(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
16. November 2017 (16.11.2017)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/194319 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01F 1/692 (2006.01) *G01F 1/696* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/060074

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. April 2017 (27.04.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 108 625.8
10. Mai 2016 (10.05.2016) DE

(71) Anmelder: **INNOVATIVE SENSOR TECHNOLOGY IST AG** [CH/CH]; Stegrütistr. 14, 9642 Ebnat-Kappel (CH).

(72) Erfinder: **HOLOUBEK, Jiri**; Kulturni 1788, 756 61 Roznow pod Radhostem (CZ).

(74) Anwalt: **ANDRES, Angelika**; Endress+Hauser (Deutschland) AG+Co. KG, Colmarer Str. 6, 79576 Weil am Rhein (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

WO 2017/194319 A1

(54) **Title:** THERMAL FLOW SENSOR

(54) **Bezeichnung:** THERMISCHER DURCHFLUSSSENSOR

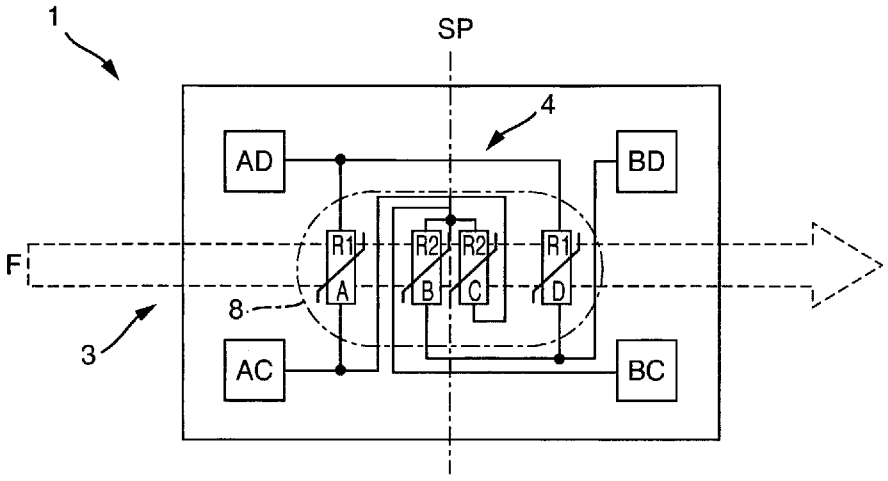

Fig. 1a

(57) **Abstract:** The invention relates to a thermal flow sensor (1) for detecting the flow rate of a medium (3) flowing in a flow direction (F). The flow sensor is equipped with four electric resistors (A, B, C, D) which have a temperature-dependent electric resistance and are made of a cold-conductive material, and the flow sensor is also equipped with a regulating/evaluating unit (2). The four resistors (A, B, C, D) are connected together in a Wheatstone bridge (4), and the four resistors (A, B, C, D) thermally contact the medium (3) during a measuring operation and are offset in the flow direction (F). The regulating/evaluating unit (2) is designed to supply an electric current (I) to the Wheatstone bridge (4) via two first non-adjacent conductor nodes (AC, BD; AD, BC) of the Wheatstone bridge during a measuring operation The supplied current (I) is regulated at a constant specified value, and the regulating/evaluating unit (2) is designed to measure the voltage (U_{out}) present during the measuring operation at two second non-adjacent conductor nodes (AD, BC; AC, BD) of the Wheatstone bridge (4) and to determine the flow rate therefrom.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen thermischen Durchflusssensor (1) zur Bestimmung des Durchflusses eines in eine Durchflussrichtung (F) strömenden Mediums (3), wobei vier elektrische Widerstände (A,B,C,D) mit einen temperaturabhängigen elektrischen Widerstand aus einem kaltleitenden Material und eine Regel-/Auswerteeinheit (2) vorgesehen sind, wobei die vier Widerstände (A,B,C,D) in einer Wheatstone'schen Brücke (4) miteinander verschaltet sind, wobei die vier Widerstände (A,B,C,D) im Messbetrieb im thermischen Kontakt mit dem Medium (3) stehen und in Durchflussrichtung (F) versetzt angeordnet sind, wobei die Regel-/Auswerteeinheit (2) dazu ausgestaltet ist, im Messbetrieb die Wheatstone'schen Brücke (4) über zwei erste nicht benachbarte Leiterknoten (AC,BD; AD, BC) der Wheatstone'schen Brücke mit einem elektrischen Strom (I) zu speisen, wobei der gespeiste Strom (I) auf einen konstanten vorgegebenen Wert geregelt ist, und wobei die Regel-/Auswerteeinheit (2) dazu ausgestaltet ist, die im Messbetrieb vorliegende Spannung (U_{out}) an zwei zweiten nicht benachbarten Leiterknoten (AD,BC; AC,BD) der Wheatstone'schen Brücke (4) zu messen und daraus den Durchfluss zu bestimmen.

Thermischer Durchflusssensor

Die Erfindung betrifft einen thermischen Durchflusssensor.

Zur Bestimmung von Strömungseigenschaften, insbesondere des Durchflusses, eines Mediums (beispielsweise eines Fluides oder Gases) sind thermische Durchflusssensoren bekannt, die ausnutzen, dass ein strömendes bzw. fließendes Medium Wärme transportiert. Derartige Durflusssensoren weisen zumindest ein Heizelement und zumindest einen Temperatursensor auf, um den Durchfluss des Mediums zu bestimmen.

Bekannt sind aus dem Stand der Technik so genannte Anemometer, bei denen die Heizleistung derartig geregelt wird, dass sich eine vorbestimmte Temperatur an dem mindestens einen Temperatursensor aufgrund des Wärmetransports des Mediums einstellt. Anhand der zugeführten Heizleistung lässt sich der Durchfluss des Mediums bestimmen.

Ferner sind aus dem Stand der Technik so genannte kalorimetrische Durchflusssensoren bekannt, die mittels mindestens zweier in der Regel in Durchflussrichtung versetzt angeordneten Temperatursensoren den Durchfluss des Mediums ermitteln. Hierbei wird das Medium an einem zwischen den beiden Temperatursensoren liegenden Heizelement erwärmt bzw. erhitzt. Die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Temperatursensoren wird bestimmt, um so den Durchfluss des Mediums zu erhalten. Bei dieser Methode wird die durch das Heizelement aufgebrachte und an das Medium übertragene Heizleistung nicht geregelt.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf kalorimetrische Durchflusssensoren mit widerstandsbasierten Temperatursensoren.

Als widerstandsbasierte Temperatursensoren werden dabei häufig kaltleitende Materialen verwendet (auch PCT genannt), für die mit steigender Temperatur der Widerstand in erster Ordnung linear zunimmt. Unter den Kaltleitern ist wiederum Platin ein bevorzugtes Material, da Platin eine insgesamt höchstens quadratische Abhängigkeit des Widerstands von der Temperatur aufweist.

Fließt in einem Messbetrieb Strom durch die Widerstände, erwärmen sich diese. Steht einer der Widerstände in Kontakt mit dem Medium, wird damit auch eine Wärmemenge Q in das Medium eingebracht, welche durch den Durchfluss abtransportiert wird. Da bei kalorimetrischen Durchflusssensoren die eingebrachte Wärmemenge nicht auf einen bestimmten Wert geregelt wird, muss die mit der Heizleistung verbundene Wärmemenge

weder konstant noch bekannt sein. Daher sind derartige temperaturabhängige Widerstände zur Eigenheizung geeignet, so dass im Prinzip kein separates Heizelement nötig ist. Das Maß für den Durchfluss ist in diesem Fall eine durch den Durchfluss verursachte Asymmetrie, beispielsweise eine Verschiebung der durch die Eigenheizung erzeugten Wärmeverteilung bzw. Verformung der durch die Eigenheizung verursachten sogenannten thermischen Blase.

Es ist wünschenswert, mit einer derartigen Vorrichtung eine möglichst genaue Durchflussmessung zu ermöglichen. Eine wichtige Störgröße stellt hierbei die Temperatur selbst dar. Das Messsignal für den Durchfluss sollte möglichst nicht von der Umgebungstemperatur, der Temperatur des Mediums, aber auch einer Differenz zwischen Umgebungs- und Medientemperatur oder Änderungen von Umgebungs- und Medientemperatur abhängen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen thermischen Durchflusssensor mit Widerstandsthermometern anzugeben, bei dem temperaturbedingte Einflüsse möglichst gering sind.

Die Aufgabe wird gelöst durch einen thermischer Durchflusssensor zur Bestimmung des Durchflusses eines in eine Durchflussrichtung strömenden Mediums, wobei vier elektrische Widerstände mit einen temperaturabhängigen elektrischen Widerstand aus einem kaltleitenden Material und einer Regel-/Auswerteeinheit vorgesehen sind, wobei die vier Widerstände in einer Wheatstone'schen Brücke miteinander verschaltet sind, wobei die vier Widerstände im Messbetrieb im thermischen Kontakt mit dem Medium stehen und in Durchflussrichtung hintereinander versetzt angeordnet sind, wobei die Regel-/Auswerteeinheit dazu ausgestaltet ist, im Messbetrieb die Wheatstone'schen Brücke über zwei erste nicht benachbarte Leiterknoten der Wheatstone'schen Brücke mit einem elektrischen Strom zu speisen, wobei der gespeiste Strom auf einen konstanten vorgegebenen Wert geregelt ist, und wobei die Regel-/Auswerteeinheit dazu ausgestaltet ist, die im Messbetrieb vorliegende Spannung an zwei zweiten nicht benachbarten Leiterknoten der Wheatstone'schen Brücke zu messen und daraus den Durchfluss zu bestimmen.

