

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3615019号
(P3615019)

(45) 発行日 平成17年1月26日(2005.1.26)

(24) 登録日 平成16年11月12日(2004.11.12)

(51) Int.Cl.⁷

F I

GO 1 N 29/02

GO 1 N 29/02

GO 1 N 29/18

GO 1 N 29/18

請求項の数 20 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願平9-157056	(73) 特許権者	594154462
(22) 出願日	平成9年6月13日(1997.6.13)		レイボルド インフィコン, インコーポレ
(65) 公開番号	特開平10-73574		イティド
(43) 公開日	平成10年3月17日(1998.3.17)		アメリカ合衆国, ニューヨーク 1305
審査請求日	平成13年2月21日(2001.2.21)		7, イースト サイラカス, トゥー テク
(31) 優先権主張番号	60/019675		ノロジー プレイス (番地なし)
(32) 優先日	平成8年6月13日(1996.6.13)	(74) 代理人	100077517
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 石田 敬
		(74) 代理人	100108383
			弁理士 下道 晶久
		(74) 代理人	100088269
			弁理士 戸田 利雄
		(74) 代理人	100082898
			弁理士 西山 雅也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 音響セル、音響センサおよびガス混合物の組成決定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

流れるガス混合物中のガスの濃度を分析する音響セルにおいて、
 共鳴チャンバを規定する隣接して結合された複数の音響キャビティをもつ内部を有するセルハウジングと、
 前記共鳴チャンバを通してガス混合物を流すべく前記セルハウジングに流体的に接続されたガス通流手段と、
 前記セルハウジングを通して流れる前記ガス混合物を介して音響信号を送るために前記セルハウジングの第1端に配備された音響駆動手段と、
 前記音響信号を受信するために前記セルハウジングの第2端に配備された受信手段と、
 前記受信された音響信号を処理する処理手段と、
 前記流れるガス混合物の共鳴周波数を検出し、該ガス混合物の組成を決定する検出手段と、
 前記音響駆動手段と前記受信手段のうちの少なくとも一つを前記音響セルから音響的に遮断する遮断手段と、
 を備え、
 前記音響駆動手段は、駆動変換器と、該駆動変換器と前記セルハウジングの前記第1端との間の第1ダイヤフラムとを含み、
 前記駆動変換器は、
 駆動カートリッジ・ハウジングと、

10

20

前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側に嵌装された金属ハウジングと、
前記駆動カートリッジハウジングの回りの少なくとも 1 個の音響的遮断用 O-リングと、
前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側の少なくとも 1 個の音響的遮断用 O-リングと、
前記第 1 ダイアフラムの近傍の前記金属ハウジングの内部の駆動マイクロホンと、
前記金属ハウジング内で前記駆動マイクロホンと背面を対向した非駆動マイクロホンとを含み、かつ、
前記駆動マイクロホンおよび非駆動マイクロホンは、同期入力信号を共有している、
ことを特徴とする、流れるガス混合物中のガスの濃度を分析する音響セル。

【請求項 2】

前記ガス通流手段は、前記セルハウジング内におけるガス導入孔により前記ハウジングに 10
接続されたガス取入管と、前記セルハウジング内におけるガス吐出口により前記セルハウ
ジングに接続されたガス吐出管と、を備える請求項 1 に記載の音響セル。

【請求項 3】

前記複数の音響キャピティの数は 3 個である、請求項 1 に記載の音響セル。

【請求項 4】

前記複数の音響キャピティの内の少なくとも 2 個は異なる寸法を有する、請求項 1 に記載
の音響セル。

【請求項 5】

前記受信手段は、受信変換器と、該受信変換器と前記セルハウジングの前記第 2 端との間
の第 2 ダイアフラムと、を含む、請求項 1 に記載の音響セル。 20

【請求項 6】

前記受信変換器は、
受信カートリッジ・ハウジングと、
該受信カートリッジ・ハウジングの回りの少なくとも 1 個の音響的遮断用 O-リングと、
前記第 2 ダイアフラムの近傍の前記受信カートリッジ・ハウジング内部の受信マイクロホ
ンと、
を含む、請求項 5 に記載の音響セル。

【請求項 7】

前記駆動マイクロホンおよび前記非駆動マイクロホンは、ダイナミックマイクロホンであ
り、かつ前記受信マイクロホンはエレクトレット型マイクロホンである、請求項 6 に記載 30
の音響セル。

【請求項 8】

前記駆動手段は静電型マイクロホンを含み、かつ前記受信手段はキャパシタンス型マイク
ロホンを含む、請求項 1 に記載の音響セル。

【請求項 9】

流れるガス混合物中のガスの濃度を分析する音響セルにおいて、
共鳴チャンバを規定する隣接して結合された複数の音響キャピティをもつ内部を有するセ
ルハウジングと、
前記共鳴チャンバを通してガス混合物を流すべく前記セルハウジングに流体的に接続され
たガス通流手段と、 40
前記セルハウジングを通して流れる前記ガス混合物を介して音響信号を送るために前記セ
ルハウジングの第 1 端に配備された音響駆動手段と、
前記音響信号を受信するために前記セルハウジングの第 2 端に配備された受信手段と、
前記受信された音響信号を処理する処理手段と、
前記流れるガス混合物の共鳴周波数を検出し、該ガス混合物の組成を決定する検出手段と
、
前記音響駆動手段と前記受信手段のうちの少なくとも一つを前記音響セルから音響的に遮
断する遮断手段と、
を備え、
前記音響駆動手段は、 50

駆動カートリッジ・ハウジングと、
該駆動カートリッジハウジングの回りの少なくとも 1 個の音響的遮断用 O-リングと、
前記駆動カートリッジ・ハウジングと前記セルハウジングの前記第一端との間の第 1 ダイヤフラムと、
前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側に嵌装された金属ハウジングと、
前記第 1 ダイヤフラムの近傍の前記金属ハウジングの内部の駆動マイクロホンと、
前記金属ハウジング内で前記駆動マイクロホンと背面を対向した非駆動マイクロホンとを含み、
前記駆動マイクロホンおよび非駆動マイクロホンは、同期入力信号を共有しており、かつ、
前記受信手段は、
受信カートリッジ・ハウジングと、
該受信カートリッジ・ハウジングと前記セルハウジングの前記第 2 端との間の第 2 ダイヤフラムと、
前記受信カートリッジ・ハウジングの回りの少なくとも 1 個の音響的遮断用 O-リングと、
前記第 2 ダイヤフラムの近傍の前記受信カートリッジ・ハウジング内部の受信マイクロホンと、
を備えることを特徴とする、流れるガス混合物中のガスの濃度を分析する音響セル。

【請求項 10】

前記音響セルの作動周波数は、前記第 1 ダイヤフラムの自己共鳴周波数および前記第 2 ダイヤフラムの自己共鳴周波数のいずれよりも低い、請求項 9 に記載の音響セル。

【請求項 11】

前記音響セルの作動周波数は、前記駆動カートリッジ・ハウジングの自己共鳴周波数および前記受信カートリッジ・ハウジングの自己共鳴周波数のいずれよりも低い、請求項 9 に記載の音響セル。

【請求項 12】

前記音響セルを加熱すべく前記セルハウジングに取り付けられた加熱手段と、
前記音響セルの温度を検出すべく前記セルハウジングに取り付けられた検出手段と、
を更に備えてなる、請求項 9 に記載の音響セル。

【請求項 13】

前記音響セルを加熱すべく前記セルハウジングに取り付けられた加熱手段と、
前記音響セルの温度を検出すべく前記セルハウジングに取り付けられた検出手段と、
を更に備えてなる、請求項 1 に記載の音響セル。

【請求項 14】

流れるガス混合物中のガスの組成を分析する音響センサにおいて、
共鳴チャンバを規定する複数の音響キャビティをもつ内部を有するハウジングと、
前記ハウジングを通してガス混合物を流すべく該ハウジングに流体的に接続された通流手段と、

駆動電気信号を受け、該駆動電気信号を駆動音響信号に変換し、かつ該駆動音響信号を前記共鳴チャンバを介して送るべく前記ハウジングの第 1 端に配備された駆動変換器手段と、

受信音響信号を受け、該受信音響信号を受信電気信号に変換し、かつ該受信電気信号を出力すべく前記ハウジングの第 2 端に配備された受信変換器手段と、
前記音響駆動手段と前記受信手段のうちの少なくとも一つを前記音響センサの残りのものから音響的に遮断する遮断手段と、

