(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2015 107 584 A1** 2016.11.17

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 107 584.9**
(22) Anmeldetag: **13.05.2015**
(43) Offenlegungstag: **17.11.2016**

(51) Int Cl.: ***G01F 1/68*** (2006.01)
G01N 25/18 (2006.01)

(71) Anmelder:
Innovative Sensor Technology IST AG, Ebnat-Kappel, CH

(74) Vertreter:
Hahn, Christian, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 79576 Weil am Rhein, DE

(72) Erfinder:
Hepp, Christoph, Wil, CH; Krogmann, Florian, Dr., Wil, CH; Reyes, Diego, Kreuzlingen, CH

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 2011 / 0 296 910 A1
EP 2 574 918 A1
EP 2 843 214 A1

Hepp, C. et al.: Gas Concentration and Flow Speed Measurements using a Polymer-based Membrane Sensor. In: Sensors, 2013 IEEE (3. - 6. Nov. 2013), Seiten 1 - 4.

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Bestimmung eines Produktes aus Wärmekapazität und Dichte**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Bestimmung eines Produktes aus Wärmekapazität und Dichte (Cp·ρ) eines Gases bzw. eines Gasgemisches (2) oder einen davon abgeleiteten Wert mittels eines thermischen Sensors (1), insbesondere eines thermischen Strömungssensors aufweisend die folgenden Schritte:
– Bestimmung der thermischen Wärmeleitfähigkeit (λ) des Gases bzw. des Gasgemisches (2);
– Bestimmung einer Flussrate (Q) des Gases bzw. des Gasgemisches (2) anhand der bestimmten Wärmeleitfähigkeit (λ);
– Bestimmung des Produktes aus Wärmekapazität und Dichte (Cp·ρ) des Gases bzw. des Gasgemisches (2) oder eines davon abgeleiteten Wertes anhand der bestimmten Wärmeleitfähigkeit (λ) und der bestimmten Flussrate (Q).

Excitation of heating element		Element		Measurement		Function		Output
Temperature	→	Downstream	→	Temperature	→	$T_{down} = f_2$(therm. conductivity, density*specific heat, flow) $T_{down} \sim f_2$(therm. conductivity, flow)	→ Requires: A)	a) Flow rate
Power	→	Downstream	→	Temperature	→	$T_{downstream} = f_3$(therm. conductivity)	→	A) Thermal conductivity
Power	→	Heater	→	Temperature	→	$T_{Heater} = f_1$(therm. conductivity, density*specific heat, flow, power)	→ Requires: a), A)	1) Denstity* specific heat capacity

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestimmung eines Produktes aus Wärmekapazität und Dichte eines Gases bzw. eines Gasgemisches oder einen davon abgeleiteten Wert mittels thermischen Sensors, insbesondere eines thermischen Strömungssensors.

[0002] Zur Bestimmung von Strömungseigenschaften, insbesondere des Durchflusses, eines Mediums bzw. eines Fluides, bspw. eines Gases oder Gasgemisches sind thermische Strömungssensoren bekannt, die ausnutzen, dass ein (strömendes) Medium Wärme transportiert. Derartige Strömungssensoren weisen dabei den klassischen Strukturaufbau mit zumindest einer Heizstruktur und zumindest einem Temperatursensorelement auf, um den Durchfluss des Mediums zu bestimmen.

[0003] Kalorimetrische thermische Strömungssensoren bestimmen über eine Temperaturdifferenz zwischen zwei Temperatursensorelementen, die flussabwärts (engl. „downstream") und flussaufwärts (engl. „upstream") von der Heizstruktur auf einem Substrat angeordnet sind, den Durchfluss bzw. die Flussrate des Fluids in einem Kanal. Hierzu wird ausgenutzt, dass die Temperaturdifferenz bis zu einem gewissen Punkt linear zu dem Durchfluss bzw. der Flussrate ist. Dieses Verfahren bzw. die Methode ist in der einschlägigen Literatur ausgiebig beschrieben.

[0004] Eine qualitative Beschreibung des Gases, z. B. der thermischen Parameter oder Gaszusammensetzung, ist bei „klassischen" Designs („upstream" Temperatursensor, Heizer und „downstream" Temperatursensor) und Auswerteverfahren nicht möglich. Thermische Sensoren müssen auf das Medium der Applikation kalibriert werden, ändert sich Gaszusammensetzung und somit die thermischen Gasparameter, führt dies zu einem Messfehler in Bezug auf die Strömungsgeschwindigkeit.

[0005] Sensoren, die die thermische Wärmeleitfähigkeit (neben spezifischer Wärmekapazität und Dichte auch ein thermischer Parameter) detektieren, arbeiten normalerweise in ruhenden Fluiden (no-flow condition).

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Verfahren vorzuschlagen, dass es ermöglicht mittels eines thermischen Strömungssensors einen thermischen Parameter eines Gases bzw. Gasgemisches zu ermitteln.

[0007] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Bestimmung eines Produktes aus Wärmekapazität und Dichte eines Gases bzw. eines Gasgemisches oder einen davon abgeleiteten Wert mittels eines thermischen Sensors, insbesondere eines thermischen Strömungssensors gelöst, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

– Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Gases bzw. des Gasgemisches;
– Bestimmung einer Flussrate des Gases bzw. des Gasgemisches anhand der bestimmten Wärmeleitfähigkeit;
– Bestimmung des Produktes aus Wärmekapazität und Dichte des Gases bzw. des Gasgemisches oder eines davon abgeleiteten Wertes anhand der bestimmten Wärmeleitfähigkeit und der bestimmten Flussrate.