Die Erfindung beinhaltet also, eine auf einen konstanten Strom geregelte Wheatstone'sche Brücke mit vier Widerständen zu verwenden, wobei alle Widerstände der Wheatstone'sche Brücke im thermischen Kontakt mit dem Medium stehen und in Durchflussrichtung versetzt angeordnet sind.

Die Wheatstone'sche Brücke wird durch eine geschlossene Leitermasche gebildet, in der vier Widerstände und vier zwischen den Widerständen angeordnete Leiterknoten

vorliegen. Ein Leiterknoten ist ein Punkt, in dem drei Leiter zusammenführen. Jeder der Leiterknoten hat zwei benachbarte Leiterknoten, sowie einen nicht benachbarten Leiterknoten. Der nicht benachbarte Leiterknoten wird im Stand der Technik auch als diagonaler Leiterknoten bezeichnet. In der Wheatstone'schen Brückenschaltung sind die Widerstände damit paarweise parallel und in Reihe geschaltet sind. Die Wheatstone'sche Brücke wird über zwei nicht benachbarte Leiterknoten mit einem konstant geregelten Strom gespeist. Der Strom teilt sich in zwei Strompfade auf. Das Messsignal ist die an den zwei weiteren, nicht benachbarten Leiterknoten der Wheatstone'schen Brücke vorliegende Spannung. Diese sogenannte Brückenspannung ist ein Maß für die durch den Durchfluss eingeführte Asymmetrie. Da alle Widerstände im thermischen Kontakt mit dem Medium stehen, wird zunächst (d.h. außerhalb des Messbetriebs) ein isothermischer Zustand der Widerstände erreicht. Dies ist hilfreich zur Eliminierung von Temperatureffekten.

Im Messbetrieb ist die Heizleistung dann im Wesentlichen P=UI, wobei U die an der Wheatstone'schen Brücke abfallenden Spannung und I der Strom ist. Bei konstanter Stromspeisung der Wheatstone'schen Brücke berechnet sich die Heizleistung zu P= $R*I^2$, wobei I der vorgegebene Wert des konstant geregelten Stromes ist. Damit ist auch der Quotient aus Heizleistung und Gesamtwiderstand zwangsläufig konstant: P/R=const. Dies bewirkt, dass eine rein temperaturbedingte Änderung des Gesamtwiderstandes der Wheatstone'schen bei der Regelung auf den konstanten Strom gleichermaßen eine Änderung der Heizleistung nach sich zieht. Die Widerstände sind dabei aus einem kaltleitenden Material. Damit wird eine steigende Temperatur auch zu einem linear steigenden Widerstand und damit einer linear steigenden Heizleistung führen. Auf diese Weise passt sich durch die Regelung auf den konstanten Strom die Heizleistung automatisch an die Temperatur an. Durch diese Regelung werden damit Temperatureffekte automatisch kompensiert, da aufgrund der Regelung die Heizleistung automatisch mit steigender Temperatur steigt.

Würde die Wheatstone'schen Brücke statt dessen mit konstanter Spannung gespeist, so würde gelten $P=U^2/R$ bzw. P*R=const. In diesem Fall würde eine Erhöhung des Widerstands zu einer Erniedrigung der Heizleistung führen, so dass für die Widerstände aus dem kaltleitenden Material keine Kompensation stattfindet. Würde in diesem Fall statt des kaltleitenden Material ein warmleitendes Material verwendet werden (also ein NTC Material bzw. eine Material dessen Widerstand mit steigender Temperatur sinkt), würde bei steigender Temperatur der Widerstand sinken. Da die Heizleistung aufgrund von P*R=const. steigt, passt sich auch in diesem Fall die Heizleistung automatisch an die Temperatur an. Da NTC Materialien in der Regel stark nicht-linear sind, gestaltetet sich die Kompensation von Temperatureffekten in diesem Fall komplizierter, so dass diese technische Alternative nicht Teil der vorliegenden Anmeldung ist.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind jeweils zwei der vier Widerstände im Wesentlichen identisch ausgestaltet, wobei die im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände jeweils durch einen Leiterknoten der Wheatstone'schen Brücke benachbart sind, und wobei die jeweils im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände im Wesentlichen spiegelsymmetrisch in Bezug auf eine gemeinsame Spiegelachse angeordnet sind, wobei die Spiegelachse im Wesentlichen senkrecht zur Durchflussrichtung ist.

Die vier Widerstände sind also zwei Paare von im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände: die ersten beiden Widerstände sind im Wesentlichen identisch ausgestaltetet, und die zweiten beiden Widerstände sind im Wesentlichen identisch ausgestaltetet. Identisch ausgestaltet heißt im Rahmen dieser Anmeldung, dass die Widerstände denselben nominellen Widerstandswert und dieselbe Kennlinie aufweisen, dass es sich also beispielsweise um zwei Pt100 handelt und zwei Pt1000 handelt. Als nomineller Widerstandswert wird im Rahmen dieser Anmeldung der Widerstandswert der Widerstände ohne Messbetrieb (also ohne Eigenerwärmung etc.) bezeichnet.

Die jeweils im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerständen sind dabei in Bezug auf die Topologie der Wheatstone'schen Brücke so angeordnet, dass genau ein Leiterknoten der Wheatstone'schen Brücke zwischen den im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerständen liegt. Gleichzeitig ist die räumliche Anordnung der im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände durch die gemeinsame Spiegelachse vorgegeben. Die ersten beiden im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände sind spiegelsymmetrisch in Bezug auf die gemeinsame Spiegelachse angeordnet, und die zweiten beiden im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände sind spiegelsymmetrisch in Bezug auf die gemeinsame Spiegelachse angeordnet. Diese Ausgestaltung eignet sich aufgrund der hohen Symmetrie insbesondere für die Erfindung. Es handelt sich um eine besonders symmetrische Ausgestaltung der Wheatstone'schen Brücke.

Beispielsweise können alle Widerstände in einer zur Durchflussrichtung parallelen Ebene angeordnet sein. In diesem Fall liegen die ersten beiden im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände auf einer zur Durchflussrichtung im Wesentlichen parallelen ersten Gerade, und die zweiten beiden im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände auf einer zur Durchflussrichtung parallelen zweiten Gerade, wobei die erste und die zweite Gerade nicht unbedingt übereinstimmen müssen. Selbstverständlich können die Widerstände auch alle auf einer gemeinsamen, zur Durchflussrichtung parallelen Geraden liegen.

Eine andere Möglichkeit ist, dass die ersten beiden im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände in einer ersten, zur Durchflussrichtung parallelen Ebene liegen, und dass die zweiten beiden im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände in einer zweiten, zur Durchflussrichtung parallelen Ebene liegen. Die ersten beiden im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände und die zweiten beiden im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände liegen in dieser Variante in Bezug auf den Durchfluss bzw. das Medium übereinander. Bei den möglichen Anordnungen muss immer gewährleistet sein, dass alle Widerstände mit dem Medium im thermischen Kontakt stehen. Eine Möglichkeit ist, in Bezug auf das Medium übereinander angeordnete Widerstände durch dünne Membrane voneinander elektrisch zu isolieren, wobei eine Wärmeleitung durch die Membrane weiterhin gewährleistet sein muss.

In einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung unterscheidet sich der nominelle Widerstandswert (R1) der ersten beiden im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände vom nominellen Widerstandswert (R2) der zweiten beiden im Wesentlichen identisch ausgestalten Widerstände. Selbstverständlich kann alternativ auch R1=R2 gelten, wobei die zweite Ausgestaltung der Erfindung gegenüber dieser Variante bevorzugt ist.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird im Messbetrieb der vorgegebene Wert des elektrischen Stroms in Bezug auf den zu bestimmenden Durchfluss so gewählt, dass die durch den Strom in das Medium eingebrachte Wärmemenge (Q) und der zu bestimmende Durchfluss einen thermischen Gradienten entlang der Durchflussrichtung bedingen,
wobei der thermische Gradient eine messbare Spannung an den zwei zweiten nicht benachbarten Leiterknoten der Wheatstone'schen Brücke verursacht.

Diese Ausgestaltung beschreibt die Variante der Erfindung mit eigenerwärmten Widerständen. Der Strom muss dabei an die Widerstände bzw. die zum Heizen benötigte Leistung und an einen vorgegebenen Messbereich des zu erwarteten Durchflusses angepasst sein. Eine messbare Spannung bedeutet im Rahmen dieser Anmeldung, dass die Spannung mit fachüblichen Spannungsmessgeräten messbar ist.

In einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung ist ein Heizelement zum Einbringen einer Wärmemenge (Q) in das Medium vorgesehen,
wobei das Heizelement im Wesentlichen in der Mitte zwischen den in Durchflussrichtung hintereinander versetzt angeordneten Widerständen (A,B,C,D) angeordnet ist, vorzugsweise auf der gemeinsamen Spiegelachse, und wobei das Heizelement eine von der Wheatstone'schen Brücke getrennte Strom- bzw. Spannungsversorgung aufweist. In dieser Ausgestaltung liegt das zusätzliche Heizelement also zwischen zwei der im

Wesentlichen identisch ausgestalten Widerständen. Das zusätzliche Heizelement bringt also die zusätzliche Wärmemenge Q in das Medium ein. Je größer die durch das Heizelements in das Medium eingebrachte Wärmemenge, desto größer ist auch der Effekt auf die Widerstände der Wheatstone'schen Brücke. Damit lässt sich anhand des Heizelements die Empfindlichkeit des thermischen Durchflusssensors einstellen.

In einer Ausgestaltung weist das Heizelement einen temperaturabhängigen Widerstand auf, wobei das Heizelement vorzugsweise ein Kaltleiter ist. In dieser Ausgestaltung wird das Heizelement vorzugsweise auch mit einem konstant geregelten Strom gespeist.

In einer dazu alternativen Ausgestaltung weist das Heizelement einen im Wesentlichen temperaturunabhängigen Widerstand auf. Im Rahmen dieser Anmeldung wird als ein im Wesentlichen temperaturunabhängiger Widerstand ein Widerstand bezeichnet, der einen linearen Temperaturkoeffizienten von kleiner als 0,05 $*10^{-3}$ K^{-1} aufweist. In dieser Ausgestaltung kann das Heizelement entweder mit einem konstant geregelten Strom, oder mit einer konstant geregelten Spannung gespeist werden. Als Materialien für den im Wesentlichen temperaturunabhängigen Widerstand eignen sich beispielsweise Nickelchrom, Manganin, Konstantan oder auch Isaohm.

In einer weiteren Ausgestaltung sind für die Kaltleiter Platin und/oder Nickel und/oder Legierungen davon vorgesehen.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung sind die Widerstände und/oder die Wheatstone'sche Brücke als ein oder mehrere Dünnschichtsensorelemente ausgestaltet, wobei das Dünnschichtsensorelement eine auf einem Substrat angeordnete Widerstandsstruktur mit einer Schichtdicke von 0.1-10 Mikrometer aufweist.

Es ist alternativ selbstverständlich auch möglich, die Widerstände als drahtgewickelte Widerstände zu realisieren. Die Drähte können dabei zum Beispiel um ein Rohr gewickelt sein, wobei das fließende Medium das Rohr in Durchflussrichtung durchfließt.

Aufgrund ihrer Miniaturisierbarkeit und der schnellen Ansprechzeit sind jedoch Durchflusssensoren vorteilhaft, welche die auf Dünnschichtsensorelementen basierende Temperatursensoren einsetzen. Dünnschichtsensorelemente bestehen dabei aus einer dünnen Widerstandsstruktur mit einer Dicke von einigen Mikrometern, welche auf einem elektrisch isolierenden Substrat (beispielsweise einer Keramik) angeordnet ist. Üblicherweise ist die Widerstandsstruktur durch eine Abdeckungsschicht (beispielsweise aus Glas) isoliert und geschützt. Der Widerstand wird im Wesentlichen über die Länge der Widerstandsstruktur eingestellt. Dazu weist die Widerstandsstruktur auf dem Substrat

in der Regel einen mäanderförmigen Verlauf auf, um so die benötigte Länge für den messbaren Widerstandswert zu erreichen.

In einer Weiterbildung dieser besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist eine auf dem Substrat angeordnete nicht-wärmeleitende erste Membran vorgesehen, wobei in einem vorgegebenen Bereich des Substrats die Widerstände (A,B,C,D) der Widerstandsstruktur auf der ersten Membran angeordnet sind, und wobei das Substrat in dem vorgegeben Bereich in einer zu der Oberfläche des Substrats senkrechten Richtung um einen vorgegebenen Versatz abgesenkt ist, so dass die erste Membran in dem vorgegebenen Bereich frei tragend ist, und dass die erste Membran die Widerstände (A,B,C,D) von dem Substrat im vorgegebenen Bereich in der zu der Oberfläche des Substrats senkrechten Richtung thermisch isoliert.

In dieser Weiterbildung ist der thermische Durchflusssensor als ein einziges Dünnschichtsensorelement ausgestaltet. Diese Weiterbildung wird beispielsweise so hergestellt, dass die erste Membran zunächst auf die gesamte Oberfläche des ursprünglich ebenen Substrats aufgebracht. In einem nachträglichen Arbeitsschritt wird das Material des Substrats in dem vorgegebenen Bereich selektiv weggeätzt. Dadurch wird ein Spalt zwischen der ersten Membran und Substrat in dem vorgegebenen Bereich erzeugt. Damit ist das Substrat ist in der senkrechten Richtung um einen vorgegebenen Versatz abgesenkt. Auf diese Art ist die erste Membran in dem vorgegeben Bereich, in dem die Widerstände bzw. die Widerstandsstruktur angeordnet sind, frei tragend. Dadurch werden die Widerstände bzw. die Widerstandsstruktur von dem Substrat thermisch isoliert. Auch dies ist hilfreich, um die temperaturbedingten Einflüsse zu minimieren.

In einer Weiterbildung dieser Ausgestaltung weist die erste Membran zumindest eine gemeinsame Symmetrieachse (SA) mit dem Substrat auf,
wobei die gemeinsame Symmetrieachse (SA) im Wesentlichen parallel zur Oberfläche des Substrats ist.

In einer weiteren Weiterbildung bewirkt eine Verschiebung der Widerstände in Bezug auf die Symmetrieachse (SA) von unter 10%

- eine erste Längenänderung des auf der ersten Membran angeordneten Abschnitts der Widerstandsstruktur im ersten Strompfad der Wheatstone'schen Brücke und
- eine zweite Längenänderung des auf der ersten Membran angeordneten Abschnitts der Widerstandsstruktur im zweiten Strompfad der Wheatstone'schen Brücke,

wobei die erste und die zweite Längenänderung im Wesentlichen gleich groß sind.

Auf diese Weise ist die Längenänderung der auf der Membran angeordneten Widerstandsstruktur für die beiden parallelen Strompfade der Wheatstone'schen Brücke im Wesentlichen gleich. Diese Ausgestaltung eignet sich insbesondere in Kombination mit der ersten Ausgestaltung der Erfindung, das heißt der symmetrischen Wheatstone'schen Brücke.

In einer weiteren Ausgestaltung ist eine zweite im Wesentlichen nicht-wärmeleitende Membran vorgesehen, wobei die zweite Membran die Widerstandsstruktur abdeckt. Damit ist auch eine Wärmeisolierung in die zweite Richtung gewährleistet.

In einer weiteren Ausgestaltung weist die erste und/oder die zweite Membran eine Schichtdicke von 5-10 Mikrometer auf.

In einer weiteren Ausgestaltung weist die erste Membran und/oder die zweite Membran Polyimid auf. Polyimide sind wegen ihrer Hitze- und Strahlungsbeständigkeit und ihren für die Erfindung wichtigen Isoliereigenschaften besonders vorteilhaft.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1a-d: Eine Aufsicht auf eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des thermischen Durchflusssensors

Fig. 2a,b: Eine Aufsicht auf eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des thermischen Durchflusssensors

Fig. 3: Eine Seitenansicht eines erfindungsgemäßen thermischen Durchflusssensor

Fig. 4a,b: Experimentelle Ergebnisse von Messungen mit dem erfindungsgemäßen thermischen Durchflusssensor

In Fig. 1a ist eine schematische Aufsicht auf eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen thermischen Durchflusssensors 1 dargestellt. In dieser Ausgestaltung sind die Widerstände B,C im Wesentlichen identisch ausgestaltet und haben den Widerstandswert R1. Auch die Widerstände A,D sind im Wesentlichen identisch ausgestaltetet, sie haben den Widerstandswert R2, wobei R1 und R2 unterschiedlich sind. Die Widerstände sind auf einer einzigen gemeinsamen Gerade in Durchflussrichtung F des Mediums 3 hintereinander versetzt in der Reihenfolge A-B-C-D bzw. R1-R2-R2-R1 angeordnet. In dieser Ausgestaltung sind die Widerstände B,C spiegelsymmetrisch in Bezug auf eine zum Durchfluss im Wesentlichen senkrechten Spiegelachse SP angeordnet. Andere Anordnung als die Anordnung auf einer gemeinsamen Geraden sind selbstverständlich

möglich Die Wheatstone'sche Brücke 4 wird durch die hier gezeigte Verschaltung der vier Widerstände A,B,C,D gebildet. Dabei gibt es die hier gezeigten vier Leiterknoten AD,AC,BD,BC. D

In Fig. 1b ist dieselbe Vorrichtung wie in Fig. 1a gezeigt. In dieser Darstellung ist der Verlauf eines Durchflusses mit einer prinzipiell geraden Durchflussrichtung F in Bezug auf die Topologie der Wheatstone'schen Brücke 4 gezeigt. Die gezeigte Vorrichtung mit den Widerständen Widerstände R1-R2-R2-R1 ist dabei hochsymmetrisch. Die Wheatstone'sche Brücke 4 wird nun über die beiden nicht benachbarten Leiterknoten AC,BD mit einem auf einen konstanten Wert geregelten Strom I gespeist, wodurch an den Widerständen A,B,C,D eine Wärmemenge Q erzeugt und in das Medium 3 eingebracht wird. Fließt nun das Medium 3, wird durch den Wärmetransport die Symmetrie dieser hochsymmetrischen Wheatstone'schen Brücke 4 gestört. Die Asymmetrie ist dabei ein Maß für den Durchfluss, und lässt sich anhand der Spannung Uout zwischen den beiden weiteren nicht benachbarten Leiterknoten AD,BC ermitteln. Dabei kann auch ein Verstärker 11 eingesetzt werden , welcher die an der Wheatstone'schen Brücke 4 vorliegende Spannung Uout verstärkt.

