



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 17 875 T2 2004.07.29**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 049 935 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 17 875.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US98/26774**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 964 002.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/034221**

(86) PCT-Anmeldetag: **17.12.1998**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **08.07.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **08.11.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **03.09.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.07.2004**

(51) Int Cl.7: **G01P 5/18**
G01F 1/708

(30) Unionspriorität:
2157 31.12.1997 US

(73) Patentinhaber:
Honeywell, Inc., Minneapolis, Minn., US

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, ES, FI, FR, GB, IT, NL, SE

(72) Erfinder:
**ULRICH, Bonne, Hopkins, US; KUBISIAK, David,
Chanhassen, US; MATTHYS, J., Robert, St.
Anthony, US; SCHULDT, B., Spencer,
Bloomington, US**

(54) Bezeichnung: **BESTIMMUNG DER GESCHWINDIGKEIT EINES FLUIDS MIT HILFE VON LAUFZEITMESSUNGEN
VON WÄRMEPULSEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

1. ERFINDUNGSGEBIET

[0001] Die Erfindung betrifft ganz allgemein das Messen von Fluideigenschaften und insbesondere das Ermitteln der Geschwindigkeit eines interessierenden Fluids.

2. BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK

[0002] Eine Reihe von Techniken wurde ersonnen, um die Geschwindigkeit eines Fluids in einem Lumen zu messen. Ein Ansatz hierzu ist der "Flugzeit"-Ansatz, der im Wesentlichen beinhaltet, die Zeit zu ermitteln, die eine thermische Welle benötigt, um von einem Quellenheizelement zu einem Zielheizelement zu strömen. Mit Kenntnis des Abstands zwischen dem Heizelement und dem Sensor lässt sich somit die Geschwindigkeit des Fluids berechnen.

[0003] Die US-Patentschrift 4,576,050 an Lambert offenbart einen solchen "Flugzeit"-Ansatz. Lambert schlägt vor, einen Heizstreifen mittels eines oszillierenden Heizelementeingangssignals mit Energie zu versorgen, um thermische Wellen in dem Fluid zu erzeugen. Die thermischen Wellen durchlaufen das Fluid mit einer Geschwindigkeit, die von der senkrecht zu dem Heizstreifen gerichteten Fluidstromgeschwindigkeit abhängt. Ein von einer oder beiden Seiten des Heizelements beabstandeter thermoelektrischer Detektor erfasst die thermische Welle und gibt ein entsprechendes Detektorausgangssignal aus. Die Geschwindigkeit des Fluids lässt sich wenigstens in erster Ordnung aus der Zeitdifferenz zwischen dem Heizelementeingangssignal und dem Detektorausgangssignal ermitteln.

[0004] Eine Beschränkung des Ansatzes von Lambert besteht darin, dass die gemessene Zeit oder Phasendifferenz zwischen dem Heizelementeingangssignal und dem Detektorausgangssignal von einer Anzahl physikalischer Eigenschaften des Fluids, darunter beispielsweise dessen Temperatur, Druck, Wärmeleitfähigkeit, und thermischer Temperaturleitkoeffizient abhängt. Um einige dieser Parameter zu kompensieren, schlägt Lambert vor, eine Referenzmessung mit einem zweiten Sensor durchzuführen, der einer ruhenden Flüssigkeit oder einem Fluid mit einer Geschwindigkeitskomponente ausgesetzt ist, die senkrecht zu der Quelle des zweiten Sensors steht. Durch Vergleichen des Ausgangssignals des zweiten Sensors mit demjenigen des ersten Sensors lässt sich gemäß dem Vorschlag von Lambert eine Phasendifferenz berechnen, die zumindest von einigen der oben aufgelisteten Fluideigenschaften unabhängig ist. Wie ersichtlich, wird der zweite Sensor bei Lambert nicht zum Messen der Fluidgeschwindigkeit verwendet, sondern dient vielmehr dazu, ausgewählte physikalische Eigenschaften des Fluids zu kompensieren.

[0005] Eine weitere Einschränkung des Ansatzes von Lambert liegt darin, dass einige potentielle Fehlerquellen in der Phasendifferenzmessung vernachlässigt werden, wodurch sich die Genauigkeit der Messung vermindert. Eine dieser Fehlerquellen ist die von Null verschiedene Heizelementzeitverzögerung, die gewöhnlich zwischen dem Heizelementeingangssignal und dem Ansprechen des Heizelements (und daher des Fluids) mit einer Erhöhung der Temperatur besteht. Die Heizelementzeitverzögerung wird gewöhnlich, wenigstens im Falle von Mikrobrückenstrukturen, wie sie in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung in Betracht kommen, durch die Wärmeleitfähigkeit k des betreffenden Fluids dominiert.