前記駆動電気信号を前記駆動変換器手段に送るとともに前記受信変換器手段により出力された前記受信電気信号を受ける処理手段と、

前記駆動音響信号の周波数を変更する手段と、

前記ガス混合物に付随する共鳴周波数を検出する手段と、を含み、

前記処理手段は前記ガス混合物の組成を決定する手段を含み、

10

20

30

40

50

前記駆動変換器手段は、駆動変換器と、該駆動変換器と前記ハウジングの前記第 1 端との間の第 1 ダイアフラムとを含み、

前記駆動変換器は、

駆動カートリッジ・ハウジングと、

前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側に嵌装された金属ハウジングと、

前記駆動カートリッジハウジングの回りの少なくとも 1 個の音響的遮断用 O-リングと、

前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側の少なくとも 1 個の音響的遮断用 O-リングと、

前記第 1 ダイアフラムの近傍の前記金属ハウジングの内部の駆動マイクロホンと、

前記金属ハウジング内で前記駆動マイクロホンと背面を対向した非駆動マイクロホンとを含み、かつ、

10

前記駆動マイクロホンおよび非駆動マイクロホンは、同期入力信号を共有している、ことを特徴とする、流れるガス混合物中のガスの組成を分析する音響センサ。

【請求項 15】

前記ガスに付随する共鳴周波数を検出する前記手段は、前記駆動電気信号に関する前記受信電気信号の位相遅れを測定する段階を含む、請求項 14 に記載の音響センサ。

【請求項 16】

前記ガスに伴う共鳴周波数を検出する前記手段は、前記駆動電気信号に関する前記受信電気信号の振幅を測定する段階を含む、請求項 14 に記載の音響センサ。

【請求項 17】

前記共鳴チャンバ内の温度を監視し制御する手段を含む、請求項 14 に記載の音響センサ

20

【請求項 18】

音響共鳴チャンバを規定する、前記駆動変換器手段と前記受信変換器手段との間に配置された 3 つの隣接した音響キャビティを含み、実質的に同一サイズの音響キャビティはより小さいサイズの音響キャビティを挟み、前記音響共鳴チャンバの全容積は 20 c c より小さい、請求項 14 に記載の音響センサ。

【請求項 19】

前記検出器は、約 5 k H z より低い動作周波数を有する、請求項 18 に記載の音響センサ。

【請求項 20】

30

ガス混合物の組成を決定する方法において、

複数個の音響キャビティを有する音響セルを、ハウジング内に、音響信号を送る駆動手段と音響信号を受信する受信手段のうちの少なくとも一つから音響的に遮断して配備する段階と、

前記音響セルを通してガス混合物を流す段階と、

デジタル信号コントローラから駆動電気信号を受ける段階と、

前記駆動電気信号を駆動音響信号に変換する段階と、

前記音響セル内に設けられた前記駆動手段から前記音響セルを通して流れる前記ガス混合物を介して前記駆動音響信号を送る送信段階と、

前記ガス混合物を介して前記駆動信号を送る段階の後に、前記音響セルの反対側の端部に配備された前記受信手段を用いて、受信音響信号を受ける受信段階と、

40

前記受信音響信号を受信電気信号に変換する段階と、

前記受信電気信号を前記デジタル信号コントローラに出力する段階と、

前記デジタル信号コントローラ内で、前記受信電気信号を処理し、前記ガス混合物に付随する共鳴周波数を検出する段階と、

前記共鳴周波数に基づいて、前記ガス混合物の組成を決定する段階と、

を備え、

前記駆動手段は、駆動変換器と、該駆動変換器と前記ハウジングの第 1 端との間の第 1 ダイアフラムとを含み、

前記駆動変換器は、

50

駆動カートリッジ・ハウジングと、
前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側に嵌装された金属ハウジングと、
前記駆動カートリッジハウジングの回りの少なくとも1個の音響的遮断用O-リングと、
前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側の少なくとも1個の音響的遮断用O-リングと、
前記第1ダイヤフラムの近傍の前記金属ハウジングの内部の駆動マイクロホンと、
前記金属ハウジング内で前記駆動マイクロホンと背面を対向した非駆動マイクロホンとを含み、かつ、
前記駆動マイクロホンおよび非駆動マイクロホンは、同期入力信号を共有している、
ことを特徴とするガス混合物の組成を決定する方法。

【発明の詳細な説明】

10

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高速で高感度の音響セルに関し、特に、金属有機化学蒸着(MOCVD)前駆体(precursor)ガスをインラインで継続的に監視するのに適した音響セル、音響センサおよびガス混合物の組成決定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

これまで、金属有機化学蒸着(MOCVD)方法への関心が着実に高まっており、特に、例えば光電子工学を応用したInGaAsPデバイスなどの複合薄膜構造を成長させる方法の関心が高まっている。このデバイスを成形する場合の膜成長は冷壁反応器内で行われ、該反応器内には、その量が厳密に制御された反応物が導入される。しかし、デバイスの品質および再現性は、反応器内への前駆体試薬の導入の正確さに大きく依存する。

20

【0003】

通常、反応器内への前駆体試薬は、水素などのキャリア・ガスの流れにより、トリメチル・インジウム(TMI)などの固体原料、または、トリメチル・ガリウム(TMGa)などの液体原料から導入される。また、前駆体試薬の濃度は、質量流量率(フローレート)、原料の分圧、および、操作圧力に基づいて見積もられるのが通常である。従来では、原料の蒸気圧は一定であり、かつ、キャリア・ガス内での前駆体のモル分率は安定している、という前提に立っている。しかしながら、固体原料の場合のように原料の蒸気圧が低かったり、あるいは、原料が相当の程度まで消費されてしまったときには、斯かる前提が常に成り立つとは限らない。また、薄膜が形成された後に該薄膜の品質を検査する方法は数多くあるが、品質制御およびプロセス制御の観点からは、膜の成長が始まる前に前駆体試薬の稠度(consistency)を監視して制御すれば好適である。

30

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

蒸気の形態に在る前駆体試薬の稠度の監視は、キャリア・ガス内の前駆体試薬の割合を測定することにより行われる。この2元ガス分析は、光学的、化学的、または、音響学的な技術を用いて行われるのが普通である。音響学的技術の例としては、経過時間(time-of-flight)技術、および共振空洞技術が挙げられる。経過時間装置においては、調整された超音波変換器を用い、短(5 μ s)発式の音響パルスを発射するとともにこれを検出している。この点、2元ガスの組成に直接的に関係する音速は測定される一方、作動周波数は約100kHz以上とされるのが普通である。経過時間装置を用いた場合の問題点としては、パルス形状の不正確さ、反響、寄生伝導(parasitic conduction)、信号減衰および、パルス形状の歪曲などがある。これらの問題があることから、低圧の水素型ガスとともに経過時間装置を使用すると、装置の性能は制限される。

40

【0005】

共振空洞装置は2元ガス混合物の共鳴周波数を測定するものであり、共鳴周波数は2元ガスの組成に直接的に関係する。超音波共振空洞装置においても、幾つかの理由により問題が発生する。第1に、変換器は作動周波数範囲を包含すべく広帯域に調整して使用される

50

ことから、共振空洞装置は特定の種類のガスに向けて設計される必要があり、従って、その応用範囲は限定される。第2に、数十～数百キロヘルツの周波数で作動する場合、センサ内には、径方向、軸心方向、および、方位方向などの多くの競合する共鳴モードが存在し、これらの共鳴は、例えばダイヤフラムなどの個別要素の倍音共鳴と結合する。従って、組成、温度および圧力の変動を無視したとしても、どの共鳴が試験ガスによるものであるかを厳密に特定し、その共鳴を追跡することは極めて困難である。第3に、本来的に熱弾性的な減衰、即ち、ガス媒体における本来的な音波エネルギー減衰が存在し、これが問題を引き起こす。この点、水素型ガスにおいては、この減衰が作動周波数の2乗に従って増大し、従って、超音波範囲で共振空洞技術を使用する理由はない。

【0006】

以上により、設計を行なう上では体積の小ささおよび周波数を考慮せねばならない。即ち、センサの体積は、所定のガスフローレート（流速）にてセンサを掃引するに必要な時間と直接的に関係している。もし、センサからの迅速な応答が必要であれば、センサ体積は実用的に小さくしなければならない。但し、この体積を減少させたとしても、水素ガスを使用する場合には非常な欠点がある。即ち、水素は極めて軽量なガスであることから、作動圧力が100 Torr（大気圧の10%）以下である場合には、閉塞された容積内で定常波を確立する流体の媒体が殆ど存在しないのである。また、共鳴装置の金属閉塞体を貫通する寄生信号が、ガスを貫通する信号に等しくなりまたはこれよりも優位になり、位相・周波数の関係を歪曲させてしまう。さらに、共鳴器のクオリティ・ファクタ（Q）が相当に低下し、共鳴を安定に保つことが難しくなる。このQを可及的に高レベルに保ち、これにより、2元ガス分析器としての感度を低下せしめる“定態安定性の損失”を回避することは極めて重要である。従って、小体積としては20 cc以下、高いQとしては20以上が望ましい。