In Fig. 1c ist dieselbe Vorrichtung wie in Fig. 1a gezeigt, wobei hier die Ausgestaltung der Erfindung mit einem zusätzlichen Heizelement HE gezeigt ist. Das Heizelement hat dabei eine eigene Spannungs- bzw. Stromversorgung H1,H2, welche von der Wheatstone'schen Brücke 4 unabhängig ist. Heizelement HE ist in der Mitte zwischen den beiden im Wesentlichen identisch ausgestalten Widerständen B,C angeordnet. Damit liegt es auch auf der Spiegelachse. Anhand des Heizelement HE lässt sich die Empfindlichkeit des thermischen Durchflusssensors 1 einstellen.

In Fig. 1d ist, analog zu Fig. 1b, die Anordnung aus Fig. 1c gezeigt, wobei hier wieder die Darstellung in Bezug auf die Topologie der Wheatstone'schen Brücke 4 gewählt ist. Es ist deutlich erkennbar, dass das Heizelements HE nach den ersten beiden Widerständen A,B angeordnet ist. An dieser Stelle wird die zusätzliche Wärme Q durch das Heizelement HE eingebracht.

In Fig. 2a ist dieselbe Vorrichtung wie aus Fig. 1a gezeigt. In dieser Ausgestaltung des thermischen Durchflusssensors handelt es sich bei den Widerständen A,B,C,D bzw. der Wheatstone'schen Brücke 4 um ein einziges Dünnschichtsensorelement 5. Durch den mäanderförmigen Verlauf der Widerstandsstruktur 7 werden dabei die Widerstände A,B,C,D gebildet. Wird die Vorrichtung über die Leiterknoten AC,BD von der Regel-/Auswerteeinheit 2 mit einem konstanten Strom I beaufschlagt, so ergibt sich dasselbe Bild wie schon in Fig. 1b gezeigt.

Alternativ lässt sich die Widerstandsstruktur 7 auch über die Leiterknoten AD, BC mit dem konstant geregelten Strom I beaufschlagen. Damit ergibt sich ein leicht geänderter Verlauf des Durchflusses mit der prinzipiell geradlinigen Durchflussrichtung F in Bezug auf das Ersatzschaltbild der Wheatstone'schen Brücke 4; dies ist in Fig. 2b. dargestellt.

Auch ist in Fig. 2a die erste Membran 8 dargestellt, sowie eine gemeinsame Symmetrieachse SA der ersten Membran 8 mit dem Substrat 6 (nicht dargestellt). Durch Schwankungen in der Fertigung kann es nun dazu kommen, dass die Widerstandsstruktur 7 in Bezug auf die Symmetrieachse SA verrutscht. In einer Ausgestaltung der Erfindung werden durch geringes Verrutschen bedingte mögliche Effekt minimiert. Diese gelingt dadurch, dass die Widerstandsstruktur 7 so angeordnet ist, dass sich eine Verschiebung der Widerstandsstruktur 7 auf symmetrische Art und Weise auswirkt. Bei einem Verrutschen verlängert bzw. verkürzt sich der erste Abschnitt 71 der Widerstandsstruktur 7 im ersten Strompfad 41 der Wheatstone'schen Brücke 4 um eine erste Längenänderung. Genauso verlängert bzw. verkürzt sich der zweite Abschnitt 72 der Widerstandsstruktur 7 im zweiten Strompfad 42 der Wheatstone'schen Brücke 4 um eine zweite Längenänderung. Wichtig ist hierbei die Längenänderung des auf der ersten Membran 8 angeordneten Anteils dl1 bzw. dl2. Bei einer kleinen Verschiebung der Widerstandsstruktur 7 in Bezug auf die Symmetrieachse SA, d.h. von unter 10%, ändert sich der auf der ersten Membran 8 angeordnete Anteil dl1 im gleichen Maße wie dl2. Daher wird die Symmetrie durch kleine Verschiebungen nicht zerstört. Diese Ausgestaltung ist insbesondere interessant für die besonders bevorzugte hochsymmetrische Ausgestaltung der Wheatstone'schen Brücke 4.

In Fig. 3 ist eine schematische Seitenansicht auf die Ausgestaltung des thermischen Durchflusssensors gezeigt, bei der ein Dünnschichtsensorelement 5 verwendet wird. Das Substrat 6 (gestreift) ist in einem vorgegebenen Bereich 9 um einen Versatz h abgesenkt. In diesem vorgegebenen Bereich 9 ist die Widerstandsstruktur 7 auf der ersten Membran 8 angeordnet. Dadurch ist die erste Membran 8 in diesem vorgegebenen Bereich 9 frei tragend; es wird ein Spalt der Höhe h gebildet. Dadurch wird eine thermische Isolation zwischen der Widerstandsstruktur 7 und dem Substrat 6 erreicht. Die zweite Membran 10 deckt die Widerstandsstruktur 7 zusätzlich ab.

In Fig. 4b sind experimentelle Ergebnisse von Messungen mit dem erfindungsgemäßen thermischen Durchflusssensor 1 dargestellt. Zum Vergleich sind in Fig. 4a experimentelle Ergebnisse mit derselben Vorrichtung gezeigt, wobei im Gegensatz zur erfindungsgemäßen Regelung auf einen konstanten Stromwert I in Fig. 4a auf eine konstante Spannung geregelt wurde. In beiden Figuren 4a,4b ist auf der Ordinatenachse die an der Wheatstone'schen Brücke vorliegende Spannung Uout, sowie auf der

Abszissenachse der tatsächliche vorliegende Durchfluss aufgetragen. Gezeigt sind in 4a,b jeweils verschiedene Kurven für verschiedene Umgebungstemperaturen von 5-55°C in Schritten von jeweils 10°C. Es ist deutlich erkennbar, dass die konstante Spannungsregelung in Fig. 4a eine starke Temperaturabhängigkeit zeigt. Dies zeigt, dass bei gleichem tatsächlich vorliegendem Durchfluss in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur eine unterschiedliche Uout und damit ein unterschiedliches Messsignal ermittelt wird. Die Abhängigkeit des Messsignals von der Umgebungstemperatur ist dabei ca. 1% pro Kelvin.

Demgegenüber zeigt der auf einen konstanten Strom I geregelte erfindungsgemäße thermische Durchflusssensor 1 im Wesentlichen so gut wie keine Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur. Alle Kurven zu unterschiedlichen Temperaturen fallen zusammen. Dies ist im besonderen Maße vorteilhaft, auch weil durch die Temperaturunabhängigkeit eine Mehrpunktkalibrieung des thermischen Durchflusssensors 1 ermöglicht wird, beispielsweise indem eine derartige temperaturunabhängige und sensorspezifische Kennlinie in der Regel-/Auswerteeinheit 2 hinterlegt ist.