[0006] Eine weitere Fehlerquelle ist die von Null verschiedene Sensorzeitverzögerung, die gewöhnlich zwischen der Ankunft der Temperaturstörung an dem Sensorelement und dem entsprechenden Ansprechen des Sensorelements vorhanden ist. Hauptsächlich aufgrund der von Null verschiedenen thermischen Masse des Sensors verändert sich die Temperatur des Sensorelements als Reaktion auf eine Temperaturänderung in dem Fluid gewöhnlich nicht unverzüglich.

[0007] Es wäre daher erwünscht, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, die es ermöglichen, die Fluidgeschwindigkeit weitgehend unabhängig von den physikalischen Eigenschaften des Fluids zu ermitteln. Weiterhin wäre es wünschenswert, einen Strömungssensor zu schaffen, der zur Steigerung der Genauigkeit die von Null verschiedene Heizelementzeitverzögerung und die von Null verschiedene Sensorzeitverzögerung berücksichtigt.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0008] Die Erfindung schafft eine Vorrichtung nach Anspruch 1.

[0009] Vorzugsweise schließt die Vorrichtung die Merkmale eines oder mehrerer abhängiger Ansprüche 2 bis 15 mit ein.

[0010] Die vorliegende Erfindung schafft weiterhin ein Verfahren nach Anspruch 16.

[0011] Das Verfahren kann die Merkmale des abhängigen Anspruchs 17 einschließen.

