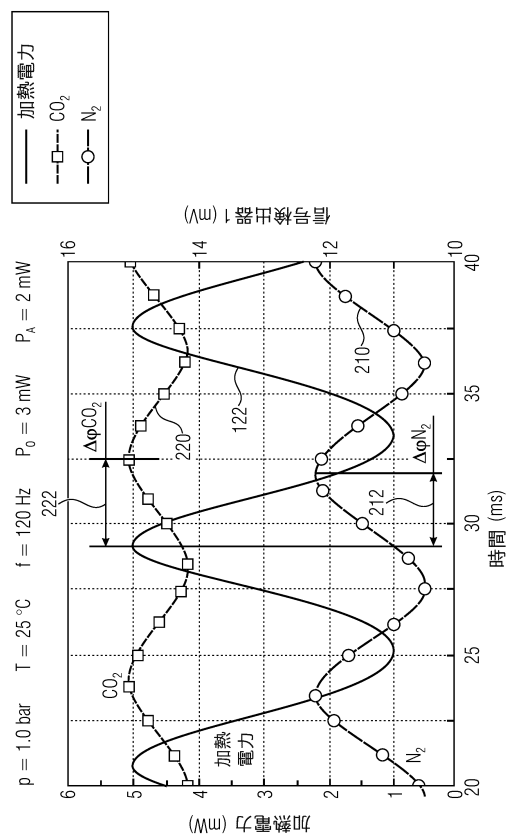


Fig. 9

【図 10】

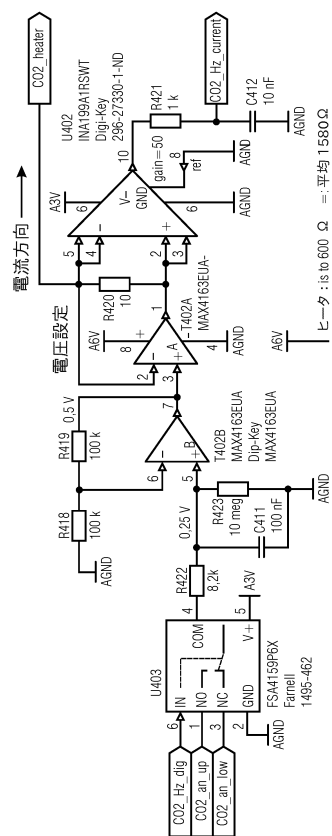


Fig. 10

【図 1 1】

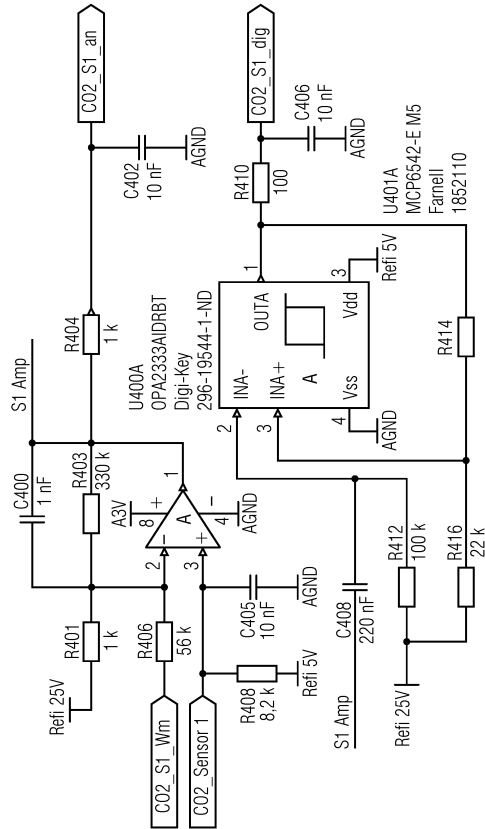


Fig. 11

【図 1 2】

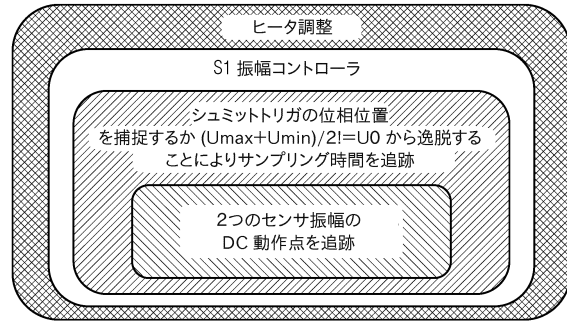


Fig. 12

【図 1 3 A】

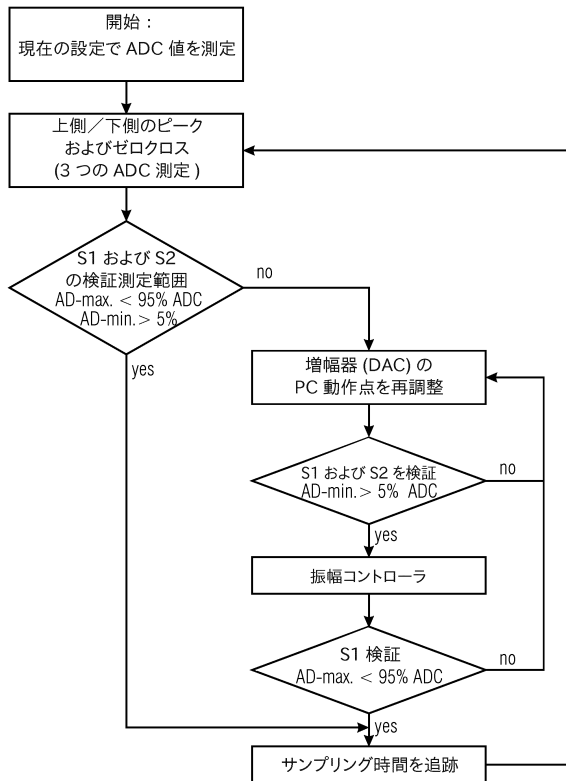