【0007】

一方、作動周波数はセンサ・セルの長さに部分的に依存する一方、体積および所望のQにも依存する。直円筒形状のセンサ・セル（が、本譲受人が開発したINCONELの1"のダイヤフラムに装着される為）の1インチの端径の場合、体積を18 ccとするならばセルの長さは35.5 mmとなる。また、水素ガス（音速は1,260 m/s）とともに使用される場合、実現可能な作動周波数の最低値は約17,735 Hzである。体積が一定ならば、直径を小さく設計すると長さが増大して共鳴周波数が低くなる。しかし乍ら、ダイヤフラムを介した音響信号の伝達は、その直径の4乗に比例して変化することから、ダイヤフラムの寸法を減少することは避けねばならない。

【0008】

他方、17 KHzの共鳴器には、多くの問題が付随する。例えば、殆どのマイクロホンは7 KHzまでは比較的フラットに应答するが、10 KHzを越えると、マイクロホンが自己共鳴する周波数を除き、マイクロホンの効率は激しく低下する。本譲受人が開発したINCONELダイヤフラムの最低モード周波数は5.5～7 KHzの範囲である。ダイヤフラムの内部共鳴から生じる複雑化を避けるためこの範囲以下で作動することが好ましい。最後に、内部摩擦は、水素型ガスの作動周波数の2乗に比例して増大する。

【0009】

従って、本発明の目的は、先行技術における欠点および制限を克服し得る音響センサを提供するにある。

本発明の他の目的は、小さな体積、高いQ、および、5 KHz以下の作動周波数を有する音響センサを提供するにある。

本発明の更なる目的は、工場における校正を要せずに、2元ガス組成を決定し得る音響センサを提供するにある。

【0010】

本発明の更に別の目的は、寄生信号コンダクタンスを減少する音響センサを提供するにある。

本発明の更に他の目的は、極めて低い圧力においてSN（信号対ノイズ）比を増大させ得

10

20

30

40

50

る音響センサを提供するにある。

【 0 0 1 1 】

【課題を解決するための手段】

簡潔に述べれば、音響セルは流体的に相互結合された複数の音響キャビティを含んでいる。これらの音響キャビティの少なくとも2個は、相互に異なる長さおよび断面積を有している。また、音響セルの端部セグメントは、均一な円筒形状または円錐形状とされている。更に、音響セルの一端の駆動変換器および他端の受信変換器は音響セルから音響的に遮断されている。而して、好適には金属製の一对の遮断ダイヤフラムがこれらの変換器間で音響信号を伝達するが、音響信号の位相 - 周波数特性を著しく変化させることはない。音響セルは音響共鳴器として作動するが、これは、遮断ダイヤフラムまたは駆動変換器および受信変換器の一切の自己共鳴周波数より低い周波数で作動する。2元ガスがセルを通じて流されるとき、プロセッサはセル内のガスの共鳴周波数を検出してガス組成を決定する。

10

【 0 0 1 2 】

本発明の一実施例によれば、音響セルは、流れるガス混合物中のガスの濃度を分析する音響セルにおいて、共鳴チャンバを規定する隣接して結合された複数の音響キャビティをもつ内部を有するセルハウジングと、前記共鳴チャンバを通してガス混合物を流すべく前記セルハウジングに流体的に接続されたガス通流手段と、前記セルハウジングを通して流れる前記ガス混合物を介して音響信号を送るために前記セルハウジングの第1端に配備された音響駆動手段と、前記音響信号を受信するために前記セルハウジングの第2端に配備された受信手段と、前記受信された音響信号を処理する処理手段と、前記流れるガス混合物の共鳴周波数を検出し、該ガス混合物の組成を決定する検出手段と、前記音響駆動手段と前記受信手段のうちの少なくとも一つを前記音響セルから音響的に遮断する遮断手段と、を備え、前記音響駆動手段は、駆動変換器と、該駆動変換器と前記セルハウジングの前記第1端との間の第1ダイヤフラムとを含み、前記駆動変換器は、駆動カートリッジ・ハウジングと、前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側に嵌装された金属ハウジングと、前記駆動カートリッジハウジングの回りの少なくとも1個の音響的遮断用O - リングと、前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側の少なくとも1個の音響的遮断用O - リングと、前記第1ダイヤフラムの近傍の前記金属ハウジングの内部の駆動マイクロホンと、前記金属ハウジング内で前記駆動マイクロホンと背面を対向した非駆動マイクロホンとを含み、かつ、前記駆動マイクロホンおよび非駆動マイクロホンは、同期入力信号を共有している。

20

30

【 0 0 1 3 】

また、本発明の一実施例によれば、音響センサは、流れるガス混合物中のガスの組成を分析する音響センサにおいて、共鳴チャンバを規定する複数の音響キャビティをもつ内部を有するハウジングと、前記ハウジングを通してガス混合物を流すべく該ハウジングに流体的に接続された通流手段と、駆動電気信号を受け、該駆動電気信号を駆動音響信号に変換し、かつ該駆動音響信号を前記共鳴チャンバを介して送るべく前記ハウジングの第1端に配備された駆動変換器手段と、受信音響信号を受け、該受信音響信号を受信電気信号に変換し、かつ該受信電気信号を出力すべく前記ハウジングの第2端に配備された受信変換器手段と、前記音響駆動手段と前記受信手段のうちの少なくとも一つを前記音響センサの残りのものから音響的に遮断する遮断手段と、前記駆動電気信号を前記駆動変換器手段に送るとともに前記受信変換器手段により出力された前記受信電気信号を受ける処理手段と、前記駆動音響信号の周波数を変更する手段と、前記ガス混合物に付随する共鳴周波数を検出する手段と、を含み、前記処理手段は前記ガス混合物の組成を決定する手段を含み、前記駆動変換器手段は、駆動変換器と、該駆動変換器と前記ハウジングの前記第1端との間の第1ダイヤフラムとを含み、前記駆動変換器は、駆動カートリッジ・ハウジングと、前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側に嵌装された金属ハウジングと、前記駆動カートリッジハウジングの回りの少なくとも1個の音響的遮断用O - リングと、前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側の少なくとも1個の音響的遮断用O - リングと、前記第1ダイ

40

50

ヤフラムの近傍の前記金属ハウジングの内部の駆動マイクロホンと、前記金属ハウジング内で前記駆動マイクロホンと背面を対向した非駆動マイクロホンとを含み、かつ、前記駆動マイクロホンおよび非駆動マイクロホンは、同期入力信号を共有している。

【 0 0 1 4 】

更に、本発明の一実施例によれば、ガス混合物の組成を決定する方法は、ガス混合物の組成を決定する方法において、複数個の音響キャピティを有する音響セルを、ハウジング内に、音響信号を送る駆動手段と音響信号を受信する受信手段のうちの少なくとも一つから音響的に遮断して配備する段階と、前記音響セルを通してガス混合物を流す段階と、デジタル信号コントローラから駆動電気信号を受ける段階と、前記駆動電気信号を駆動音響信号に変換する段階と、前記音響セル内に設けられた前記駆動手段から前記音響セルを通して流れる前記ガス混合物を介して前記駆動音響信号を送る送信段階と、前記ガス混合物を介して前記駆動信号を送る段階の後に、前記音響セルの反対側の端部に配備された前記受信手段を用いて、受信音響信号を受ける受信段階と、前記受信音響信号を受信電気信号に変換する段階と、前記受信電気信号を前記デジタル信号コントローラに出力する段階と、前記デジタル信号コントローラ内で、前記受信電気信号を処理し、前記ガス混合物に付随する共鳴周波数を検出する段階と、前記共鳴周波数に基づいて、前記ガス混合物の組成を決定する段階と、を備え、前記駆動手段は、駆動変換器と、該駆動変換器と前記ハウジングの第1端との間の第1ダイヤフラムとを含み、前記駆動変換器は、駆動カートリッジ・ハウジングと、前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側に嵌装された金属ハウジングと、前記駆動カートリッジハウジングの回りの少なくとも1個の音響的遮断用O-リングと、前記駆動カートリッジ・ハウジングの内側の少なくとも1個の音響的遮断用O-リングと、前記第1ダイヤフラムの近傍の前記金属ハウジングの内部の駆動マイクロホンと、前記金属ハウジング内で前記駆動マイクロホンと背面を対向した非駆動マイクロホンとを含み、かつ、前記駆動マイクロホンおよび非駆動マイクロホンは、同期入力信号を共有している。