- [0012] Sämtliche Teile der Beschreibung, die nicht den behandelten Gegenstand der Ansprüche betreffen, sind als dem Verständnis der Erfindung dienende Hintergrundinformationen zu bewerten.
- [0013] Die vorliegende Erfindung ist in der Lage, viele der im Zusammenhang mit dem Stand der Technik vorhandenen Nachteile durch Schaffen eines Verfahrens und einer Vorrichtung zu beseitigen, durch die sich die Fluidgeschwindigkeit verhältnismäßig unabhängig von den physikalischen Eigenschaften des Fluids ermitteln lässt, und die zur Erhöhung der Genauigkeit die Effekte der von Null verschiedenen Heizelementzeitverzögerung und/oder der von Null verschiedenen Sensorzeitverzögerung minimieren.
- [0014] In einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung sind ein Heizelement und mindestens zwei beabstandete Sensorelemente vorgesehen, wobei die Sensorelemente in unterschiedlichen Entfernungen von dem Heizelement angeordnet sind. Das Heizelement und die Sensorelemente sind innerhalb eines interessierenden Fluidmediums (Fluid oder Gas) angeordnet und stehen mit diesem in engem Kontakt. Ein zeitlich veränderliches Eingangssignal wird an das Heizelement ausgegeben, wodurch sich das umgebende Fluid erwärmt. Von Interesse ist die Durchgangszeit, welche die Temperaturstörung benötigt, um von dem Heizelement zu dem ausgewählten Sensorelementen zu gelangen. Da die Sensorelemente in unterschiedlichen Entfernungen von dem Heizelement angeordnet sind, und, wie weiter unten ausführlicher beschrieben, sich die Fluidgeschwindigkeit anhand der gemessenen Durchgangszeiten weitgehend unabhängig von den Fluideigenschaften berechnen lässt.
- [0015] Um die Effekte der von Null verschiedenen Heizelement- und Sensorzeitverzögerungen auf die gesuchten Durchgangszeiten zu reduzieren, schlägt ein erstes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung vor, die Heizelement- und Sensorzeitverzögerungen während einer Kalibrierungsprozedur zu messen. Die Heizelement- und Sensorzeitverzögerungen lassen sich unmittelbar messen, indem an das Heizelement ein Heizelementeingangssignal, und an jedes der Sensorelemente ein Sensoreingangssignal ausgegeben wird. Die Zeitverzögerungen des Heizelements und der Sensoren lassen sich ermitteln, indem mittels Heizelement- bzw. [0016] Sensorausgangssignalen die vorübergehenden Temperaturantworten des Heizelements und der Sensorelemente erfasst werden. Um präzisere Ergebnisse der Durchgangszeiten der Temperaturstörung in dem Fluid zu erhalten, können die Zeitverzögerungen des Heizelements und/oder der Sensoren von den zwischen dem Heizelementeingangssignal und jedem der Sensorausgangssignale gemessenen Gesamtverzögerungen subtrahiert werden.
- [0017] Ein weiterer Ansatz, um die Effekte der von Null verschiedenen Zeitverzögerungen des Heizelements und der Sensoren zu reduzieren, begründet sich darauf, die Sensorelemente während des Betriebs mittels des jeweiligen Sensoreingangssignals zu erwärmen. Die Sensoreingangssignale werden vorzugsweise geeignet gesteuert/geregelt, um eine Frequenz, Phase und Amplitude zu erzeugen, die eine resultierende Temperaturantwort in dem entsprechenden Sensorelement hervorrufen, welche der Temperaturstörung in dem Fluid nachfolgt. Wenn diese Bedingung erfüllt ist, wird im Wesentlichen keine Wärme von dem Fluid zu den Sensorelementen übertragen, und der Einfluss der Sensorzeitverzögerungen ist auf ein Minimum reduziert.
- [0018] Die geeignete Phase und Amplitude der Sensoreingangssignale lassen sich in einer Kalibrierungsprozedur ermitteln. In einem Ausführungsbeispiel werden die Sensorelemente zunächst einer Vakuumbedingung unterworfen, und an jedes der Sensorelemente wird ein Sensoreingangssignal ausgegeben. Da die Sensorelemente nicht von Fluid umgeben sind, wird von den Sensorelementen auf das Fluid nahezu keine Wärme übertragen. Eine Sensorzeitverzögerung zwischen dem Sensoreingangssignal und der resultierenden Temperaturantwort eines jeden Sensorelements wird gemessen und gespeichert. Ein Verhältnis zwischen Spannung und Widerstand wird ebenfalls für jedes Sensorelement gemessen und gespeichert.
- [0019] Die Sensorelemente werden anschließend einem interessierenden Fluid ausgesetzt. Während des Betriebes wird die Phase eines jeden der Sensoreingangssignale so angepasst, dass die sich ergebende Sensorzeitverzögerung gleich der unter Vakuumbedingungen gemessenen Sensorzeitverzögerung ist. In ähnlicher Weise ist die Amplitude jedes der Sensoreingangssignale so angepasst, dass das sich ergebende Verhältnis zwischen Spannung und Widerstand gleich dem unter Vakuumbedingungen gemessenen Verhältnis zwischen Spannung und Widerstand ist. Unter diesen Bedingungen, lassen sich die Sensorzeitverzögerungen als einer der Faktoren bei der Bestimmung der Durchgangszeiten der Temperaturstörung verringern oder eliminieren.
- [0020] Der Einfluss der Zeitverzögerung des Heizelements lässt sich verringern oder eliminieren, indem die Messung der Zeitverzögerung gestartet wird, wenn ein Heizelementausgangssignal einen gegebenen Schwellwert überschreitet, bei dem das Heizelementausgangssignal proportional zu dem Widerstand (bzw. der Temperatur) des Heizelements ist. Alternativ kann der Einfluss der Zeitverzögerung des Heizelements verringert oder eliminiert werden, indem die Messung der Zeitverzögerung gestartet wird, wenn das Heizelementeingangssignal einen gegebenen Schwellwert überschreitet, und anschließend die Heizelementzeitverzögerung von der sich ergebenden Gesamtzeitverzögerung subtrahiert wird.
- [0021] Anstelle des Messens der Temperaturstörung mit einem auf Temperatur ansprechenden Widerstand, wird in Betracht gezogen, dass die Geschwindigkeit des Fluids mittels optischer Sensoren ermittelt werden kann. In einem der Veranschaulichung dienenden Ausführungsbeispiel wird eine Zeitverzögerung zwischen ei-