Fig. 13a

【図 1 3 B】

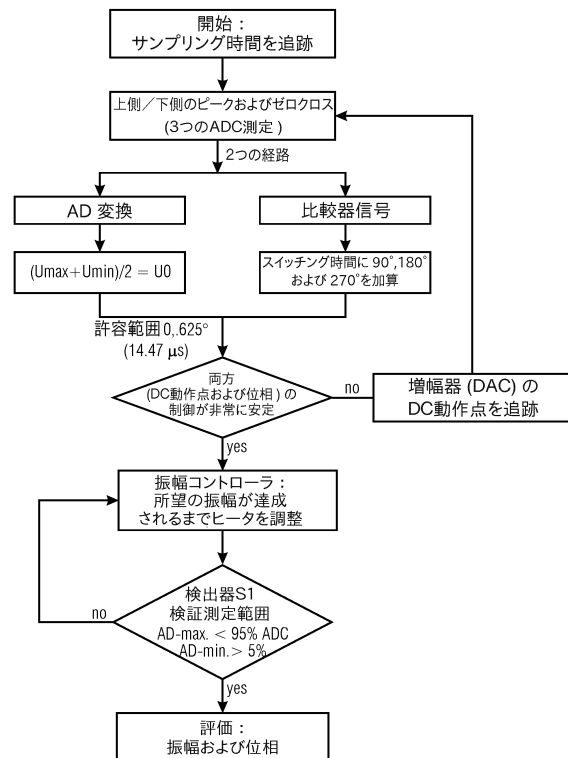


Fig. 13b

10

20

30

40

50

【図 1 4】

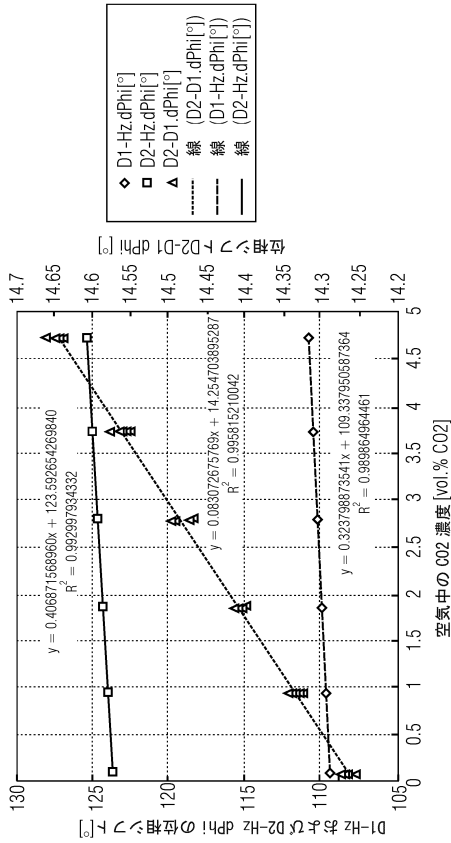


Fig. 14

【図 1 5】

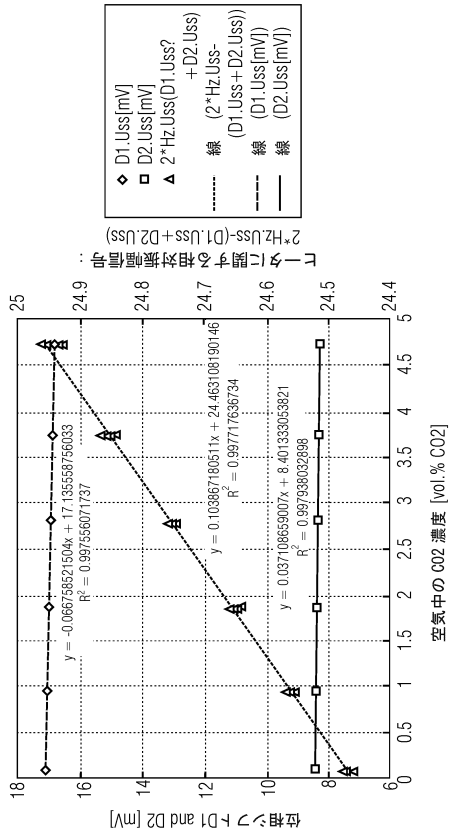


Fig. 15

【図 1 6】

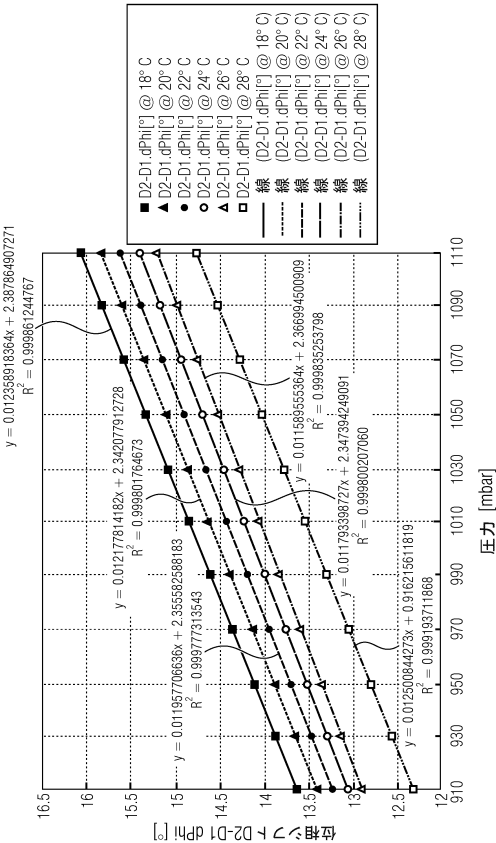


Fig. 16

【図 1 7 A】