Bezugszeichenliste

1	Thermischer Durchflusssensor
2	Regel-/Auswerteeinheit
3	Medium
4	Wheatstone'sche Brücke
41	erster Strompfad
42	zweiter Strompfad
5	Dünnschichtsensorelement
6	Substrat
7	Widerstandsstruktur
71	Abschnitt der Widerstandsstruktur
72	Abschnitt der Widerstandsstruktur
8	erste Membran
9	vorgegebener Bereich
10	zweite Membran
11	Verstärker
A	Widerstand
B	Widerstand
C	Widerstand
D	Widerstand
AC	Leiterknoten
AD	Leiterknoten
BC	Leiterknoten
BD	Leiterknoten
F	Durchflussrichtung
I	konstant geregelter Strom
U_{out}	an der Brücke vorliegende Spannung
R1	erster Widerstandswert
R2	zweiter Widerstandswert
SP	Spiegelachse
Q	eingebrachte Wärmemenge
HE	Heizelement
SA	Symmetrieachse
h	Versatz
dl1	erste Längenänderung

dl2 zweite Längenänderung

Patentansprüche

1. Thermischer Durchflusssensor (1) zur Bestimmung des Durchflusses eines in eine Durchflussrichtung (F) strömenden Mediums (3),
wobei vier elektrische Widerstände (A,B,C,D) mit einen temperaturabhängigen elektrischen Widerstand aus einem kaltleitenden Material und eine Regel-/Auswerteeinheit (2) vorgesehen sind,
wobei die vier Widerstände (A,B,C,D) in einer Wheatstone'schen Brücke (4) miteinander verschaltet sind,
wobei die vier Widerstände (A,B,C,D) im Messbetrieb im thermischen Kontakt mit dem Medium (3) stehen und in Durchflussrichtung (F) versetzt angeordnet sind,
wobei die Regel-/Auswerteeinheit (2) dazu ausgestaltet ist, im Messbetrieb die Wheatstone'schen Brücke (4) über zwei erste nicht benachbarte Leiterknoten (AC,BD; AD, BC) der Wheatstone'schen Brücke mit einem elektrischen Strom (I) zu speisen,
wobei der gespeiste Strom (I) auf einen konstanten vorgegebenen Wert geregelt ist,
und wobei die Regel-/Auswerteeinheit (2) dazu ausgestaltet ist, die im Messbetrieb vorliegende Spannung (U_{out}) an zwei zweiten nicht benachbarten Leiterknoten (AD,BC; AC,BD) der Wheatstone'schen Brücke (4) zu messen und daraus den Durchfluss zu bestimmen.

2. Thermischer Durchflusssensor (1) nach Anspruch 1,
wobei jeweils zwei (A,D);(B,C) der vier Widerstände (A,B,C,D) im Wesentlichen identisch ausgestaltet sind,
wobei die im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände (A,D);(B,C) jeweils durch einen Leiterknoten (AC;BC;BD,AD) der Wheatstone'schen Brücke (4) benachbart sind,
und wobei die jeweils im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände (A,D);(B,C) im Wesentlichen spiegelsymmetrisch in Bezug auf eine gemeinsame Spiegelachse (SP) angeordnet sind, wobei die Spiegelachse (SP) im Wesentlichen senkrecht zur Durchflussrichtung (F) ist.

3. Thermischer Durchflusssensor (1) nach Anspruch 2,
wobei sich der nominelle Widerstandswert (R1) der ersten beiden im Wesentlichen identisch ausgestalteten Widerstände (A,D) vom nominellen Widerstandswert (R2) der zweiten beiden im Wesentlichen identisch ausgestalten Widerstände (B,C) unterscheidet.

4. Thermischer Durchflusssensor (1) nach zumindest einem der Ansprüche 1-3,
wobei im Messbetrieb der vorgegebene Wert des elektrischen Stroms (I) in Bezug auf den zu bestimmenden Durchflusses (F) so gewählt wird,

dass die durch den Strom (I) in das Medium (3) eingebrachte Wärmemenge (Q) und der zu bestimmende Durchfluss einen thermischen Gradienten entlang der Durchflussrichtung (F) bedingen,
wobei der thermische Gradient eine messbare Spannung (Uout) an den zwei zweiten nicht benachbarten Leiterknoten (AC,BD);(AD,BC) der Wheatstone'schen Brücke verursacht.

5. Thermischer Durchflusssensor (1) nach zumindest einem der Ansprüche 1-4, wobei ein Heizelement (HE) zum Einbringen einer Wärmemenge (Q) in das Medium (3) vorgesehen ist,
wobei das Heizelement (HE) im Wesentlichen in der Mitte zwischen den in Durchflussrichtung (F) hintereinander versetzt angeordneten Widerständen (A,B,C,D) angeordnet ist, vorzugsweise auf der gemeinsamen Spiegelachse (SP),
und wobei das Heizelement (HE) eine von der Wheatstone'schen Brücke (4) getrennte Strom- bzw. Spannungsversorgung aufweist.

6. Thermischer Durchflusssensor (1) nach zumindest einem der Ansprüche 1-5, wobei das Heizelement (HE) einen temperaturabhängigen Widerstand aufweist, und wobei das Heizelement (HE) vorzugsweise ein Kaltleiter ist.

7. Thermischer Durchflusssensor (1) nach zumindest einem der Ansprüche 1-5, wobei das Heizelement (HE) einen im Wesentlichen temperaturunabhängigen Widerstand aufweist.

8. Thermischer Durchflusssensor (1) nach zumindest einem der Ansprüche 1-7, wobei die Kaltleiter (A,B,C,D;HE) Platin und/oder Nickel und/oder Legierungen davon aufweisen

9. Thermischer Durchflusssensor (1) nach zumindest einem der Ansprüche 1-8, wobei die Wheatstone'sche Brücke (4) als ein oder mehrere Dünnschichtsensorelemente (5) ausgestaltet ist,
wobei das Dünnschichtsensorelement (5) eine auf einem Substrat (6) angeordnete Widerstandsstruktur (7) mit einer Schichtdicke von 0.1-10 Mikrometer aufweist.

10. Thermischer Durchflusssensor (1) nach Anspruch 9,
wobei eine auf dem Substrat (6) angeordnete nicht-wärmeleitende erste Membran (8) vorgesehen ist,
wobei in einem vorgegebenen Bereich (9) des Substrats (6) die Widerstände (A,B,C,D) der Widerstandsstruktur (7) auf der ersten Membran (8) angeordnet sind,

und wobei das Substrat (6) in dem vorgegeben Bereich (9) in einer zu der Oberfläche des Substrats (6) senkrechten Richtung um einen vorgegebenen Versatz (h) abgesenkt ist, so dass die erste Membran (8) in dem vorgegebenen Bereich (9) frei tragend ist, und dass die erste Membran (8) die Widerstände (A,D,C,B) von dem Substrat (6) im vorgegebenen Bereich (9) in der zu der Oberfläche des Substrats senkrechten Richtung thermisch isoliert.

11. Thermischer Durchflusssensor (1) nach Anspruch 10,
wobei die erste Membran (8) zumindest eine gemeinsame Symmetrieachse (SA) mit dem Substrat (3) aufweist,
wobei die gemeinsame Symmetrieachse (SA) im Wesentlichen parallel zur Oberfläche des Substrats (3) ist.

12. Thermischer Durchflusssensor (1) nach Anspruch 11,
wobei eine Verschiebung der Widerstandsstruktur (7) in Bezug auf die Symmetrieachse (SA) von unter 10%

- eine erste Längenänderung (dl1) des auf der ersten Membran (8) angeordneten Abschnitts (71) der Widerstandsstruktur (7) in einem ersten Strompfad (41) der Wheatstone'schen Brücke (4) und
- eine zweite Längenänderung (dl2) des auf der ersten Membran (8) angeordneten Abschnitts (72) der Widerstandsstruktur (7) in einem zweiten Strompfad (42) der Wheatstone'schen Brücke (4) bewirkt,

wobei die erste (dl1) und die zweite (dl2) Längenänderung im Wesentlichen gleich groß sind.

13. Thermischer Durchflusssensor (1) nach zumindest einem der Ansprüche 9-12,
wobei eine zweite im Wesentlichen nicht-wärmeleitende Membran (10) vorgesehen ist,
wobei die zweite Membran (10) die Widerstandsstruktur (7) abdeckt.

14. Thermischer Durchflusssensor (1) nach zumindest einem der Ansprüche 9-13, wobei die erste Membran (8) und/oder die zweite Membran (10) eine Schichtdicke von 5-10 Mikrometer aufweist.

15. Thermischer Durchflusssensor (1) nach zumindest einem der Ansprüche 9-14,
wobei die erste Membran (8) und/oder die zweite Membran (10) Polyimid aufweist.

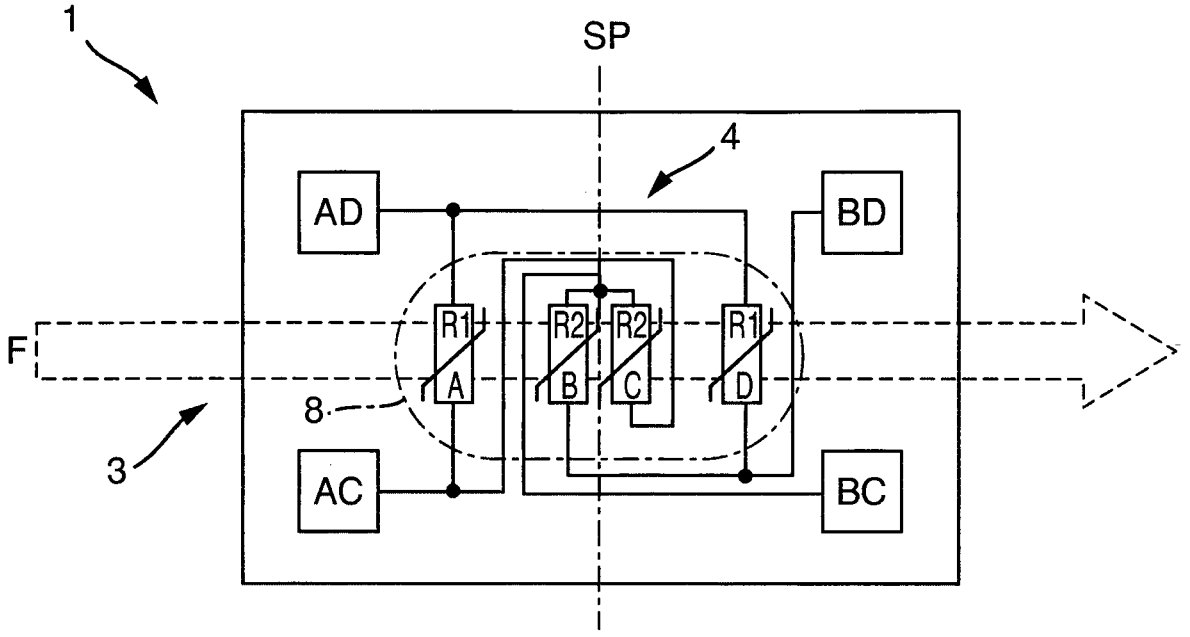
1
SP
4
AD
BD
F
R1
A
R2
B
R2
C
R1
D
8
3
AC
BC