【 0 0 1 5 】

本発明に係る上記および上記以外の目的、特徴および利点について、同一の要素を同一の参照番号で示した添付図面を参照して以下に説明する。

【 0 0 1 6 】

【発明の実施の形態】

ガス組成の分析は、与えられたガス媒体内での音速を測定して行われる。ガスの2元混合物に関し、音速 c は下式(1)で与えられる。

【 0 0 1 7 】

【数1】

$$c^2 = \gamma \frac{RT}{M} \quad (1)$$

【 0 0 1 8 】

式中、 γ はガス混合物の平均比熱、 M はガス混合物の数平均分子量、 R は 8311.7 m k s 単位(一般ガス定数)、および、 T は絶対温度である。

キャリア・ガス中の前駆体ガスのモル分率が x であれば、次式が成立する。

【 0 0 1 9 】

【数2】

10

20

30

40

$$\frac{1}{\bar{\gamma}-1} = \frac{x}{\gamma_1-1} + \frac{1-x}{\gamma_2-1} \quad (2)$$

【 0 0 2 0 】

該式は

【 0 0 2 1 】

10

【 数 3 】

$$\bar{\gamma} = 1 + \frac{(\gamma_1-1)(\gamma_2-1)}{x(\gamma_2-1) + (1-x)(\gamma_1-1)} \quad (3)$$

【 0 0 2 2 】

および

20

【 0 0 2 3 】

【 数 4 】

$$\bar{M} = xM_1 + (1-x)M_2 \quad (4)$$

30

【 0 0 2 4 】

として書き換えることができ、ここで、下添字 1 および 2 はそれぞれ、前駆体ガスおよびキャリア・ガスを表わしている。与えられた 2 元ガスのモル分率に関する情報は、上式 (1) ~ (4) から、次の様に得られる。此処で、便宜的に以下の量を定義する。

【 0 0 2 5 】

【 数 5 】

$$m = \frac{M_1}{M_2} \quad (5)$$

40

【 0 0 2 6 】

【 数 6 】

$$g = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \quad (6)$$

【 0 0 2 7 】

【 数 7 】

10

$$h = \frac{1}{\gamma_2} \quad (7)$$

【 0 0 2 8 】

式 (5) ~ (7) を式 (1) ~ (4) と組み合わせれば、下式 (8) , (9) が得られる。

【 0 0 2 9 】

【 数 8 】

20

$$\bar{M} = M_2((m-1)x+1) \quad (8)$$

【 0 0 3 0 】

【 数 9 】

30

$$\bar{\gamma} = 1 + \gamma_2 \frac{(g-h)(1-h)}{x(1-g)+(g-h)} \quad (9)$$

【 0 0 3 1 】

が得られる。

又、式 (8) および式 (9) を式 (1) とともに用いれば、下式 (1 0) が得られる。

【 0 0 3 2 】

【 数 1 0 】

40

$$c^2 = c_2^2 \frac{h + \frac{(g-h)(1-h)}{x(1-g)+(g-h)}}{1+(m-1)x} \quad (10)$$

【 0 0 3 3 】

式 (1 0) における c_2 は、

50

【 0 0 3 4 】

【 数 1 1 】

$$c_2 = \sqrt{\frac{\gamma_2 RT}{M_2}} . \quad (11)$$

【 0 0 3 5 】

10

により与えられる純粋なキャリア・ガス中の音速を示す。

音響的共鳴器内で測定された共鳴周波数は音速に正比例することから、比率を

【 0 0 3 6 】

【 数 1 2 】

$$\lambda = \left(\frac{c}{c_2}\right)^2 = \left(\frac{f}{f_2}\right)^2 \quad (12)$$

20

【 0 0 3 7 】

と定義するが、式 (1 2) 中、 f および f_2 は、それぞれ、混合ガス中および純粋なキャリア・ガス中の共鳴周波数を示す。式 (1 0) ~ (1 2) を組み合わせれば、

【 0 0 3 8 】

【 数 1 3 】

$$\lambda(1+(m-1)x) = h + \frac{(g-h)(1-h)}{x(1-g)+(g-h)} . \quad (13)$$

30

【 0 0 3 9 】

が得られる。

式 (1 3) を簡単にすると、

【 0 0 4 0 】

【 数 1 4 】

$$Ax^2 + Bx + C = 0 \quad (14)$$

40

【 0 0 4 1 】

の形の 2 次方程式が得られ、式 (1 4) において A , B および C はそれぞれ下式 (1 5) , (1 6) , (1 7) で与えられる。

【 0 0 4 2 】

【 数 1 5 】

$$A=\lambda(m-1)(1-g) \quad (15)$$

【 0 0 4 3 】

【 数 1 6 】

10

$$B=\lambda m(g-h)+\lambda(1-2g+h)-h(1-g) \quad (16)$$

【 0 0 4 4 】

【 数 1 7 】

$$C=(\lambda-1)(g-h) \quad (17)$$

20

【 0 0 4 5 】

上式 (1 4) の解は、

【 0 0 4 6 】

【 数 1 8 】

$$x_{1,2}=\frac{-B\pm\sqrt{B^2-4AC}}{2A} \quad (18)$$

30

【 0 0 4 7 】

の形となる。取り得る解の範囲は、 $0 \leq x_1, x_2 \leq 1$ となる実数範囲内である。圧倒的に多数の2元ガス系において、 x には唯一の解が存在するが、これは、前駆体ガスのモル分率と音速との間に単調な関係があることを意味する。図1は、水素キャリア・ガス中におけるTMI に対するこの関係を示している。

本発明においては、式 (1 3) 中の変数 m , g および i が、分析されつつある2元ガスに対して知られる。また、 i が一旦決定されれば、 x_1, x_2 は算出できる。更に、 f_2 が知られていることから、 f を一旦決定すれば式 (1 2) から x を算出できる。音響共鳴周波数に関する以下の検討内容は、本発明を理解する上で有用なものである。

40

【 0 0 4 8 】

ガス共鳴器は、

【 0 0 4 9 】

【 数 1 9 】

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + 2\lambda \frac{dx}{dt} + kx = A_0 \cos(2\pi f t) \quad (19)$$

【 0 0 5 0 】

に従って調和力により駆動される減衰共鳴器と見ることができる。式 (1 9) 中、 m は共鳴器の質量、 λ は減衰係数 (対数的に減少)、 k はバネ定数、 A_0 は駆動力の振幅、 f は駆動力の振動数、 x は時間 t における質量の瞬間的移動量である。 x の解は 10
 $x = x_0 \cos(2\pi f t + \phi)$ の形となり、式中、 x_0 および ϕ は、それぞれ
 駆動周波数の振幅、および、力と結果的質量移動量 x との間の位相の遅れ (l a g)
 を表わす。 x_0 は

【 0 0 5 1 】

【 数 2 0 】

$$x_0 = \frac{(A_0/2\pi m)}{\sqrt{(f_0^2 - f^2)^2 + (ff_0/Q)^2}} \quad (20)$$

20

【 0 0 5 2 】

として示され得ることが知られ、式中、 f_0 は

【 0 0 5 3 】

【 数 2 1 】

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (21)$$

30

【 0 0 5 4 】

により与えられる共鳴周波数であり、 Q は

【 0 0 5 5 】

【 数 2 2 】

$$Q = \pi f_0 m / \lambda \quad (22)$$

40

【 0 0 5 6 】

により与えられる共鳴器のクオリティ・ファクタである。位相の遅れは、

【 0 0 5 7 】

【 数 2 3 】

$$\tan\varphi = \frac{-ff_0}{Q(f_0^2 - f^2)} . \quad (23)$$

【 0 0 5 8 】

により得られる。従って、振幅 x_0 および位相の遅れ φ は、考察中の系を完全に記述している。振幅 x_0 は、駆動周波数 f が f_0 に等しいときにピーク値を取る。また、上記式 (23) を分析すると、

$f \ll f_0$ の場合、 $\varphi = 0$,

$f = f_0$ の場合、 $\varphi = -\pi/2$,

$f \gg f_0$ の場合、 $\varphi = -\pi$

である。 Q^{-1} は共鳴器内に蓄積された総計エネルギーと比較した場合の減衰によるエネルギー損失率の比を表わすことから、 f_0 および Q は共鳴器システムの機構の特徴を適切に表わしている。

【 0 0 5 9 】

図 2 は、共鳴の近傍における典型的な位相および振幅の変化を示す。

振幅の測定により共鳴周波数 f_0 を決定する為に、上記式 (20) から

【 0 0 6 0 】

【 数 2 4 】

$$y(f) = \frac{1}{x_0^2} = \left(\frac{2\pi m}{A_0} \right)^2 ((f_0^2 - f^2)^2 + (ff_0/Q)^2) . \quad (24)$$

【 0 0 6 1 】

を定義する。 $y(f)$ を $y(f_0)$ で割れば、

【 0 0 6 2 】

【 数 2 5 】

$$\frac{y(f)}{y(f_0)} = \frac{(f_0^2 - f^2)^2 + (ff_0/Q)^2}{(f_0^2/Q)^2} . \quad (25)$$

【 0 0 6 3 】

が得られる。

共鳴の近傍においては $f_0^2 - f^2 = 2f_0(f_0 - f)$ である。 f_0 は未だ決定されていないことから、共鳴周波数 f_0 の近傍における基準周波数 f_R に関し