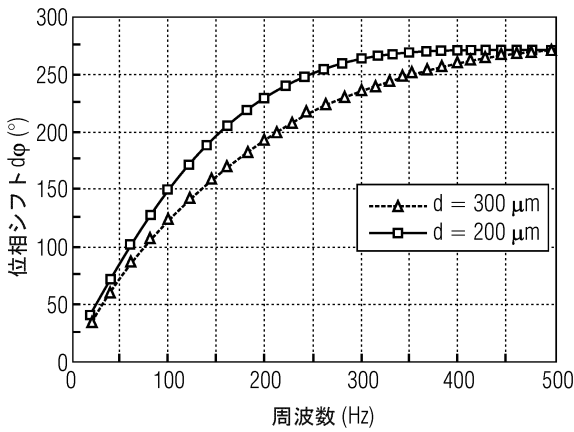


Fig. 17a

10

20

30

40

50

【図 17 B】

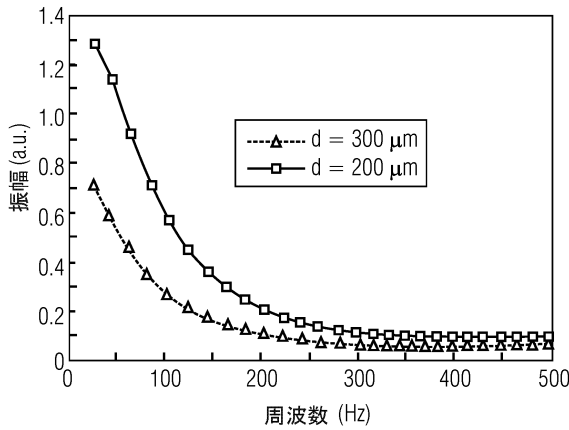


Fig. 17b

【図 18】

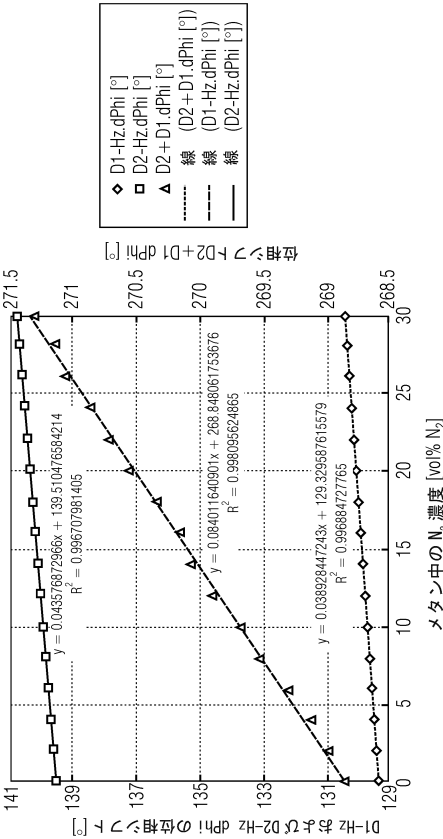


Fig. 18

【図 19】

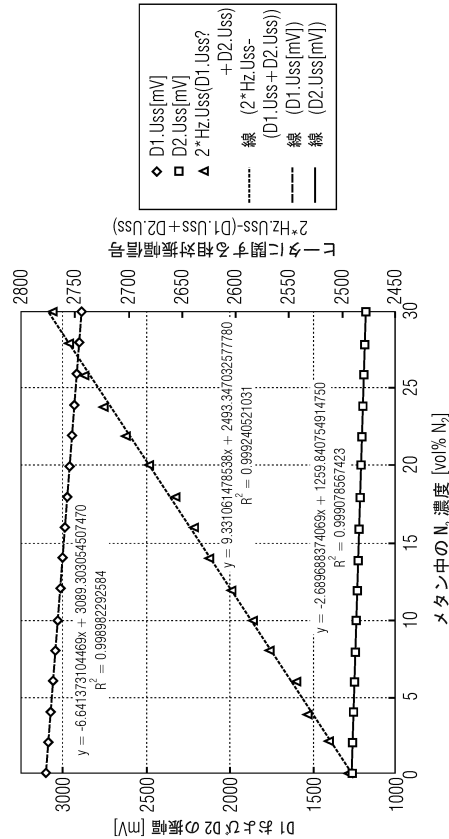


Fig. 19

【図 20】