[0008] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Bestimmung des Produktes aus Dichte und Wärmekapazität vorgeschlagen, bei dem mittels unterschiedlicher Anregung der Heizstruktur unterschiedliche Parameter, insbesondere thermische Parameter ermittelbar sind. Somit lässt sich anhand der über den thermischen Strömungssensor ermittelbaren thermischen Leitfähigkeit die Flussrate und anschließend das Produkt aus Dichte und Wärmekapazität des Gases bzw. Gasgemisches bestimmen.

[0009] Unter thermischen Sensoren sind insbesondere thermische Strömungssensoren zu verstehen. Diese haben typischerweise ein Heizelement und zwei Temperatursensorelemente, welche beabstandet des Heizelements angeordnet sind.

[0010] Eine vorteilhafte Ausführungsform sieht vor, dass zur Bestimmung des Produktes aus Wärmekapazität und Dichte des Gases bzw. des Gasgemisches eine Heizstruktur des thermischen Strömungssensors mit einer im Wesentlichen konstanten Leistung angeregt wird. Insbesondere ist vorgesehen, dass zur Bestimmung des Produktes aus Wärmekapazität und Dichte des Gases bzw. des Gasgemisches eine Temperatur der Heizstruktur erfasst wird.

[0011] Eine vorteilhafte Ausführungsform sieht vor, dass zur Bestimmung des Produktes aus Wärmekapazität und Dichte des Gases bzw. des Gasgemisches auf eine hinterlegte erste Funktion oder davon abgeleitete Werte zurückgegriffen wird und wobei die erste Funktion den folgenden Zusammenhang aufweist:

$$T_{Heizer} = f_1(\lambda, \rho \cdot Cp, Q, P),$$

wobei λ der Wärmeleitfähigkeit, ρ der Dichte, Cp der spezifischen Wärmekapazität Q der Flussrate, P der an dem Heizer angelegten Leistung und T_{Heizer} der Temperatur der Heizstruktur entspricht. Aus dieser ersten Gleichung lässt sich das Produkt aus Dichte und Wärmekapazität, die Strömungsgeschwindigkeit oder die Wärmeleitfähigkeit ermitteln. Hierzu wird davon ausgegangen, dass die an den Heizer angelegte Leistung im Wesentlichen konstant ist. Die Leistung kann dabei sowohl ein DC als auch AC Signal sein. In

dem Fall, dass keine Strömungsgeschwindigkeit vorhanden ist bzw. diese im Wesentlichen null ist, hängt die obige Gleichung nur von der Wärmeleitfähigkeit und der angelegten Leistung ab. Wenn zusätzlich die Wärmeleitfähigkeit bekannt ist, kann die Temperatur des Heizers bestimmt, insbesondere berechnet werden.

[0012] Eine vorteilhafte Ausführungsform sieht vor, dass zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit eine zweite Temperatur mittels eines in Bezug auf eine Heizstruktur flussabwärts angeordneten zweiten Temperatursensorelementes erfasst wird. Insbesondere sieht diese Ausführungsform vor, dass anhand der erfassten zweiten Temperatur die für das Gas bzw. Gasgemisch entsprechende Wärmeleitfähigkeit ermittelt wird und/oder, dass zur Ermittlung der entsprechenden Wärmeleitfähigkeit des Gases bzw. des Gasgemisches eine dritte Funktion oder davon abgeleitete Werte verwendet wird bzw. werden, wobei die dritte Funktion oder die davon abgeleiteten Werte die Abhängigkeit der zweiten Temperatur von der Flussrate beschreibt und in einem definierten Bereich im Wesentlichen unabhängig von der Flussrate ist, sodass sich eine zweite Temperatur für den definierten Bereich, der im Wesentlichen unabhängig von der Flussrate ist, ermitteln lässt. Ferner kann die Ausführungsform vorsehen, dass anhand der zweiten Temperatur für den definierten Bereich, der im Wesentlichen unabhängig von der Flussrate ist, die Wärmeleitfähigkeit ermittelt wird.

[0013] Eine vorteilhafte Ausführungsform sieht vor, dass die Flussrate des Gases bzw. des Gasgemisches anhand der zuvor bestimmten Wärmeleitfähigkeit und der zweiten Temperatur des flussabwärts angeordneten zweiten Temperatursensorelementes bestimmt wird.

[0014] Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

[0015] **Fig.** 1: einen Querschnitt einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Strömungssensors,

[0016] **Fig.** 2: eine Tabelle in der die drei verschiedenen Funktionsmodi der Regelungs- und/oder Auswerteeinheit untereinander dargestellt sind,

[0017] **Fig.** 3: eine beispielhafte dritte Funktion der zweiten Temperatur in Abhängigkeit der Flussrate, und

[0018] **Fig.** 4: eine beispielhafte erste Funktion der Temperatur der Heizstruktur in Abhängigkeit der Flussrate für verschiedene Werte der Wärmeleitfähigkeit und verschiedene Werte des Produktes aus Wärmekapazität und Dichte.