Fig. 1a

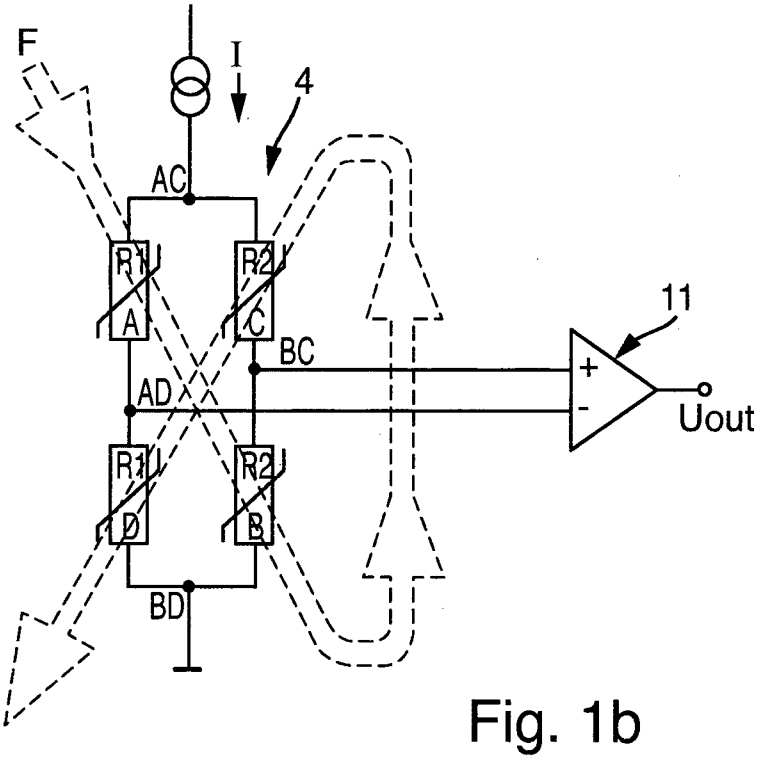
F
I
4
AC
R1
A
R2
C
BC
11
AD
+
-
Uout
R1
D
R2
B
BD

Fig. 1b

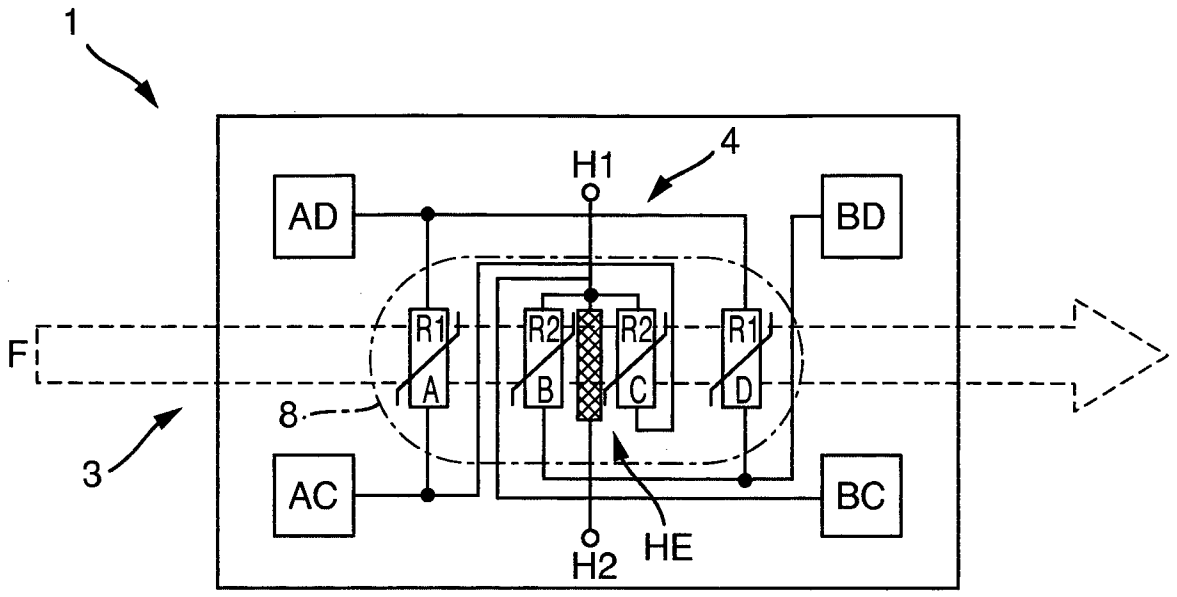
1
4
H1
AD
BD
R1
R2
R2
R1
A
B
C
D
F
8
3
AC
BC
H2
HE

Fig. 1c

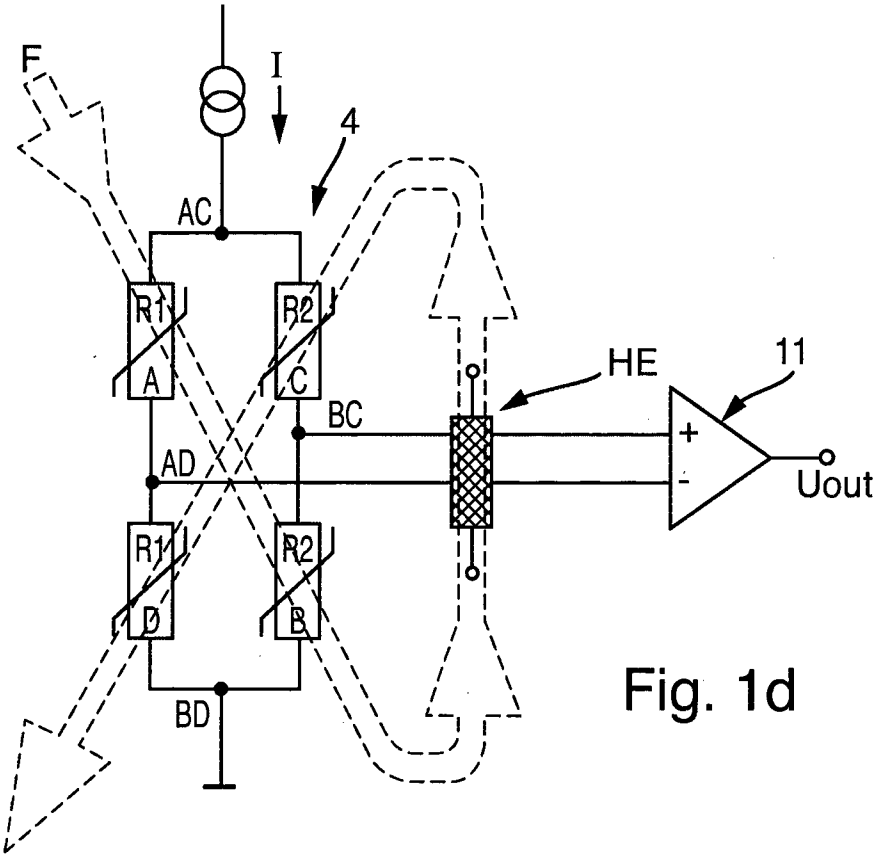
F
I
4
AC
R1
R2
A
C
HE
11
BC
AD
+
-
Uout
R1
R2
D
B
BD