【 0 0 6 4 】

【 数 2 6 】

$$f_0 - f = (f_R - f) + (f_0 - f_R) = \Delta + \Delta_0. \quad (26)$$

【 0 0 6 5 】

の様に周波数を定義する。増分周波数 に関して $y(f) / y(f_0)$ を書き換えれば、

【 0 0 6 6 】

【 数 2 7 】

10

$$\frac{y(f)}{y(f_0)} = 1 + 4Q^2(f_0 - f)^2 / f_0^2 = (2Q/f_0)^2(\Delta + \Delta_0)^2 + 1 \quad (27)$$

【 0 0 6 7 】

を得るが、式 (2 7) は

【 0 0 6 8 】

【 数 2 8 】

20

$$y(\Delta) = b_0 + b_1\Delta + b_2\Delta^2 \quad (28)$$

【 0 0 6 9 】

として 2 次方程式の形に書き換えることができる。式 (2 8) 中において、

【 0 0 7 0 】

【 数 2 9 】

30

$$b_0 = (1 + (2Q/f_0)^2\Delta_0^2)y(f_0) \quad (29)$$

【 0 0 7 1 】

【 数 3 0 】

40

$$b_1 = 2\Delta_0(2Q/f_0)^2y(f_0) \quad (30)$$

【 0 0 7 2 】

【 数 3 1 】

$$b_2 = (2Q/f_0)^2 y(f_0). \quad (31)$$

【 0 0 7 3 】

が成り立つ。

$y(\quad)$ に関する放物線回帰を行ない、後述する b_0 , b_1 および b_2 に最適な値を決定する為に、 f_R の回りで多数の測定を行なうのが好適である。次に式 (2 9) ~ (10 3 1) からは、

【 0 0 7 4 】

【 数 3 2 】

$$\Delta_0 = \frac{0.5b_1}{b_2} \quad (32)$$

20

【 0 0 7 5 】

【 数 3 3 】

$$f_0 = f_R + \Delta_0 \quad (33)$$

【 0 0 7 6 】

【 数 3 4 】

30

$$Q = \frac{(f_0/2)}{\sqrt{(b_0/b_2) - \Delta_0^2}} \quad (34)$$

【 0 0 7 7 】

【 数 3 5 】

40

$$y(f_0) = b_0 - b_2 \Delta_0^2 \quad (35)$$

【 0 0 7 8 】

【 数 3 6 】

$$x_0(f_0) = \frac{1}{\sqrt{y(f_0)}}. \quad (36)$$

【 0 0 7 9 】

が得られる。

図 3 は、共鳴の近傍における $y(f) = 1/x_0^2$ および x_0 をプロットしたものである 10
。位相の測定から共鳴周波数 f_0 を決定する為に上式 (23) を下式 (37), (38)
と書き換える。

【 0 0 8 0 】

【 数 3 7 】

$$(f_0^2 - f^2) \tan \varphi = -ff_0/Q \quad (37)$$

20

【 0 0 8 1 】

【 数 3 8 】

$$\frac{\partial \varphi}{\partial f} = \frac{-(f_0/Q)(f_0^2 + f^2)}{(f_0^2 - f^2)^2 + (ff_0/Q)^2}. \quad (38)$$

30

【 0 0 8 2 】

上述の如く、共鳴の近傍においては $f_0^2 - f^2 \approx 2f_0(f_0 - f)$ である。従って、

【 0 0 8 3 】

【 数 3 9 】

$$\frac{\partial \varphi}{\partial f} \approx \frac{-2f_0^2(f_0/Q)}{4f_0^2(f_0 - f)^2 + (ff_0/Q)^2}. \quad (39)$$

40

【 0 0 8 4 】

である。

ここでも、 f_0 は未だ決定されていないことから、共鳴周波数 f_0 の近傍の基準周波数 f_R に関して周波数を

【 0 0 8 5 】

【 数 4 0 】

$$f_0 - f = (f_R - f) + (f_0 - f_R) = \Delta + \Delta_0. \quad (40)$$

【 0 0 8 6 】

と定義する。従って、下式 (4 1) , (4 2) が成り立つ。

【 0 0 8 7 】

【 数 4 1 】

10

$$\frac{\partial \varphi}{\partial f} = - \frac{\partial \varphi}{\partial \Delta} \quad (41)$$

【 0 0 8 8 】

【 数 4 2 】

20

$$y(\Delta) = \frac{\partial \Delta}{\partial \varphi} \approx (2Q/f_0)(\Delta + \Delta_0)^2 + (f_0/2Q) = b_0 + b_1\Delta + b_2\Delta^2 \quad (42)$$

【 0 0 8 9 】

ここで、 b_0 , b_1 および b_2 はそれぞれ下式 (4 3) , (4 4) および (4 4) で示される。

【 0 0 9 0 】

【 数 4 3 】

30

$$b_0 = (f_0/2Q) + (2Q/f_0)\Delta_0^2 \quad (43)$$

【 0 0 9 1 】

【 数 4 4 】

40

$$b_1 = (2Q/f_0)2\Delta_0 \quad (44)$$

【 0 0 9 2 】

【 数 4 5 】

$$b_2 = (2Q/f_0). \quad (45)$$

【 0 0 9 3 】

最適な回帰係数を決定すべく放物線回帰を行なう前に、 f_R の回りで多数の測定を行なう。すると、式 (4 3) ~ (4 5) から、下式 (4 6) , (4 7) および (4 8) が得られる。

【 0 0 9 4 】

10

【 数 4 6 】

$$\Delta_0 = \frac{0.5b_1}{b_2} \quad (46)$$

【 0 0 9 5 】

【 数 4 7 】

20

$$f_0 = f_R + \Delta_0 \quad (47)$$

【 0 0 9 6 】

【 数 4 8 】

30

$$Q = \frac{(f_0/2)}{\sqrt{b_0/b_2 - \Delta_0^2}}. \quad (48)$$

【 0 0 9 7 】

図 4 は、共鳴の近傍における (- 1 / d) および をプロットした図である。前述した放物線回帰法は、次のように説明される。

【 0 0 9 8 】

【 数 4 9 】

40

$$y(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 \quad (49)$$

【 0 0 9 9 】

の形のモデルの場合、回帰式は

【 0 1 0 0 】

【 数 5 0 】

50

$$\begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum xY \\ \sum x^2Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum x & \sum x^2 \\ \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 \\ \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (50)$$

10

【 0 1 0 1 】

の形の行列式を構成する。

この回帰行列を逆変換することにより、最適なパラメータが得られる。この行列式は任意の個数の測定データ点に逆変換できるが、基準値ゼロに関して等間隔とされ且つ対称なデータ点を選択することにより、作業は簡素化される。即ち、行列式の要素の半分はゼロとなる。例えば、1 Hz ずつ離間した 11 個のデータ点を基準点の回りに取れば、 $n = 11$ 、 $x = 0$ 、 $x^2 = 110$ 、 $x^3 = 0$ および $x^4 = 1958$ である。これらの値により、 b の値は下記の逆行列式

【 0 1 0 2 】

【 数 5 1 】

20

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1958/9438 & 0 & -110/9438 \\ 0 & 1/110 & 0 \\ -110/9438 & 0 & 11/9438 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum xY \\ \sum x^2Y \end{bmatrix} \quad (51)$$

【 0 1 0 3 】

30

から得られる。

パラメータ b の値が一旦知られれば、共鳴周波数 f_0 は上述した振幅測定または位相測定から決定される。データを必ずしも 1 Hz ずつ離間する必要はないが、等間隔とした場合には、パラメータ b は増加ステップ s により次のように比率をつけねばならない：

$$\begin{aligned} b_0 & \quad b_0, \\ b_1 & \quad b_1 / s \text{ および} \\ b_2 & \quad b_2 / s^2 \end{aligned}$$

図 5 ~ 図 7 を参照するに、音響セル 1 は、好適には金属製のハウジング 10 を含んでおり、また、該ハウジング 10 は例えば音響キャビティ（空洞）11、12 および 13 などの複数個の音響キャビティを含んでいる。音響キャビティ 12 は他の音響キャビティ 11 および 13 よりも小さい。また、第 1 および第 2 ダイアフラム 20a および 20b は、INCONEL、ステンレス鋼、または、他の非酸化金属合金などの金属から成るのが好適である。第 1 および第 2 ダイアフラム 20a、20b がハウジング 10 内に設置されるとき、ハウジング 10 内の O - リング溝 22 にはシール用 O - リング 21 が嵌装される。斯くして、第 1 および第 2 ダイアフラム 20a、20b は音響キャビティ 11 および 13 の側壁を形成する。

【 0 1 0 4 】

図 6 の (A) および (B) を参照するに、例えば駆動マイクロホン・カートリッジ 30 の如き駆動変換器がハウジング 10 内に嵌装されて第 1 のダイアフラム 20a に当接して