[0019] **Fig.** 1 zeigt einen Querschnitt einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Strömungssensors **1**. Hierbei weist der thermische Strömungssensor **1** ein Substrat **3** auf, auf dem eine erste dielektrische Schicht **6** aufgebracht ist. Ferner weist das Substrat **3** in einem ersten Bereich **4** eine Aussparung **5** auf, so dass die erste dielektrische Schicht **6** in dem ersten Bereich **4** auf dem Substrat **3** eine Membran **7** ausbildet. Auf dieser Membran **7** ist eine Heizstruktur **8** derartig aufgebracht, dass sie sich zwischen einem ersten und einem zweiten Temperatursensorelement **9**, **10** entlang der Strömungsrichtung des Gases oder des Gasgemisches **2** befindet und dazu dient, das Gas oder Gasgemisch **2** zu erhitzen. Die beiden Temperatursensorelemente **9**, **10** sind ebenfalls auf der ersten dielektrischen Schicht **6** aufgebracht und vorzugsweise derartig angeordnet, dass sie in dem ersten Bereich **4** liegen. Die beiden Temperatursensorelemente werden auch als „upstream" und „downstream" Temperatursensoren bzw. Temperatursensorelemente bezeichnet, wobei das „upstream" Temperatursensorelement **9** flussaufwärts und das „downstream" Temperatursensorelement **10** flussabwärts in Bezug auf die Strömungsrichtung des Gases oder Gasgemisches und die Heizstruktur angeordnet ist.

[0020] Mittels dieser beiden Temperatursensorelemente **9**, **10** wird die Temperatur des an der Heizstruktur **8** erhitzten Gases oder Gasgemisches **2** erfasst. Zum Schutz der Heizstruktur **8** und der beiden Temperatursensorelemente **9**, **10** ist eine zweite dielektrische Schicht **16** auf die erste dielektrische Schicht **6** aufgebracht. Zur Bestimmung eines Gases oder der Zusammensetzung eines Gasgemisches **2** wird die dem Substrat **3** abgewandte Seite der zweiten dielektrischen Schicht **16** dem strömenden Gas oder Gasgemisch **2** ausgesetzt.

[0021] Der thermische Strömungssensor **1** umfasst weiter eine Regelungs- und/oder Auswerteeinheit **11**, die zwischen drei verschiedenen Funktionsmodi umschaltbar ist und die, die Heizstruktur **8** und die beiden Temperatursensorelemente entsprechend der Funktionsmodi regelt bzw. ansteuert. Die Heizstruktur wird dabei durch ein Anregungssignal von der Regelungs- und/oder Auswerteeinheit **11** angesteuert. Die an den beiden Temperatursensorelementen anliegende Temperatur wird von der Regelungs- und/oder Auswerteeinheit **11** mittels eines ersten Antwortsignals **13** und einem zweiten Antwortsignal **14** erfasst. Das erste Antwortsignal **13** bezieht sich dabei auf das erste Temperatursensorelement („upstream" Temperatursensor) und das zweite Antwortsignal **14** auf das zweite Temperatursensorelement („downstream" Temperatursensor).

[0022] Bezüglich des prinzipiellen Aufbaus des Strömungssensors sei an dieser Stelle auf die Veröffentlichung „Gas concentration and flow speed measu-

rements using a polymer-based membrane sensor", insbesondere das Kapitel „II. Sensor", von C. Hepp et al erschienen in 2013 IEEE Sensors, Seiten 1–4 hingewiesen, wobei der Inhalt dieser Veröffentlichung hiermit in diese Anmeldung aufgenommen wird.

[0023] **Fig.** 2 zeigt eine Tabelle in der die drei verschiedenen Funktionsmodi der Regelungs- und/oder Auswerteeinheit **11** untereinander dargestellt sind, wobei mittels des ersten Funktionsmodus eine Flussrichtung sowie ggfl. eine Flussrate Q, mittels dem zweiten Funktionsmodus eine Wärmeleitfähigkeit λ sowie ggfl. eine Konzentration der Bestandteile des Gasgemisches und mittels einem erfindungsgemäßen dritten Funktionsmodus ein Produkt aus Dichte und spezifischer Wärmekapazität (ρ·Cp) des Gases oder des Gasgemisches bestimmbar ist.

[0024] In dem ersten Funktionsmodus (erste Zeile der in **Fig.** 2 dargestellten Tabelle) steuert bzw. regelt die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit die Heizstruktur derartig, dass sich eine im Wesentlichen konstante Temperatur an der Heizstruktur T_{Heizer} einstellt. Mittels des Antwortsignals **14** wird eine zweite Temperatur T_2, die downstream Temperatur, an dem zweiten Temperatursensorelement **10**, dem downstream Temperatursensor, durch die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit **11** ermittelt. Die downstream Temperatur entspricht dabei folgendem Zusammenhang:

$$T_down = f_2(\lambda, \rho \cdot Cp, Q) \qquad \text{(Gleichung 1)}$$

[0025] Dieser Zusammenhang kann dabei in erster Näherung als unabhängig von dem Produkt aus Wärmekapazität Cp und Dichte ρ angesehen werden, so dass sich folgender Zusammenhang ergibt:

$$T_down \approx f_2(\lambda, Q) \qquad \text{(Gleichung 1.1)}$$

[0026] In dem Fall, dass die Wärmeleitfähigkeit λ (engl. thermal conductivity) des strömenden Gases oder Gasgemisches bekannt ist, bspw. weil diese, wie nachstehend beschrieben, ermittelt wurde oder das strömende Gas oder Gasgemisch bekannt ist und somit auch die Wärmeleitfähigkeit λ, lässt sich durch die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit **11** anhand der Gleichung 1.1 zusätzlich eine Flussrate Q des strömenden Gases oder Gasgemisches bestimmen.