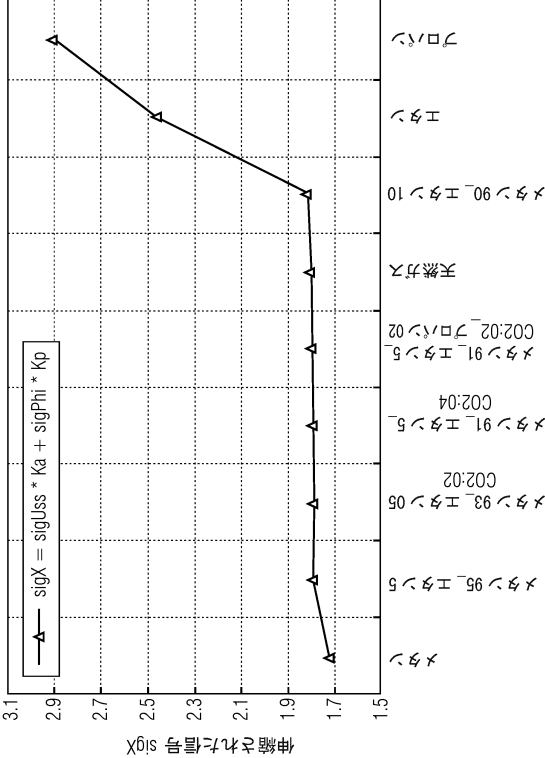


Fig. 20

10

20

30

40

50

【図 2 1】

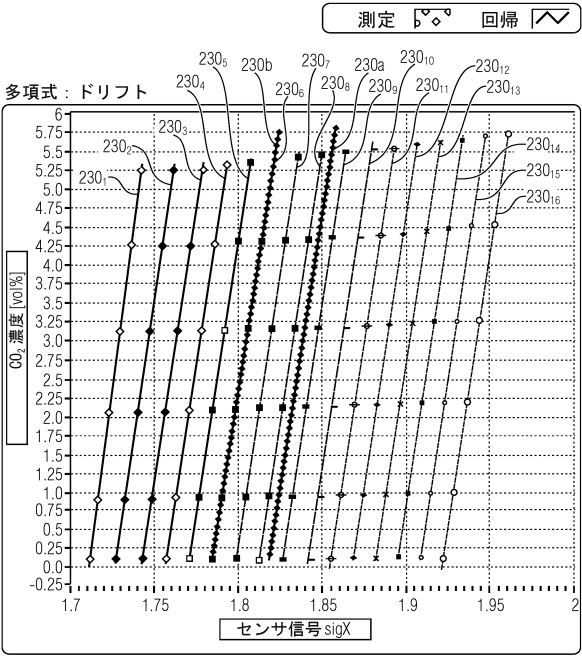


Fig. 21

【図 2 2】

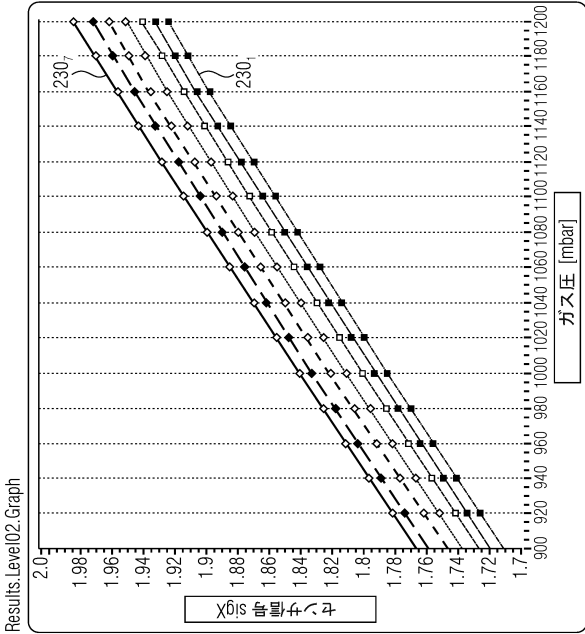


Fig. 22

【図 2 3】

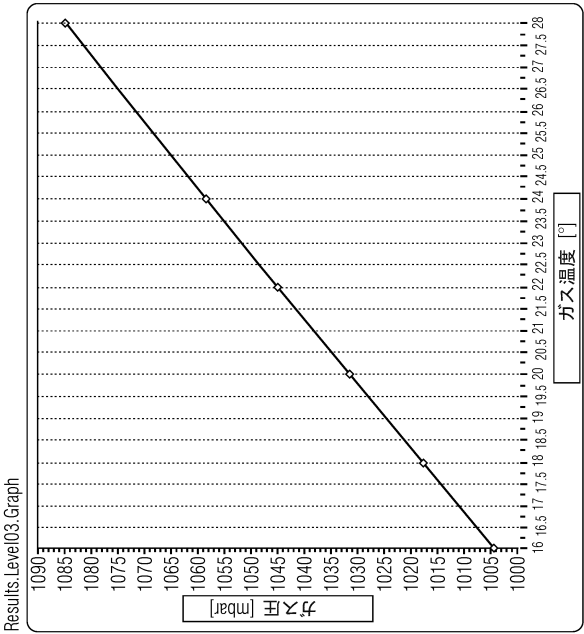


Fig. 23

【図 2 4】

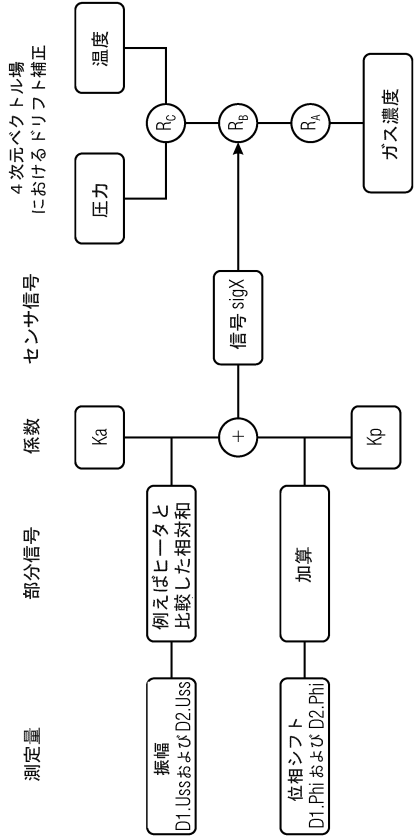