50

いる。この駆動マイクロホン・カートリッジ 30 は、駆動第 1 ダイアフラム 20 a を駆動する駆動マイクロホン 34 と、非駆動 (a n t i - d r i v i n g) マイクロホン 32 とを含んでいる。駆動マイクロホン 34 および非駆動マイクロホン 32 は、好適にはハウジング 33 にエポキシ接着される。ハウジング 33 は、駆動マイクロホン・カートリッジ 30 の内部円筒壁内の (不図示の) 2 個の遮断用 O - リングにより駆動マイクロホン・カートリッジ 30 から音響的に遮断されるのが好適である。この点、駆動マイクロホン・カートリッジ 30 の外部円筒壁内の 2 個の遮断 O - リング溝 38 により、2 個の O - リング 37 は駆動マイクロホン・カートリッジ 30 を音響的に減衰し、ハウジング 10 を貫通する寄生路を通る信号伝達の一切を実質的に減ずることが出来る。1 ~ 7 K h z の範囲の駆動変換器としては、ダイナミック (e l e c t r o d y n a m i c) マイクロホンで十分である。O - リング溝 38 の各側の 2 個の通気孔 65 により、駆動マイクロホン・カートリッジ 30 内の圧力変化が均等化される。

10

【 0 1 0 5 】

駆動マイクロホン・カートリッジ 30 は、該駆動マイクロホン・カートリッジ 30 内の所定位置にハウジング 33 を保持する端部ワッシャ 22 を含んでいる。この端部ワッシャ 22 は、図 6 (B) に示されたネジ孔 24 内に挿通された (不図示の) ネジを介して駆動マイクロホン・カートリッジ 30 に締着されるのが好適である。また、端部ワッシャ 22 とハウジング 33 との間には、(不図示の) 遮断 O - リングが好適に嵌装される。他方、駆動マイクロホン・カートリッジ 30 は、カラー 23 によりハウジング 10 内の所定位置に保持される。

20

【 0 1 0 6 】

駆動入力 35 は駆動マイクロホン 34 および非駆動マイクロホン 32 を同期して起動することから、駆動マイクロホン・カートリッジ 30 はハウジング 10 に与える運動量を最小限とし乍ら、音響セル 1 内のガス媒体を介して音響信号を伝達する。従って、寄生路を介した信号伝達は略々ゼロであるが、ガス媒体を介した信号伝達は低下しない。尚、駆動マイクロホン 34 および非駆動マイクロホン 32 は、位相および振幅に関して選択的にかつ個々に調節可能である。これらのマイクロホンは、標準的な製造許容差を以て同一の製造業者により製造されるのであれば、位相および振幅に関して十分に整合するものである。

【 0 1 0 7 】

図 7 を参照するに、例えば受信マイクロホン・カートリッジ 40 などの受信変換器は、ハウジング 10 内に嵌装されて第 2 ダイアフラム 20 b に当接する。受信マイクロホン・カートリッジ 40 は、第 2 ダイアフラム 20 b からの振動を受けて受信信号 41 a を出力する受信マイクロホン 42 を含んでいる。受信マイクロホン 42 としては、音響信号を検出したときに極めて高い感度と十分に平坦な周波数応答とが必要なことから、エレクトレット (e l e c t r e t) 型マイクロホンとするのが好適である。受信マイクロホン 42 は、その寸法が小さいことから、受信マイクロホン・カートリッジ 40 内に直接的に嵌装される。また、受信マイクロホン 42 は、遮断 O - リング 43 により受信マイクロホン・カートリッジ 40 から音響的に遮断されれば好適である。更に、受信マイクロホン・カートリッジ 40 は、O - リング溝 48 内に装入された遮断 O - リング 47 によりハウジ
ング 10 から音響的に遮断されている。O - リング溝 38 の各側における 2 個の通気孔 65 は、受信マイクロホン・カートリッジ 40 内の圧力差を均等化する。尚、受信信号 41 a 、電力線 41 b 、アース線 41 c の全ては、受信マイクロホン・カートリッジ 40 から電氣的に絶縁されている。

30

40

【 0 1 0 8 】

受信マイクロホン 42、駆動マイクロホン 34、非駆動マイクロホン 32 は、上述の如く取り付けられ、音響セル 1 の一端から他端への金属部分を通る雑音の伝導を最小限なものとする。本発明の低い作動圧力においては、雑音伝導を最小限にすることが重要である。

ここで図 5 に戻ると、音響キャビティ 11, 12 および 13 から成る音響共鳴チャンバと

50

、非金属要素を有する駆動および受信マイクロホン 34, 42 との間には、金属ダイヤフラム 20a, 20b が介装され、ガス流の汚染を防止するとともに、上記音響共鳴チャンバ内の圧力破裂からマイクロホンを保護している。ダイヤフラム 20a, 20b は、大気圧における基本モード周波数が約 6 KHz である半引張型 (semi-tensioned) で 1 インチ直径のダイヤフラムとするのが好適である。

【0109】

上記音響キャピティ 11 には、ガス取入孔 71 を介してガス導入管 70 が接続されている。また、上記音響キャピティ 13 には、ガス吐出口 81 を介してガス吐出管 80 が接続されている。更に、上記ハウジング 10 内には、好適には白金の RTD 温度センサ 50 が取り付けられて正確な温度情報を提供している。ハウジング 10 の厚肉部には 2 個のヒータ取付孔 60 が穿設され、(不図示の)ヒータ要素を取付けて音響セル 1 を所定温度から 0.1 以内に保持している。

10

【0110】

図 8 を参照すると、音響セル 1 にはデジタル信号処理器 100 から駆動入力信号 35 が送られる。デジタル信号処理器 100 はデジタル・サイン波発生器などのデジタル波形合成器を含み、該デジタル波形合成器は、アナログ・サイン波 96 を出力する D/A コンバータ 97 へ合成サイン波 98 を送信する。増幅器 95 はサイン波 96 を増幅して、音響セル 1 への駆動入力信号 35 を生成する。音響セル 1 は、該音響セル 1 内のガス媒体の組成に直接的に関係する受信信号 41a を出力する。受信信号 41a は増幅器 90 により増幅され、該増幅器 90 は、デジタル信号 93 をデジタル信号処理器 100 に送る A/D コンバータ 92 へ増幅出力信号 91 を出力する。

20

【0111】

デジタル信号処理器 100 はまた、(不図示の)温度信号を RTD 温度センサ 50 から受けて計算に使用する。デジタル信号処理器 100 は、受信信号 41 の位相と駆動入力信号 35 の位相とを 1 秒間に約 200 回だけ比較するデジタル位相検出器を含むのが好適である。また、平均的な共鳴周波数は、搭載マイクロ・コントローラにより 1 秒間に 5 回ずつ決定される。次に、デジタル信号処理器 100 は、音響セル 11 内の 2 元ガスのガス組成を表わす処理器出力信号 101 を出力する。

【0112】

次に、デジタル位相固定モードと称され得る選択的測定モードを簡単に説明する。所定のガス媒体において、共鳴周波数 f_0 における受信変換器と駆動変換器との間の位相の遅れは、ガス組成が変動しなければ安定している。また、ガス組成の変化により位相の遅れに何らかの変化が生ずると、デジタル・サイン波発生器は強制的に駆動入力信号 35 の駆動周波数を調節し、これにより、位相の遅れはその安定状態の値に戻される。音響セル 1 が作動している間、駆動マイクロホン 34 と受信マイクロホン 42 の間の位相が一致しているとすれば、位相の差が生じたときにはガス組成の変化が生じたことを表わすことになる。駆動入力信号 35 の周波数は位相を一致させるべく変更されるが、このように位相を一致させる為に必要な周波数の変化量が、ガス組成の変化を決定する為に必要な情報を与えることになる。従って、調節された周波数と安定状態の共鳴周波数 f_0 との間の差により、2 元ガス組成の変化を算出することが出来る。この測定モードは先に記述したものよりも迅速であるが、安定状態にあるプロセスを監視する場合においてのみ有用なものである。

30

40

【0113】

上記音響セル 1 を介して純粋なキャリア・ガスを通して基本周波数を読み取れるようにして、予期される作動温度、圧力およびフローレートにおける目盛付けを行なう。その後、テスト用の 2 元ガスの測定値の全ては、この基本読取値を元に行われる。このようにすれば、上記音響センサの目盛付けを工場にて行なう必要がなくなる。勿論、作動状態(操作温度、圧力およびフローレート)が根本的に変化した場合、正確さを最大限に維持するのであれば新たな基準値測定が必要になることは当然である。