[0027] Alternativ lässt sich, unter der Bedingung, dass die Wärmeleitfähigkeit λ bekannt ist, die Flussrate Q und das Produkt aus Dichte mal Wärmekapazität ρ·Cp aus Gleichung 1 und Gleichung 3 iterativ ermitteln, da es sich hierbei um ein Gleichungssystem mit zwei Gleichungen (Gleichung 1 und 3) und zwei Unbekannten handelt.

[0028] In dem zweiten Funktionsmodus steuert bzw. regelt die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit **11** die Heizstruktur **8** derartig, dass diese mit einem Anregungssignal **12**, welches im Wesentlichen eine konstante Leistung aufweist, angeregt wird. Das Anregungssignal **12** kann dabei auch ein Wechselspannungssignal darstellen. Typischerweise ist die Leistung dann zumindest im Mittelwert konstant. Als vorteilhaft hat sich bei einem Wechselspannungssignal eine Anregungsfrequenz von 1 Hz erwiesen.

[0029] In dem zweiten Funktionsmodus (Erste Zeile der in **Fig.** 2 dargestellten Tabelle) erfasst die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit **11** mittels des zweiten Antwortsignals **14** die zweite Temperatur T_2, die an dem zweiten Temperatursensorelement **10**, dem „downstream" Temperatursensor, anliegt. Diese zweite Temperatur T_2 ist eine dritte Funktion der Wärmeleitfähigkeit λ, so dass sich die Wärmeleitfähigkeit λ des strömenden Gases oder Gasgemisches bestimmen lässt. Insbesondere liegt dabei folgender Zusammenhang zwischen der zweiten Temperatur T_2 und der Wärmeleitfähigkeit λ vor:

$$T2 = f_3(\lambda) \qquad \text{(Gleichung 2)}$$

[0030] Wie in **Fig.** 3 angedeutet, bildet sich ein Bereich **15** heraus, in dem die zweite Temperatur T_2 an dem zweiten Temperatursensorelement strömungsunabhängig, insbesondere unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit, ist. In **Fig.** 3 sind exemplarisch für die beiden Gase Argon Ar und Stickstoff N_2, die aufgrund der im Wesentlichen konstanten Leistungsanregung der Heizstruktur ergebende zweite Temperatur bzw. „downstream" Temperatur in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit dargestellt. Zu sehen ist, dass sich bei einer Strömungsgeschwindigkeit zwischen 0,2 m/s und 1 m/s ein im Wesentlichen konstantes Plateau bezogen auf die zweite Temperatur T_2 ausbildet. Die Höhe des Plateaus ist dabei spezifisch für jedes Gas bzw. jedes Gasgemisch. Für Argon ist es in dem dargestellten Beispiel bei 19 K und für Stickstoff bei 17 K. Die Höhe des Plateaus bzw. der Werte, also die 19 K und 17 K. So kann, wenn entsprechende Daten in einem der Regelungs- und/oder Auswerteeinheit **11** zugehörigen Speicher hinterlegt sind, die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit ein spezifisches Gas sowie dessen Wärmeleitfähigkeit λ oder die Konzentration der Bestandteile eines Gasgemisches ermitteln werden.

[0031] Beispielsweise lässt sich mit den in **Fig.** 3 dargestellten Daten, die entsprechend in dem Speicher hinterlegt sind, durch die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit **11** ermitteln, ob Argon oder Stickstoff oder ein Gasgemisch aus Argon und Stickstoff vorliegt. Um Argon oder Stickstoff handelt es sich in dem Fall, dass die zweite Temperatur T_2 des zweiten Temperatursensorelementes **10** im Wesentlichen 17

K oder 19 K ist. Ist in dem Speicher nun ebenfalls eine zu den Gasen entsprechende Wärmeleitfähigkeit λ hinterlegt, kann die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit **11** diese ebenfalls für das vorliegende Gas ermitteln.

[0032] In dem Fall, dass die zweite Temperatur T_2 des zweiten Temperatursensorelementes **10** zwischen 17 und 19 Kelvin liegt, lässt sich, bspw. durch die Annahme eines linearen Zusammenhangs, die Konzentration des Gasgemisches aus Argon und Stickstoff ermitteln. Bei dem in **Fig.** 3 dargestellten Beispiel beträgt die zweite Temperatur T_2 des zweiten Temperatursensorelementes 18 Kelvin. Hieraus lässt sich bei Annahme eines linearen Zusammenhangs das Vorliegen eines Gasgemisches mit 50% vol. Argon und 50% vol. Stickstoff (mit gestrichelter Linie in **Fig.** 3 dargestellt) ermitteln bzw. feststellen. Für eine präzisere Bestimmung der Konzentration der Bestandteile des Gasgemisches bietet es sich an, auch hierfür spezifische Daten oder eine Funktion in dem Speicher abzulegen, die den in erster Näherung zugrunde gelegten linearen Zusammenhang ggfl. noch besser anpasst.

[0033] Bezüglich der beiden Funktionsmodi des Strömungssensors sei an dieser Stelle wiederum auf die Veröffentlichung „Gas concentration and flow speed measurements using a polymer-based membrane sensor", insbesondere das Kapitel „IV. Characterisation", von C. Hepp et al erschienen in 2013 IEEE Sensors, Seiten 1–4 hingewiesen, wobei der Inhalt dieser Veröffentlichung hiermit in diese Anmeldung aufgenommen wird.