Fig. 1d

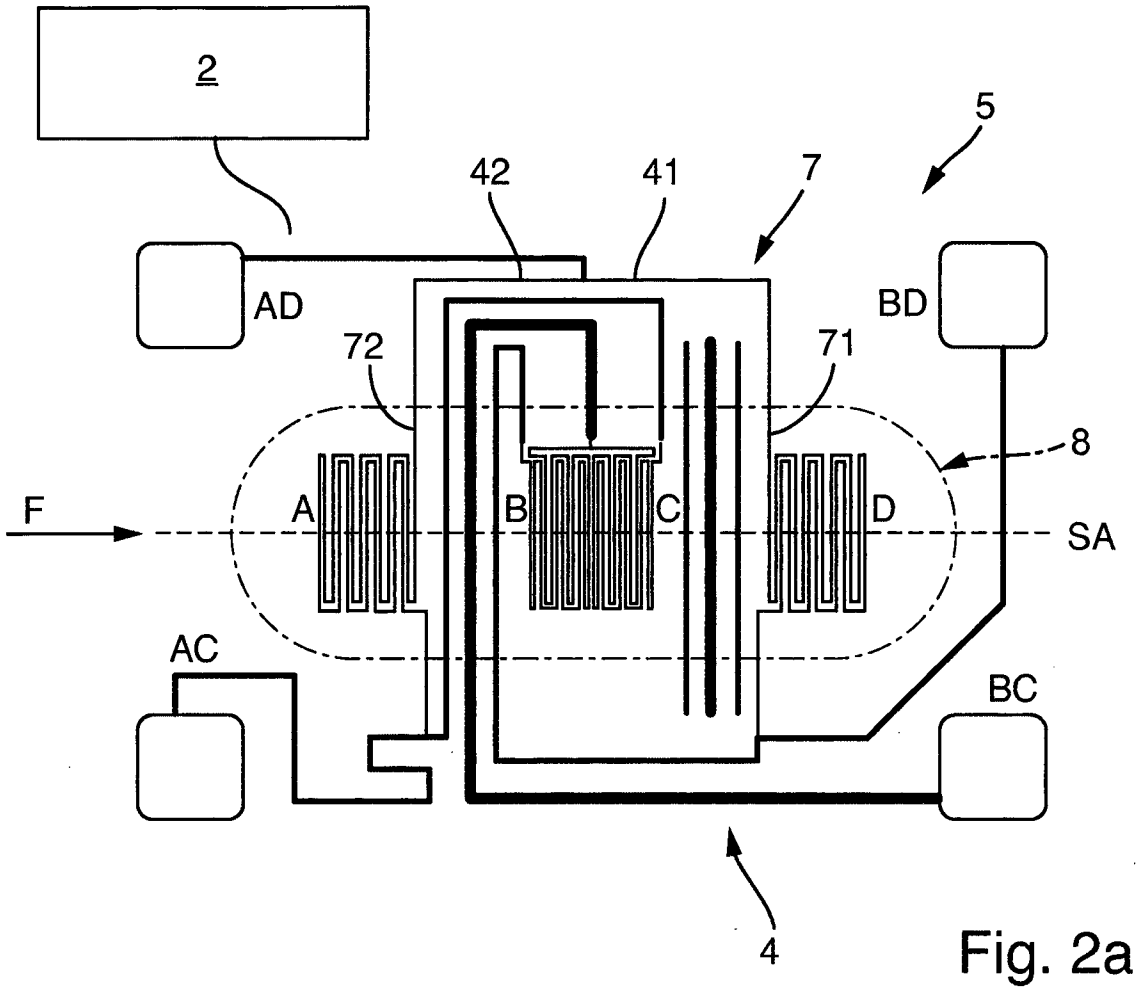
2
5
42
41
7
AD
BD
72
71
8
F
A
B
C
D
SA
AC
BC
4

Fig. 2a

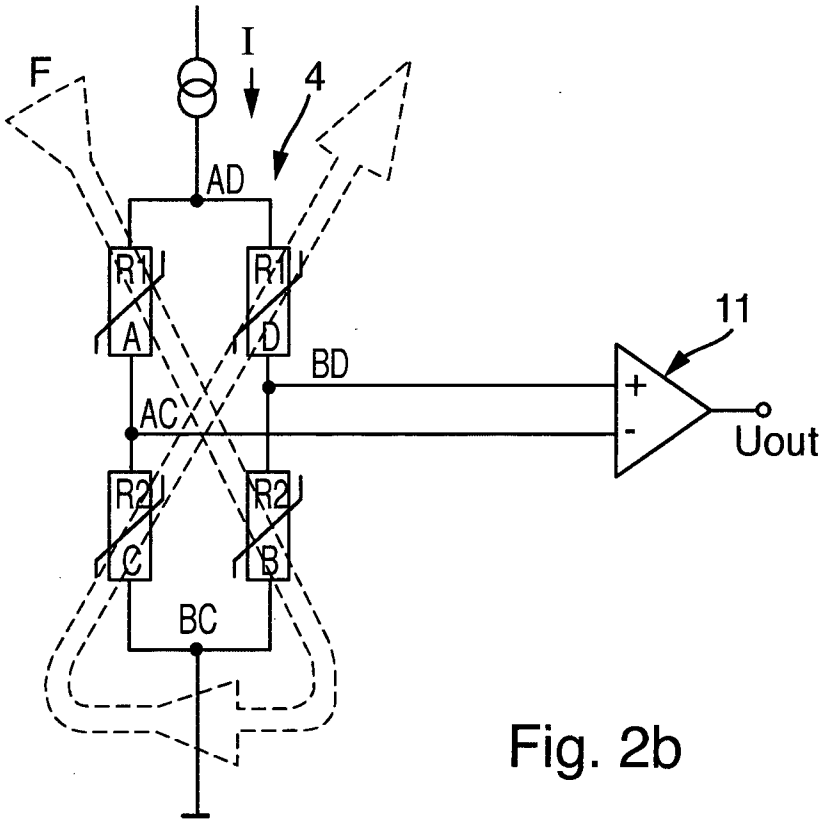
I
F
4
AD
R1
A
R1
D
11
BD
AC
+
-
Uout
R2
C
R2
B
BC

Fig. 2b

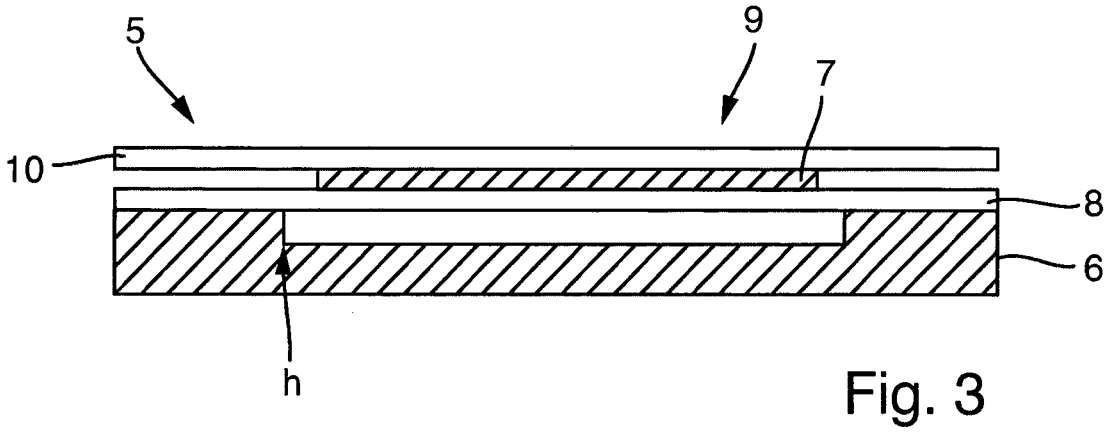

Fig. 3

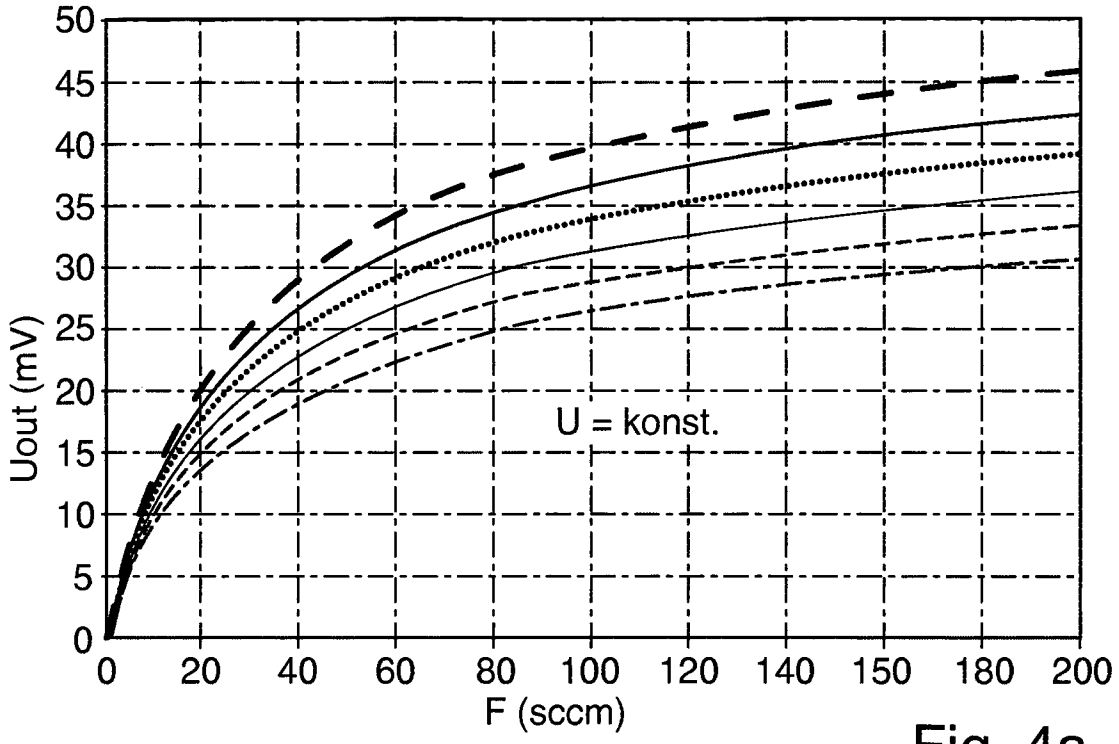
Uout (mV)
F (sccm)
U = konst.
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
0
20
40
60
80
100
120
140
150
180
200