ner ersten Position und einer zweiten Position für eine vorübergehende Bedingung einer erhöhten Temperatur in dem Fluid mittels einem ersten und zweiten optischen Sensor ermittelt. Der erste optische Sensor erfasst auf optischem Wege die vorübergehende Bedingung einer erhöhten Temperatur an der ersten Position, und der zweite optische Sensor erfasst auf optischem Wege die vorübergehende Bedingung einer erhöhten Temperatur an der zweiten Position. Mit Kenntnis des Abstands zwischen dem ersten und zweiten optischen Sensor lässt sich die Fluidgeschwindigkeit bestimmen. Weiterhin wird in Erwägung gezogen, dass optische Sensoren dafür verwendet werden können, die vielfältigen Zeitverzögerungswerte zu erfassen, um die Wärmeleitfähigkeit, den thermischen Temperaturleitkoeffizienten und die spezifische Wärme eines betreffenden Fluids zu ermitteln.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0022] Weitere Aufgaben der vorliegenden Erfindung und viele der mit der vorliegenden Erfindung verbundenen Vorteile werden während des Lesens der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der Erfindung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen offensichtlich, in denen übereinstimmende Teile durchweg mit übereinstimmenden Bezugszeichen bezeichnet sind:

[0023] **Fig. 1, 2 und 3** zeigen verschiedene Ansichten eines Ausführungsbeispiels eines Mikrobrückenströmungssensors aus dem Stand der Technik;

[0024] **Fig. 4** zeigt eine abgeschnittene Teilansicht eines Mikrobrückensensorsystems;

[0025] **Fig. 5** zeigt eine erste der Veranschaulichung dienende Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Mikrobrückensensors mit zwei nachgeschalteten Sensorelementen;

[0026] **Fig. 6** zeigt eine zweite der Veranschaulichung dienende Schnittansicht eines Mikrobrückensensors mit einem vorgeschalteten und einem nachgeschalteten Sensorelement;

[0027] **Fig. 7** zeigt eine dritte der Veranschaulichung dienende Schnittansicht eines Mikrobrückensensors mit mehr als zwei nachgeschalteten Sensorelementen;

[0028] **Fig. 8** zeigt eine vierte der Veranschaulichung dienende Schnittansicht eines Mikrobrückensensors mit einer Reihe nachgeschalteter und vorgeschalteter Sensorelemente;

[0029] **Fig. 9** zeigt ein Zeitsteuerdiagramm, das die gesuchte Durchgangszeit Δz_d , den Zeitverzögerungswert Δz_h des Heizelements und den Zeitverzögerungswert Δz_s des Sensors darstellt;

[0030] **Fig. 10** zeigt ein Blockschaltbild eines der Veranschaulichung dienenden Schaltkreises, der in Verbindung mit dem Mikrobrückenheizelement und den Sensorelementen beispielsweise nach **Fig. 5** verwendet wird;

[0031] **Fig. 11A und Fig. 11B** zeigen in einem Blockschaltbild ein weiteres der Veranschaulichung dienendes Ausführungsbeispiel, das dazu dient, die vielfältigen Zeitverzögerungen zu erfassen, die verwendet werden, um die Geschwindigkeit, die Wärmeleitfähigkeit, den thermischen Temperaturleitkoeffizienten und die spezifische Wärme des interessierenden Fluids zu ermitteln;

[0032] **Fig. 12** zeigt in einem Zeitsteuerdiagramm ein der Veranschaulichung dienendes Eingangssignal und ein invertiertes Abbild davon, das durch die in **Fig. 11A und Fig. 11B** gezeigten Signalgeneratoren bereitgestellt wird;

[0033] **Fig. 13** zeigt in einem Zeitsteuerdiagramm ein der Veranschaulichung dienendes Hochfrequenzsignal, das durch die Eingangssignale nach **Fig. 12** moduliert ist;

[0034] **Fig. 14** zeigt ein Zeitsteuerdiagramm, das die Spannung des modulierten Eingangssignals nach **Fig. 13** darstellt;

[0035] **Fig. 15** zeigt ein Zeitsteuerdiagramm, in dem der Widerstand des Heizelements und/oder der Sensorelemente gegen die Zeit aufgetragen ist, wenn das Spannungssignal nach **Fig. 14** an diesen anliegt;

[0036] **Fig. 16** zeigt in einem Zeitsteuerdiagramm die Sensorzeitverzögerung Δz_{svac} , wenn diese unter Vakuumbedingungen gemessen wird;

[0037] **Fig. 17** zeigt in einem Zeitsteuerdiagramm die vielfältigen Zeitverzögerungen, die mittels des Ausführungsbeispiels nach **Fig. 11A und Fig. 11B** gemessen werden;

[0038] **Fig. 18** zeigt in einem Blockschaltbild ein Prozessormittel, das zur Berechnung der Geschwindigkeit, der Wärmeleitfähigkeit und der spezifischen Wärme des interessierenden Fluids die gemäß **Fig. 11A und Fig. 11B** bereitgestellten Zeitverzögerungswerte verwendet;