[0034] In dem dritten erfindungsgemäßen Funktionsmodus steuert bzw. regelt die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit **11** die Heizstruktur 8 wiederum derartig, dass die Heizstruktur **8** mit einer im Wesentlichen konstanten Leistung angeregt wird. Bezüglich des Anregungssignals gilt ferner das im zweiten Funktionsmodi beschriebene.

[0035] In dem dritten erfindungsgemäßen Funktionsmodus erfasst die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit die Temperatur der Heizstruktur. Diese Temperatur kann bspw. über eine mathematische Berechnung mit Hilfe des für das Material der Heizstruktur, bspw. Platin, bekannten Temperaturkoeffizienten (TCR) ermittelt werden. Hierzu erfasst die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit den Widerstrand der Heizstruktur und berechnet anschließend die Temperatur. Alternativ kann die Temperatur an der Heizstruktur auch direkt durch ein Heiztemperatursensorelement von der Regelungs- und/oder Auswerteeinheit erfasst werden.

[0036] Anhand dieser erfassten Temperatur der Heizstruktur ermittelt die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit das Produkt aus Dichte und spezifischer Wärmekapazität. Hierzu greift die Regelungs- und/oder Auswerteeinheit auf in dem Speicher hinterlegte Daten, welche in diskreter Form vorliegen, zurück, wobei die Daten die folgende erste Funktion repräsentieren:

$$T_{Heizer} = f_1(\lambda, \rho \cdot Cp, Q, P) \qquad \text{(Gleichung 3)}$$

[0037] In **Fig.** 4 ist beispielhaft eine solche erste Funktion dargestellt, aus der die in dem Speicher hinterlegten Daten extrahierbar sind. Denkbar ist selbstverständlich auch, dass anstelle der ersten Funktion diskrete Werte hinterlegt sind.

[0038] Mit der nun zuvor bereits bestimmten Wärmeleitfähigkeit und der Flussrate sowie der Temperatur der Heizstruktur lässt sich auf das Produkt aus Wärmekapazität und Dichte schließen. Die in **Fig.** 4 dargestellten Kurven sind dabei auf Luft bei einer Temperatur von 25°C normiert. Ferner stellt jede Kurve ein spezifisches Gas bzw. Gasgemisch dar, sodass die oberste Kurve bspw. „Gas1" darstellte und die Kurven darunter entsprechend „Gas2", „Gas3" und „Gas4". Wie bereits gesagt, ist jede Kurve spezifisch für ein spezielles Gas bzw. Gasgemisch und müssen vor dem eigentlichen Betrieb des thermischen Strömungssensors diesem zur Verfügung gestellt werden. Dies kann bspw. durch experimentelle Aufnahme solcher Kurven für das jeweilige Gas und Hinterlegung der Kurven in dem Speicher des thermischen Strömungssensors erfolgen.

[0039] Mittels der in **Fig.** 4 dargestellten ersten Funktion lässt sich somit das Produkt aus Wärmekapazität und Dichte bestimmen. Dies soll im nachstehenden Beispiel an konkreten Werten kurz veranschaulicht werden. Hierfür wird angenommen, dass für die Wärmeleitfähigkeit ein Wert von 2 ($\lambda = 2$) mittels des zweiten Funktionsmodus ermittelt wurde und, dass für die Flussrate ein Wert von 0,5 m/s ($Q = 0{,}5$ m/s) mittels des ersten Funktionsmodus ermittelt wurde. Dieser Werte ist dimensionslos und bezieht sich auf Luft, d. h. dass die Wärmeleitfähigkeit mit bspw. dem Wert von 2 zweimal der Wärmeleitfähigkeit von Luft entspricht.

[0040] Mit diesen Werten lässt sich zusammen mit einer erfassten Temperatur der Heizstruktur von 357, 50 K das Produkt aus Wärmekapazität und Dichte mit dem Wert 2 ($c_p \cdot \rho = 2$) bestimmen. Dieser Wert ist ebenfalls wieder auf Luft normiert.

Bezugszeichenliste

1	Thermischer Strömungssensor
2	Gas oder Gasgemisch
3	Substrat
4	Erster Bereich
5	Aussparung
6	Erste dielektrische Schicht

7	Membran
8	Heizstruktur
9	Erstes Temperatursensorelement
10	Zweites Temperatursensorelement
11	Regelungs- und/oder Auswerteeinheit
12	Anregungssignal
13	Erstes Antwortsignal
14	Zweites Antwortsignal
15	Bereich bei dem die zweite Temperatur unabhängig von der Flussrate ist
16	Zweite dielektrische Schicht
Q	Flussrate [m/s]
λ	Thermische Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]
Cp	Spezifische Wärmekapazität [J/(kg·K)]
ρ	Dichte [kg/m3]
ρ·Cp	Produkt aus Dichte mal Wärmekapazität [J/K·m3)]
T_1	Erste Temperatur
T_2	Zweite Temperatur
T_{Heizer}	Temperatur der Heizstruktur