【0114】

50

図9 - (A) を参照するに、本発明を高温で適用する為には、ダイナミック (electrodynami c) マイクロホン32, 34の代わりに静電 (electrostatic) 駆動マイクロホンを使用するのが好適である。第1ダイヤフラム20a に対しては、直接的に静電駆動装置120 を適用することが出来、該第1ダイヤフラム20a は、好適には100 ~ 500 Vの直流バイアス124 を介してサイン波発生器122 により駆動される。このサイン波発生器122 は、接地プレート121 にアースされている。ダイヤフラム20a に加わる力 $F(t)$ は、 $F(t) = CV_0 u \cos t$ と表わされ、但し、 C はダイヤフラム20a と接地プレート121 との間の静電容量、 V_0 はDCバイアス124, u は駆動サイン波発生器122 の振幅である。

10

【0115】

図9 - (B) を参照するに、本発明を高温で適用する為には、エレクトレット (electret) 型マイクロホン42の代わりにキャパシタンス型マイクロホン130 を使用しても好適である。バックプレート131 は、ダイヤフラム20b と共にコンデンサを形成する。また、好適には20 ~ 100 Vの範囲の直流バイアス134、および、好適には10 MΩ未満の抵抗 R により、信号 $e(t)$ が検出され得る。この信号 $e(t)$ は、 $e(t) = RV_0 (C/t)$ として表わされ、但し、 C/t は、ダイヤフラム20b とバックプレート131 との間のキャパシタンスの時的導関数である。

【0116】

本発明の作動を、以下の様にして評価した。音響セル1 の長さを基本的に3.850"とし、かつ、基本的直径を1.750"とした。音響キャピティ11および13の長さは基本的に0.600"とするとともに基本的直径を1.000"としたが、音響キャピティ12の長さは基本的に1.200"とし且つ基本的直径を0.375"とした。更に、遮断O-リング21を含むダイヤフラム20a, 20bの直径は基本的に1.206"とした。

20

【0117】

図10は、45℃かつ150 Torrにて500 sccm のフローレートの水素ガス中で測定された共鳴周波数の分布をプロットした図である。測定時間は200 msであった。図10から明らかな様に、15分間以上に亘り、分布範囲は約0.2 Hzであり、0.05%のオーダーにおける狭い範囲の温度安定性を示している。これは、周波数の読取値では0.0045% または水素ガス中のTMI では等価的に0.00011%の精度があると解釈される。

30

【0118】

図11を参照するに、水素主要ガス内の種々のガスを使用し、定量的テストを行なった。見かけ上の質量フローレートを設定すべく圧力増分を500 Torr に固定して約500 cc の既知体積を充填するに必要な時間を記録することにより、各々のガスの質量流量コントローラ (MFC) を注意深く校正した。窒素ガスに関しては、校正係数 (calibration factor) は0.99 ~ 1.02の間で変動した。水素ガスに関しては、校正係数は1.09 ~ 1.15の間で変動した。アルゴン、二酸化炭素およびR134a ガスに関する校正係数は、それぞれ1.36, 0.70および0.28であった。それぞれのMFC に特有なこれらのガス校正係数は、水素主要ガス中の流動ガスのモル分率を見積もる為に使用された。而して、図10においては、水素中のアルゴン、窒素、二酸化炭素およびR134a のモル分率見積値はガスフローレートに対して直線としてプロットされて示されている。尚、主要水素ガスのフローレートは300 Torr で400 sccm に固定した。

40

【0119】

これと同時に、5, 10および15 sccmのガスフローレートと同一のガスフローレートにおいて音響セルの共鳴周波数を測定した。その結果は、測定された周波数に基づく個々のデータ点として図11に示されている。本発明の音響セルを以て測定したモル分率は、校正されたMFC からの見積値と極めて近いものである。このデータセットにおけ

50

る最大周波数シフトは $1,017\text{ Hz}$ であり、これは水素中の 0.63% の TMI に等しいものである。

【0120】

図12を参照するに、図中の直線は、異なる作動圧力においてフローレート（流速）を変化させた窒素のモル分率の見積値を示している。また、個々のデータ点は、種々の圧力において本発明の音響セルを用いて測定した周波数からのものである。図11および12は、種々のガスにおける広範囲の作動圧力およびフローレート（流速）において本発明が高い定量精度を有することを示している。

【0121】

図13を参照するに、本発明の音響セルはMOCVD 反応器のTMI ライン中に配備されている。サンプルデータは、TMI バブラ（bubbler）を介して水素流を変化させた試験からのもので示されている。また、図中の実線は、バブラを通る水素ガス流および理想的TMI 蒸気圧が安定状態にあることを前提として計算したものである。而して、本発明の音響セルにより測定されたモル分率は、個々のデータ点としてプロットされている。尚、作動圧力は 150 Torr であり、希釈の為に 200 sccm の水素ガスを加えた。

10

【0122】

測定されたモル分率と、理想的なモル分率の見積値との間の差異は、バブラのフローレートが増加するにつれて増加する。ここで、TMI バブラを通る水素のフローレートが大きくなるとTMI のピックアップ効率が減少することは確かである。従って、質量フロ

20

【0123】

図14を参照するに、R134a ガスを用いて同様の試験を行なった。実線は校正された質量流量コントローラ（mass flow controller）に基づくものであり、一方、個々のデータ点は本発明により為された測定の結果である。本発明の音響セルと校正された質量流量コントローラとの間には、優れた定量的な一致性が見られる。

【0124】

添付図面を参照して本発明の好適実施例を記述したが、本発明はこれらの詳細な実施例に限定されるものでなく、かつ、当業者であれば添付の請求項に限定された本発明の範囲から逸脱することなく種々の変更および修正を行ない得ることは理解される。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】モル分率と媒体内の音速との単調な関係を示す図である。

【図2】共鳴の近傍における典型的な位相および振幅の変化を示す図である。

【図3】共鳴の近傍において $y(f) = 1/x_0^2$ および x_0 をプロットした図である。

【図4】共鳴の近傍において $-1/d$ および d をプロットした図である。

【図5】本発明の一実施例に係る音響セルの断面図である。

【図6】(A) は本発明の実施例に係る駆動マイクロホンおよび非駆動マイクロホンの金属ハウジングを示す図であり、(B) は本発明の実施例に係る駆動マイクロホン・カートリッジを示す図である。

【図7】本発明の実施例に係る受信マイクロホン・カートリッジを示す図である。

40

【図8】図5の音響セルと一体な本発明の一実施例に係る音響センサを示す図である。

【図9】(A) は本発明の一実施例において用いられる静電的な駆動マイクロホンを示す図であり、(B) は本発明の一実施例において用いられるキャパシタンス型マイクロホンを示す図である。

【図10】45 の水素ガス中で測定された共鳴周波数の分布をプロットした図である。

【図11】水素ガス中の Ar 、 N_2 、 CO_2 および R134a ガスのモル分率をガスフローレートに対してプロットした図である。

【図12】水素ガス中の N_2 のモル分率を N_2 のフローレートに対してプロットした図である。

【図13】本発明により示されたTMI のモル分率を、TMI バブラフローレートに

50

対して段階的に変化させた図である。

【図 1 4】本発明により示された R 1 3 4 a ガスの水素ガス内でのモル分率を、R 1 3 4 A ガスフローレートに対して段階的に変化させた図である。

【符号の説明】

1 ... 音響セル

1 0 ...ハウジング

1 1 , 1 2 , 1 3 ... 音響キャビティ

2 0 a ... 第 1 ダイヤフラム

2 0 b ... 第 2 ダイヤフラム

3 0 ... 駆動マイクロホン・カートリッジ

3 2 ... 非駆動マイクロホン

3 3 ... 金属ハウジング

3 4 ... 駆動マイクロホン

3 5 ... 同期入力信号

3 7 , 4 7 ... O - リング

4 0 ... 受信マイクロホン・カートリッジ

4 2 ... 受信マイクロホン

7 0 ... ガス取入管

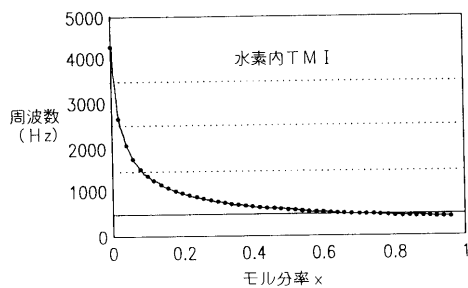
8 0 ... ガス吐出孔

1 0 0 ... デジタル信号コントローラ (処理器)