Fig. 24

10

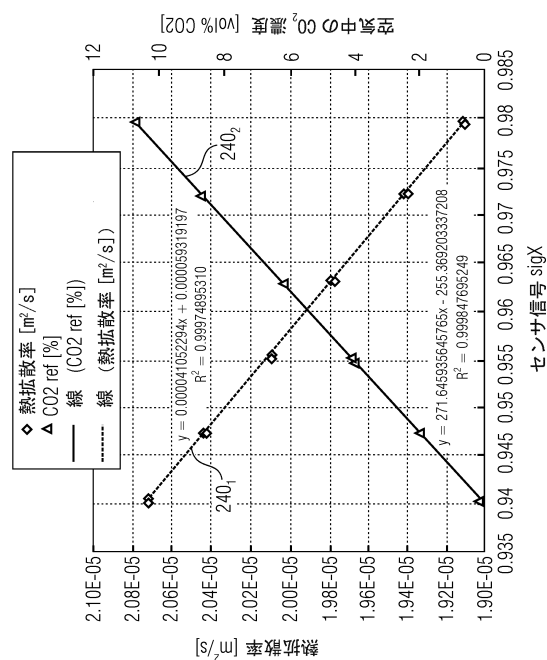
20

30

40

50

【図 25】



【図 2 6】

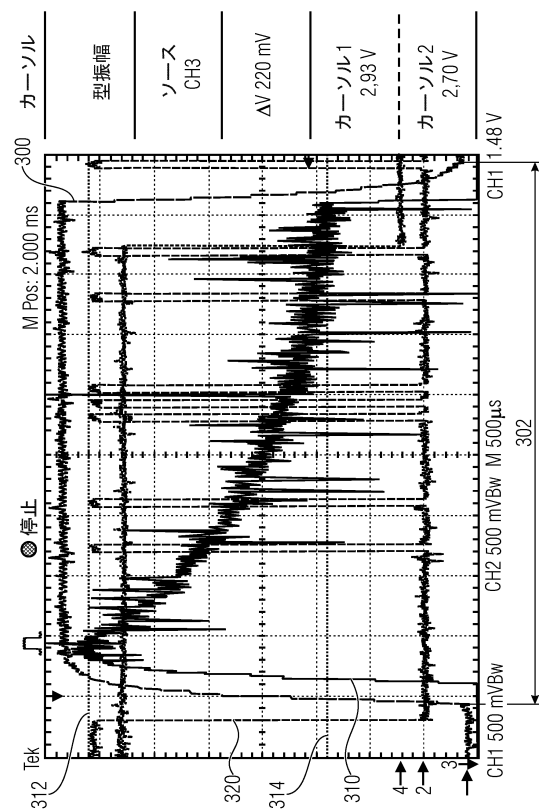


Fig. 26

【図 27】

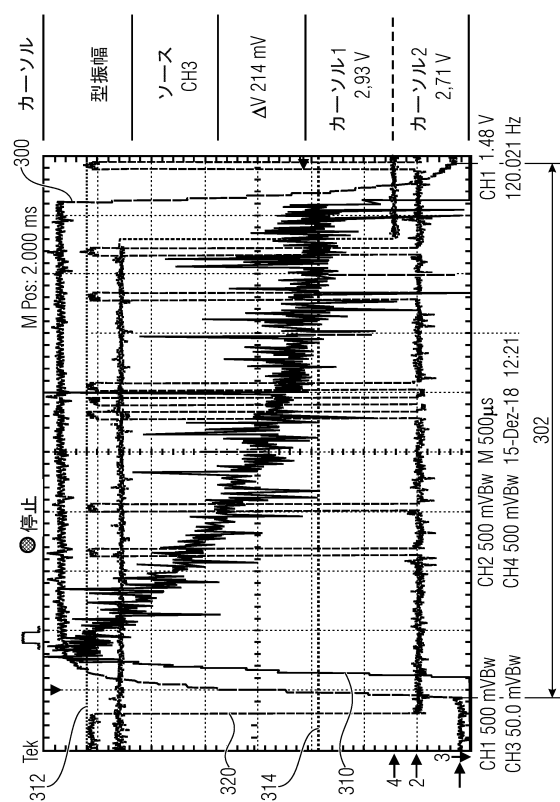


Fig. 27

【圖 28】

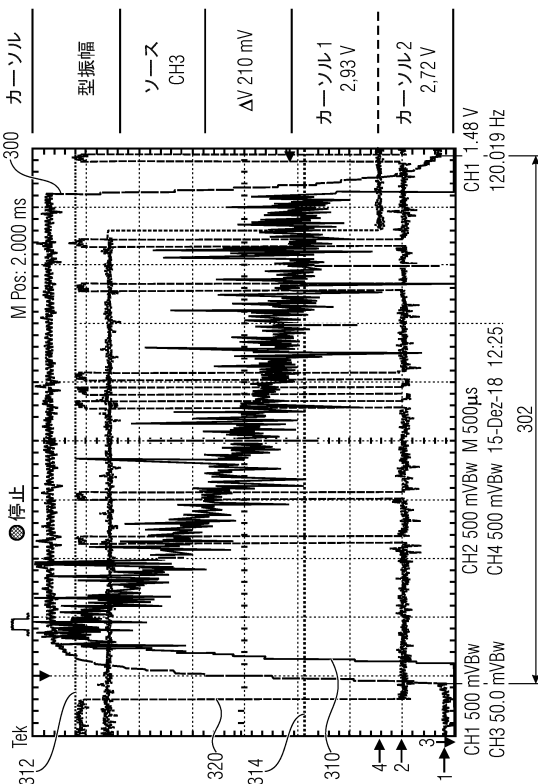


Fig. 28

【図 29】