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- „Gas concentration and flow speed measurements using a polymer-based membrane sensor", insbesondere das Kapitel „II. Sensor", von C. Hepp et al erschienen in 2013 IEEE Sensors, Seiten 1–4 [0022]
- „Gas concentration and flow speed measurements using a polymer-based membrane sensor", insbesondere das Kapitel „IV. Characterisation", von C. Hepp et al erschienen in 2013 IEEE Sensors, Seiten 1–4 [0033]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Produktes aus Wärmekapazität und Dichte ($C_p \cdot \rho$) eines Gases bzw. eines Gasgemisches (**2**) oder einen davon abgeleiteten Wert mittels eines thermischen Sensors (**1**), insbesondere eines thermischen Strömungssensors, aufweisend die folgenden Schritte:
– Bestimmung der thermischen Wärmeleitfähigkeit (λ) des Gases bzw. des Gasgemisches (**2**);
– Bestimmung einer Flussrate (Q) des Gases bzw. des Gasgemisches (**2**) anhand der bestimmten Wärmeleitfähigkeit (λ);
– Bestimmung des Produktes aus Wärmekapazität und Dichte (Cp·ρ) des Gases bzw. des Gasgemisches (**2**) oder eines davon abgeleiteten Wertes anhand der bestimmten Wärmeleitfähigkeit (λ) und der bestimmten Flussrate (Q).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zur Bestimmung des Produktes aus Wärmekapazität und Dichte (Cp·ρ) des Gases bzw. des Gasgemisches (**2**) eine Heizstruktur (**8**) des thermischen Strömungssensors (**1**) mit einer im Wesentlichen konstanten Leistung angeregt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei zur Bestimmung des Produktes aus Wärmekapazität und Dichte (Cp·ρ) des Gases bzw. des Gasgemisches (**2**) eine Temperatur der Heizstruktur (T_{Heizer}) erfasst wird.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Bestimmung des Produktes aus Wärmekapazität und Dichte (Cp·ρ) des Gases bzw. des Gasgemisches (**2**) auf eine hinterlegte erste Funktion oder davon abgeleitete Werte zurückgegriffen wird und wobei die erste Funktion den folgenden Zusammenhang aufweist:

$$T_{Heizer} = f_1(\lambda, \rho \cdot Cp, Q, P),$$

wobei λ der Wärmeleitfähigkeit, ρ der Dichte, Cp der spezifischen Wärmekapazität Q der Flussrate, P der an dem Heizer angelegten Leistung und T_{Heizer} der Temperatur der Heizstruktur entspricht.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit eine zweite Temperatur (T_2) mittels eines in Bezug auf eine Heizstruktur (**8**) flussabwärts angeordneten zweiten Temperatursensorelementes (**10**) erfasst wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei anhand der erfassten zweiten Temperatur (T_2) die für das Gas bzw. Gasgemisch (**2**) entsprechende Wärmeleitfähigkeit (λ) ermittelt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei zur Ermittlung der entsprechenden Wärmeleitfähigkeit (λ) des Gases bzw. des Gasgemisches (**2**) eine dritte Funktion oder davon abgeleitete Werte verwendet wird bzw. werden, wobei die dritte Funktion oder die davon abgeleiteten Werte die Abhängigkeit der zweiten Temperatur (T_2) von der Flussrate (Q) beschreibt und in einem definierten Bereich im Wesentlichen unabhängig von der Flussrate (Q) ist, sodass sich eine zweite Temperatur (T_2) für den definierten Bereich, der im Wesentlichen unabhängig von der Flussrate (Q) ist, ermitteln lässt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei anhand der zweiten Temperatur (T_2) für den definierten Bereich, der im Wesentlichen unabhängig von der Flussrate (Q) ist, die Wärmeleitfähigkeit (λ) ermittelt wird.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Flussrate (Q) des Gases bzw. des Gasgemisches (**2**) anhand der zuvor bestimmten Wärmeleitfähigkeit (λ) und der zweiten Temperatur (T_2) des flussabwärts angeordneten zweiten Temperatursensorelementes (**10**) bestimmt wird.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