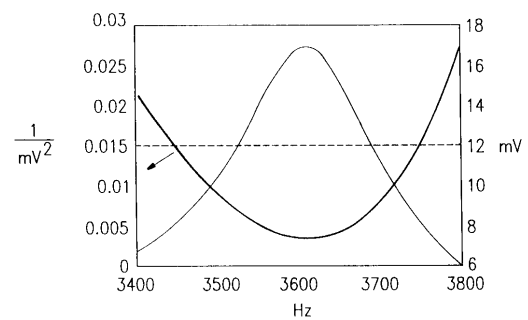
10

20

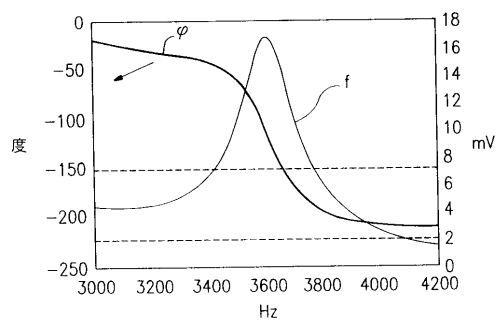
【図 1】



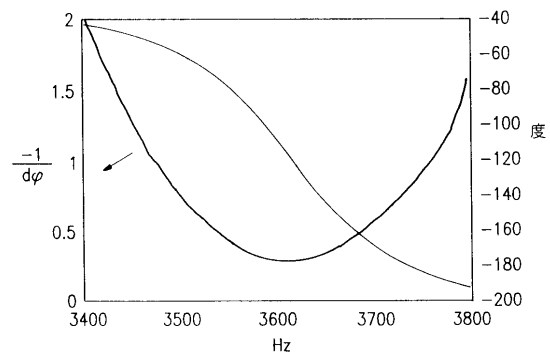
【図 3】



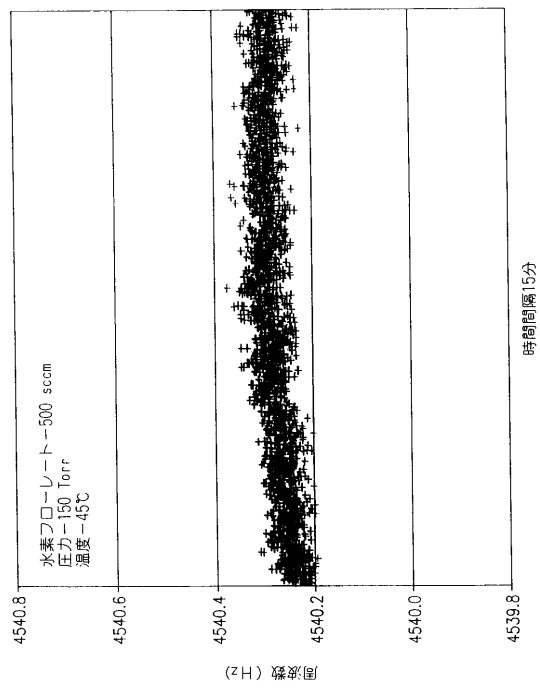
【図 2】



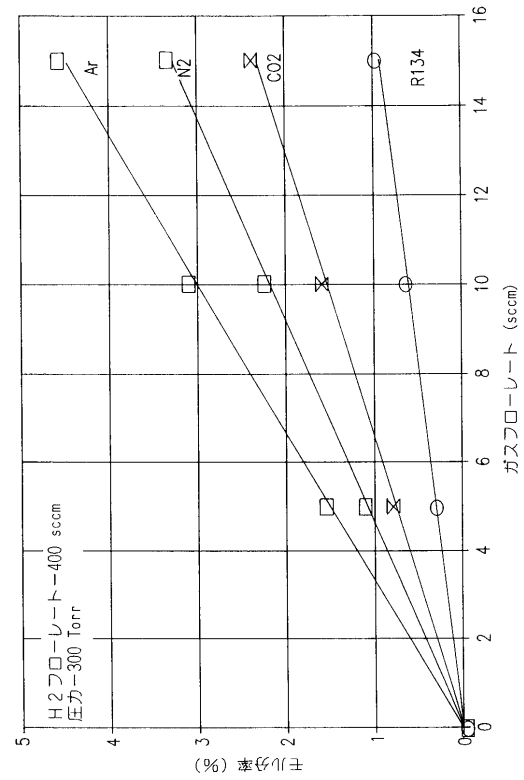
【図 4】



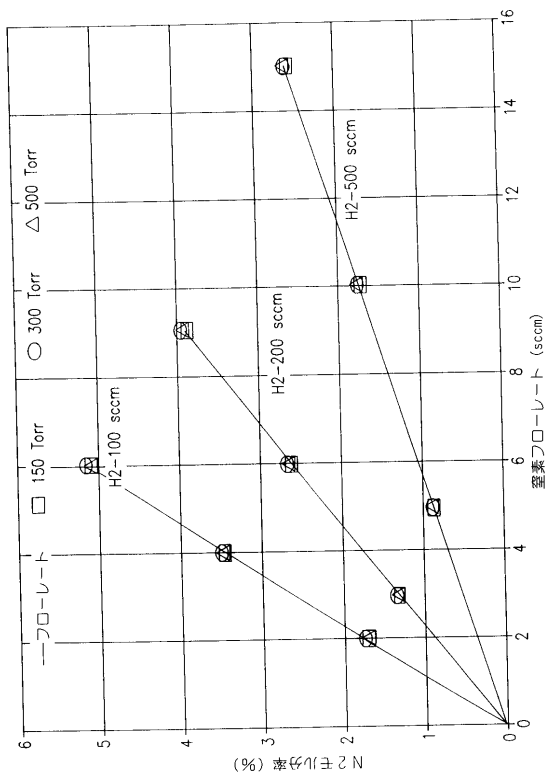
【図 10】



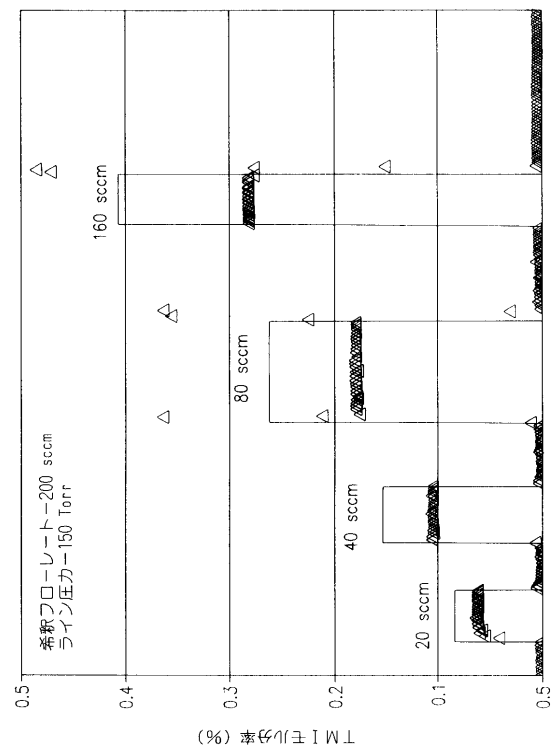
【図 11】



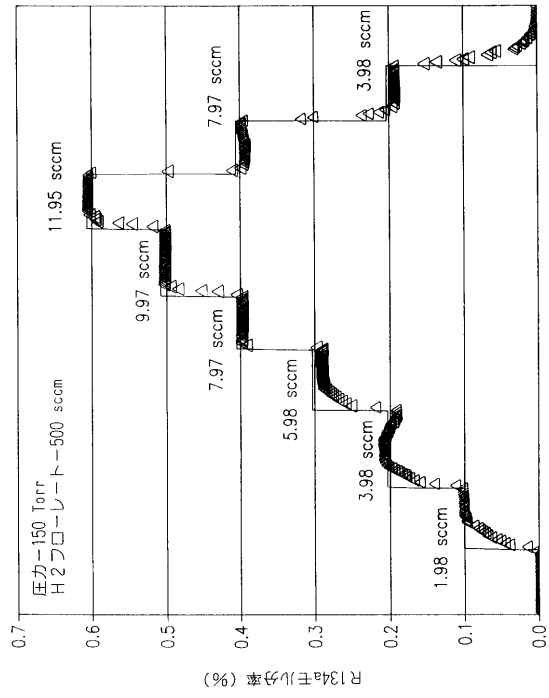
【図 12】



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

- (72)発明者 アブドゥール ワジド
アメリカ合衆国, ニューヨーク, イースト シラキウス, スノーボール ラン 7 2 8 7
- (72)発明者 クラレンス ハード
アメリカ合衆国, ニューヨーク, ボールドウィンスビル, コールド スプリングス ロード 2 8
1 4
- (72)発明者 メルビン シー・ヘーツェル
アメリカ合衆国, ニューヨーク, シラキウス, マーキーズ ロード 4 2 7 2

審査官 鈴木 俊光

- (56)参考文献 英国特許出願公開第0 2 2 0 3 2 4 7 (GB, A)
特開平0 7 - 2 0 9 2 6 4 (JP, A)
実開昭6 1 - 0 8 3 4 0 0 (JP, U)
特開平0 4 - 1 4 3 6 3 6 (JP, A)
米国特許第0 5 5 2 4 4 7 7 (US, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
G01N 29/00 - 29/28