Fig. 4a

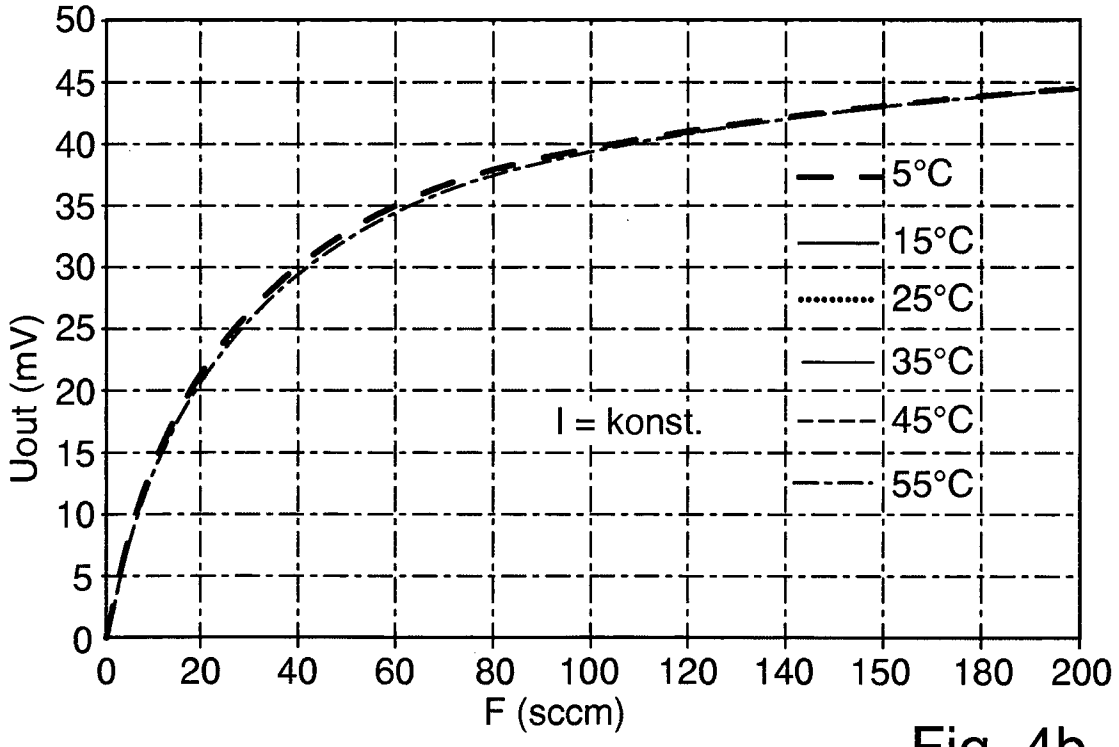
Uout (mV)
F (sccm)
I = konst.
5°C
15°C
25°C
35°C
45°C
55°C
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
0
20
40
60
80
100
120
140
150
180
200

Fig. 4b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/060074

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01F1/692 G01F1/696
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 809 090 A1 (VARIAN ASSOCIATES [US]) 26 November 1997 (1997-11-26) column 1, line 7 column 3, line 46 - line 51 column 4, line 24 - line 26 column 4, line 27 - line 29 column 4, line 27 figures 6, 7, 8, 9 column 4, line 1 - line 7 -----	1-3,5-15
X	WO 2016/044407 A1 (HONEYWELL INT INC [US]) 24 March 2016 (2016-03-24)	4
A	figures 2, 3 page 4, line 1 - line 14 page 3, line 2 - line 14 page 4, line 1 - line 3 page 6, line 16 - line 18 -----	3,5,12

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
13 July 2017	26/07/2017

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Régert, Tamás

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 2 477 008 A1 (HONEYWELL INT INC [US]) 18 July 2012 (2012-07-18) sentence 18, paragraph 0002 - sentence 24 sentence 35, paragraph 0003 - sentence 38 -----	6,7
A	JP H06 11374 A (FUJI ELECTRIC CO LTD) 21 January 1994 (1994-01-21) sentence 4, paragraph 0019 - sentence 5 sentence 16, paragraph 0021 -----	9-15
A	EP 1 418 408 A1 (HITACHI LTD [JP]; HITACHI CAR ENG CO LTD [JP]) 12 May 2004 (2004-05-12) figure 7 column 9, line 58 - column 10, line 2 -----	13
A	US 2012/085163 A1 (YAMAGUCHI JUNZO [JP] ET AL) 12 April 2012 (2012-04-12) figures 2, 3 -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2017/060074

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0809090 A1	26-11-1997	EP 0809090 A1	26-11-1997
		JP H1068646 A	10-03-1998
		US 5792952 A	11-08-1998
WO 2016044407 A1	24-03-2016	NONE	
EP 2477008 A1	18-07-2012	AU 2012200191 A1	02-08-2012
		CN 102680035 A	19-09-2012
		CN 106885610 A	23-06-2017
		EP 2477008 A1	18-07-2012
		EP 3104137 A1	14-12-2016
		US 2012180563 A1	19-07-2012
JP H0611374 A	21-01-1994	NONE	
EP 1418408 A1	12-05-2004	EP 1418408 A1	12-05-2004
		JP 4157034 B2	24-09-2008
		JP WO2003016833 A1	02-12-2004
		US 2004211253 A1	28-10-2004
		WO 03016833 A1	27-02-2003
US 2012085163 A1	12-04-2012	JP 5152292 B2	27-02-2013
		JP 2012078324 A	19-04-2012
		US 2012085163 A1	12-04-2012

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/060074

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01F1/692 G01F1/696
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 809 090 A1 (VARIAN ASSOCIATES [US]) 26. November 1997 (1997-11-26) Spalte 1, Zeile 7 Spalte 3, Zeile 46 - Zeile 51 Spalte 4, Zeile 24 - Zeile 26 Spalte 4, Zeile 27 - Zeile 29 Spalte 4, Zeile 27 Abbildungen 6, 7, 8, 9 Spalte 4, Zeile 1 - Zeile 7 -----	1-3,5-15
X	WO 2016/044407 A1 (HONEYWELL INT INC [US]) 24. März 2016 (2016-03-24)	4
A	Abbildungen 2, 3 Seite 4, Zeile 1 - Zeile 14 Seite 3, Zeile 2 - Zeile 14 Seite 4, Zeile 1 - Zeile 3 Seite 6, Zeile 16 - Zeile 18 ----- -/--	3,5,12

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
13. Juli 2017	26/07/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Régert, Tamás

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/060074

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 2 477 008 A1 (HONEYWELL INT INC [US]) 18. Juli 2012 (2012-07-18) Satz 18, Absatz 0002 - Satz 24 Satz 35, Absatz 0003 - Satz 38 -----	6,7
A	JP H06 11374 A (FUJI ELECTRIC CO LTD) 21. Januar 1994 (1994-01-21) Satz 4, Absatz 0019 - Satz 5 Satz 16, Absatz 0021 -----	9-15
A	EP 1 418 408 A1 (HITACHI LTD [JP]; HITACHI CAR ENG CO LTD [JP]) 12. Mai 2004 (2004-05-12) Abbildung 7 Spalte 9, Zeile 58 - Spalte 10, Zeile 2 -----	13
A	US 2012/085163 A1 (YAMAGUCHI JUNZO [JP] ET AL) 12. April 2012 (2012-04-12) Abbildungen 2, 3 -----	1-15

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/060074

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0809090 A1	26-11-1997	EP 0809090 A1	26-11-1997
		JP H1068646 A	10-03-1998
		US 5792952 A	11-08-1998
WO 2016044407 A1	24-03-2016	KEINE	
EP 2477008 A1	18-07-2012	AU 2012200191 A1	02-08-2012
		CN 102680035 A	19-09-2012
		CN 106885610 A	23-06-2017
		EP 2477008 A1	18-07-2012
		EP 3104137 A1	14-12-2016
		US 2012180563 A1	19-07-2012
JP H0611374 A	21-01-1994	KEINE	
EP 1418408 A1	12-05-2004	EP 1418408 A1	12-05-2004
		JP 4157034 B2	24-09-2008
		JP WO2003016833 A1	02-12-2004
		US 2004211253 A1	28-10-2004
		WO 03016833 A1	27-02-2003
US 2012085163 A1	12-04-2012	JP 5152292 B2	27-02-2013
		JP 2012078324 A	19-04-2012
		US 2012085163 A1	12-04-2012