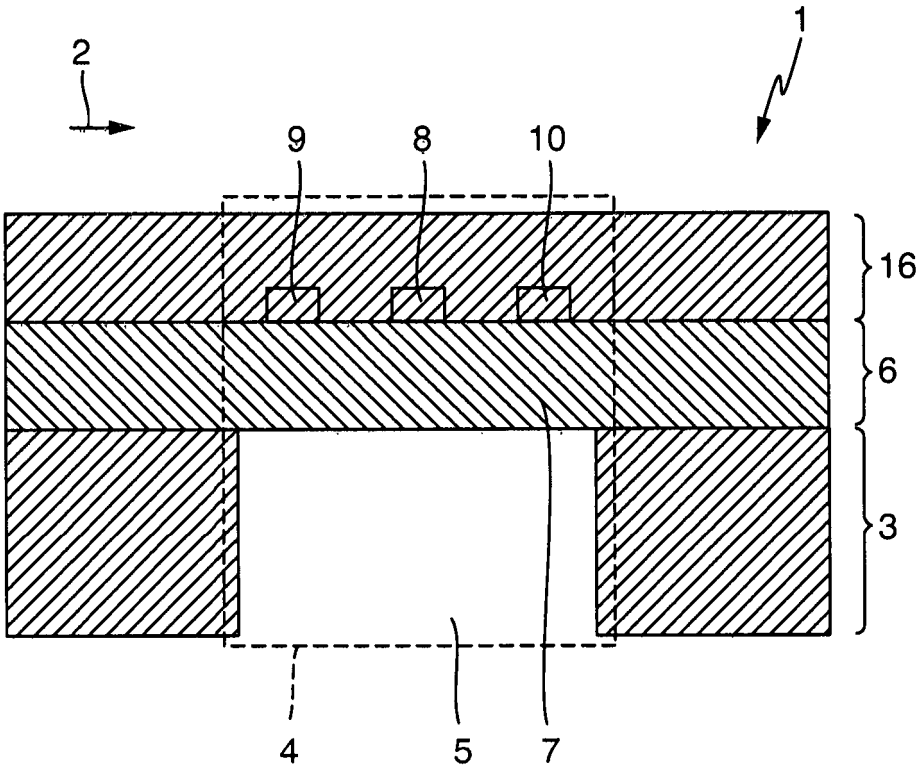


Fig. 1

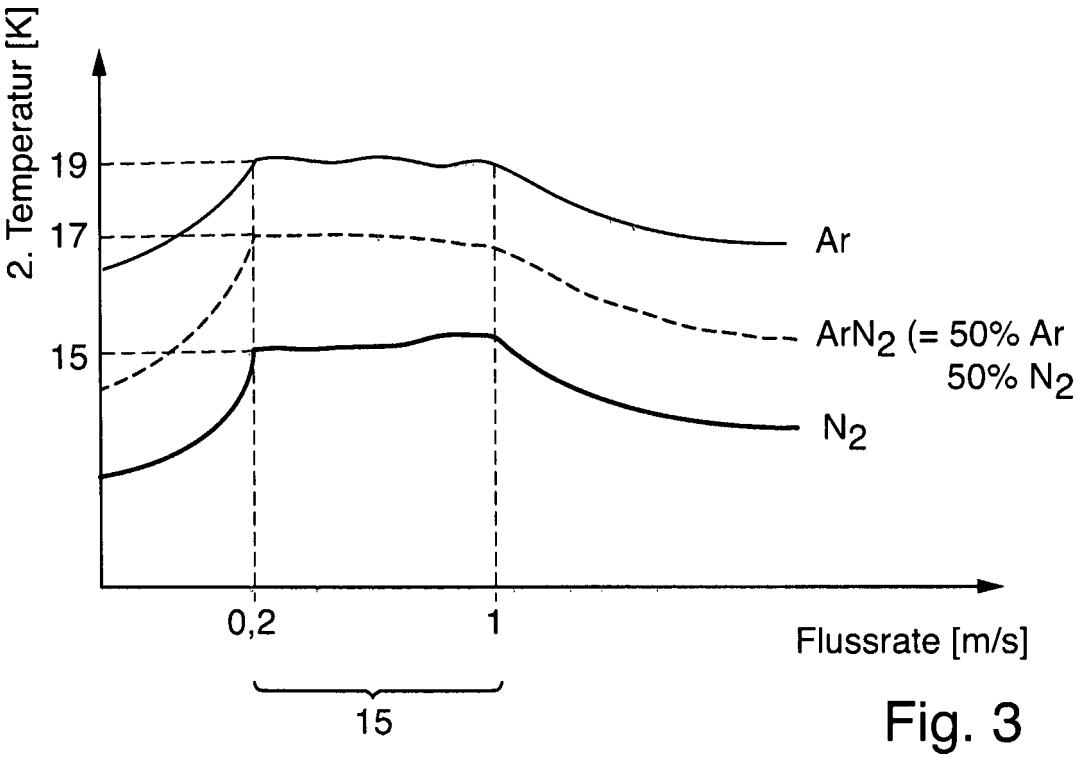


Fig. 3

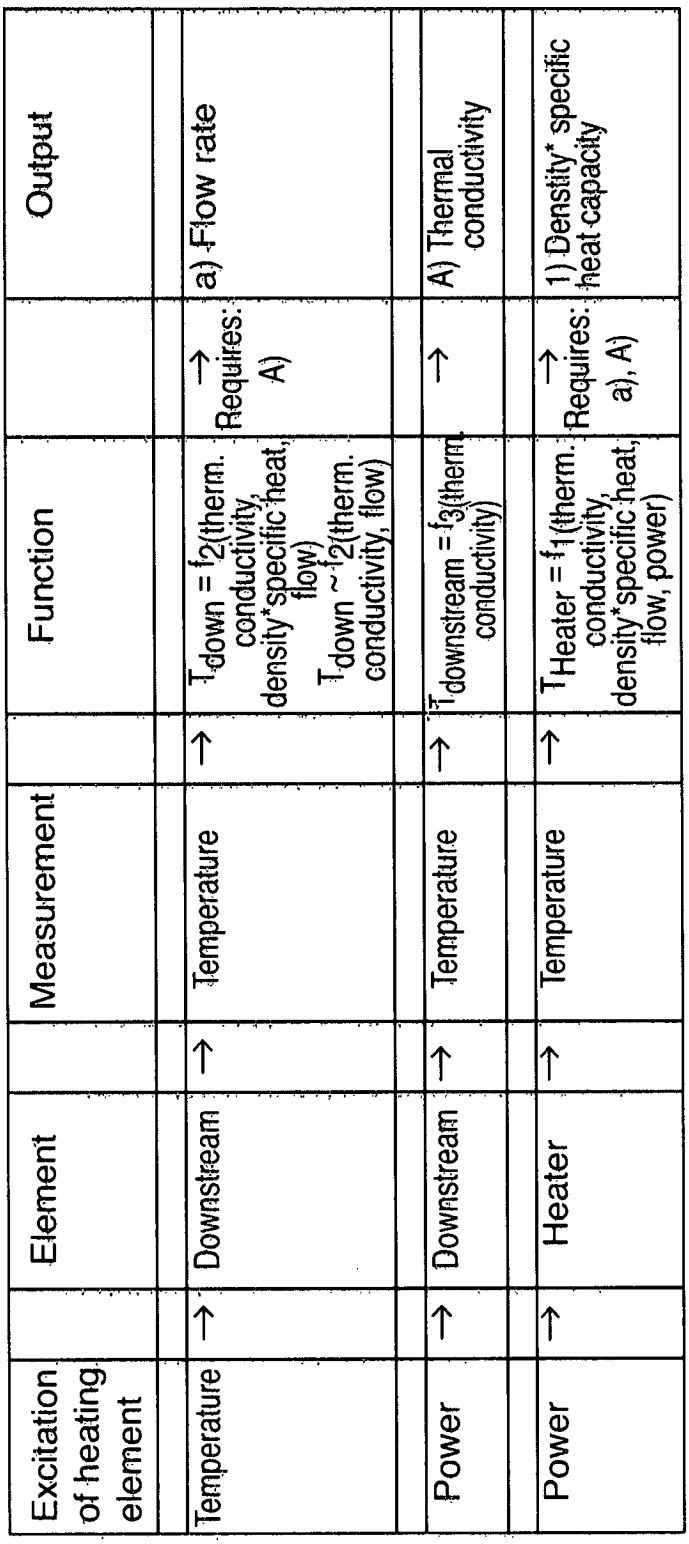

Excitation of heating element
Element
Measurement
Function
Output
Temperature
Downstream
Temperature
$T_{down} = f_2$(therm. conductivity, density*specific heat, flow)
$T_{down} \sim f_2$(therm. conductivity, flow)
→ Requires: A)
a) Flow rate
Power
Downstream
Temperature
$T_{downstream} = f_3$(therm. conductivity)
A) Thermal conductivity