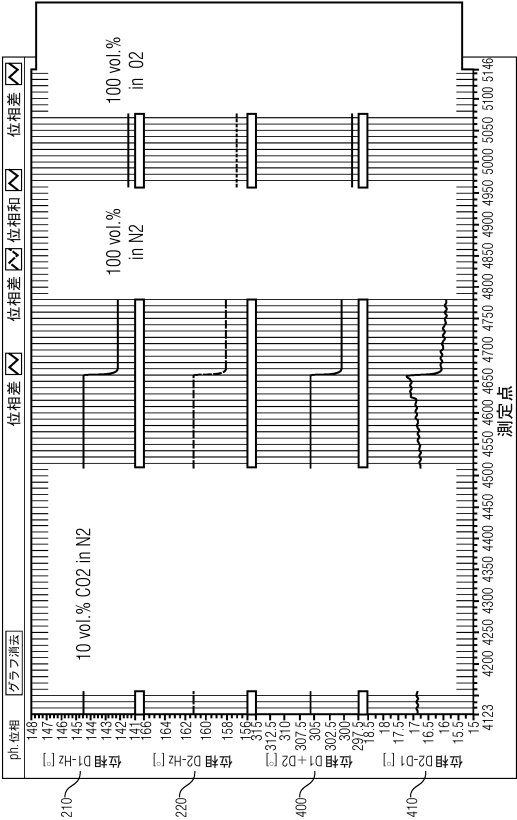


Fig. 29

【図 30】

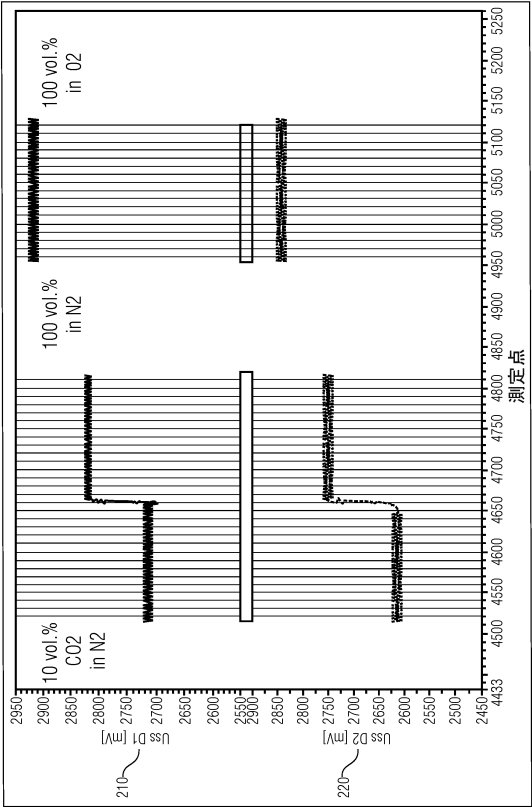


Fig. 30

【図 31】

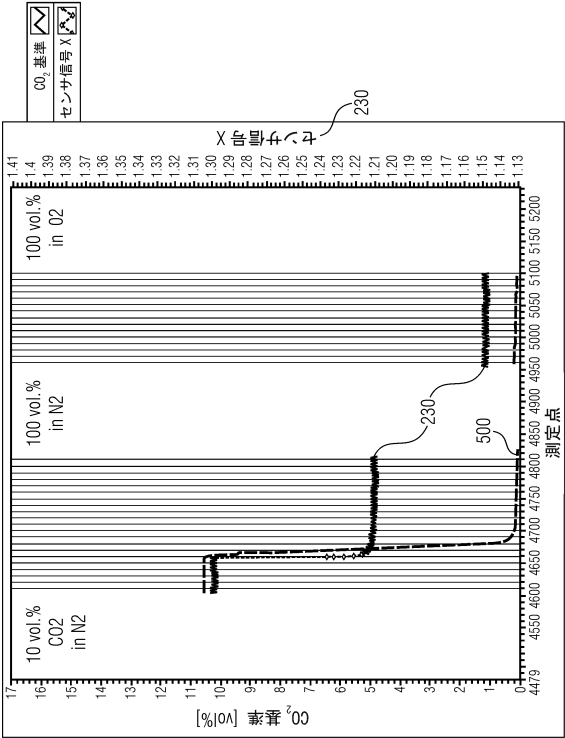


Fig. 31

10

20

30

40

50

フロントページの続き

欧州特許庁(EP)

(73)特許権者 512071330

ゲーエス・エレクトロメディツィニシエ・ゲレーテ・ゲー・シュテンプレ・ゲゼルシャフト・ミッ
ト・ベシュレンクテル・ハフツング

G S E l e k t r o m e d i z i n i s c h e G e r a e t e G . S t e m p l e G m b H

ドイツ86916カウフェリンク、ハウスヴィーゼンシュトラッセ26番

(74)代理人 100079577

弁理士 岡田 全啓

(72)発明者 ヘートリヒ フランク

ドイツ連邦共和国 78052 フィリンゲン-シュヴェニンゲン レッセンハルトヴェーク 20

(72)発明者 エーアブレヒト ベルント

ドイツ連邦共和国 78089 ウンターキルナッハ アム ヴェルト 21

(72)発明者 カッティンガー ゲルハルト

ドイツ連邦共和国 78112 ザンクトゲオルゲン ウルバンヴェーク 72

(72)発明者 クリシェ カート

ドイツ連邦共和国 73240 ヴェンドリングエン オルガシュトラッセ 30

合議体

審判長 榎本 吉孝

審判官 三崎 仁

審判官 伊藤 幸仙

(56)参考文献 米国特許出願公開第2016/0290849 (US, A1)

特開2000-028558 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01N27/00-27/92, G01N25/00-25/72