Power
Heater
Temperature
$T_{Heater} = f_1$(therm. conductivity, density*specific heat, flow, power)
→ Requires: a), A)
1) Denstity* specific heat capacity

Fig. 2

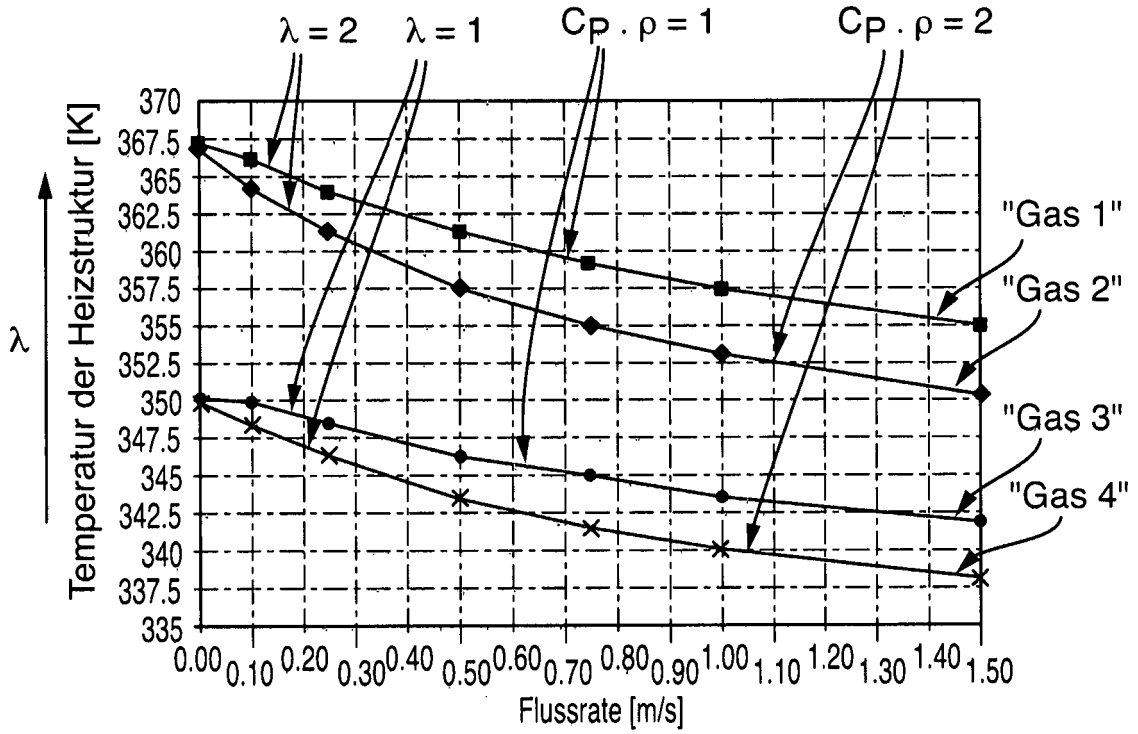

λ = 2
λ = 1
Cp . ρ = 1
Cp . ρ = 2
"Gas 1"
"Gas 2"
"Gas 3"
"Gas 4"
λ
Temperatur der Heizstruktur [K]
370
367.5
365
362.5
360
357.5
355
352.5
350
347.5
345
342.5
340
337.5
335
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20 1.30 1.40 1.50
Flussrate [m/s]

Fig. 4