[0039] **Fig. 19** zeigt in einem Blockschaltbild ein der Veranschaulichung dienendes Ausführungsbeispiel, das optische Sensormittel verwendet, um die Durchgangszeit einer thermischen Störung von einer ersten Position zu einer zweiten Position zu messen; und

[0040] **Fig. 20** zeigt in einem Blockschaltbild ein weiteres der Veranschaulichung dienendes Ausführungsbeispiel, das optische Sensormittel verwendet, um die Durchgangszeit einer thermischen Störung von einer ersten Position zu einer zweiten Position zu messen.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

[0041] Die vorliegende Erfindung betrifft ein System, das die Fluidgeschwindigkeit weitgehend unabhängig von den physikalischen Eigenschaften des Fluids bestimmt, und zur Steigerung der Genauigkeit die Einflüsse der von Null verschiedenen Zeitverzögerung des Heizelements und/oder der von Null verschiedenen Sensorzeitverzögerung minimiert. Die bevorzugten Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung ziehen ein Anordnen eines mikroskopisch bemessenen Heizelements in einer Probe des interessierenden Fluids in Betracht. Das Mikrosensorsystem, oder, wie hierin bezeichnet, die "Mikrobrücke" ist hier aus mehreren Gründen bevorzugt, obwohl diese nicht als beschränkend zu bewerten ist. Das System spricht außerordentlich rasch an, ist sehr genau, wegen seines vorteilhaften engen Kontakts zu dem interessierenden Fluid sehr empfindlich, klein dimensioniert und lässt sich an vielfältige Konfigurationen anpassen.

[0042] Der in Erwägung gezogene Mikrobrücken-Halbleiterchipsensor kann beispielsweise der Ausführung eines oder mehrerer der Mikrobrückensysteme ähneln, die in den eigenen US-Patenten 4,478,076, 4,478,077, 4,501,144, 4,651,564, 4,683,159 und 4,994,035 veranschaulicht sind.

[0043] Ein derartiges System ist an dem Beispiel nach **Fig. 1–3** veranschaulicht, das der US-Patentschrift 4,994,035 von Aagard et al. entnommen ist. Eine Erörterung jenes Beispiels wird im Folgenden unterbreitet.

[0044] Das herkömmliche System nach **Fig. 1–3** schlägt ein Paar Dünnschichttemperatursensoren **22** und **24**, ein Dünnschichtheizelement **26** und ein Trägerelement **20** vor, das die Sensoren und das Heizelement trägt, ohne dass diese mit dem Basissubstrat in Berührung stehen. Die Sensoren **22** und **24** sind auf entgegen gesetzten Seiten des Heizelements **26** angeordnet. Das Trägerelement **20** ist ein Halbleiter, vorzugsweise Silizium, das wegen seiner Eignung für Präzisionsätztechniken und unkomplizierte Herstellung elektronischer Chips gewählt ist. Das Ausführungsbeispiel umfasst zwei identische Temperatursensorwiderstandsgitter **22** und **24**, die als die Dünnschichttemperatursensoren dienen, und ein zentrisch angeordnetes Heizwiderstandsgitter **26**, das als das Dünnschichtheizelement dient.

[0045] Die Sensoren **22** und **24** und das Heizelement **26** können aus jeder geeigneten, stabilen Folie/Film aus Metall oder einer Metalllegierung hergestellt sein. Das verwendete Metall kann eine auch als Permalloy bezeichnete Nickel-Eisen-Legierung in einer Zusammensetzung von 80 Prozent Nickel und 20 Prozent Eisen sein. Die Sensor- und Heizelementgitter sind in einem dünnen Film eines Dielektrikums eingeschlossen, der gewöhnlich Schichten **28** und **29**, und vorzugsweise Siliziumnitrid, Si_3N_4 aufweist, aus dem die Filmelemente ausgebildet sind.

[0046] Gemäß **Fig. 1** und **2** enthält der Sensor zwei Dünnschichtelemente **32** und **34**, wobei das Element **32** den Sensor **22** umfasst und das Element **34** den Sensor **24** umfasst, jedes Element eine Hälfte des Heizelements **26** bildet und bevorzugt mit einer Breite von $150\ \mu\text{m}$ und einer Länge von $400\ \mu\text{m}$ bemessen ist.

[0047] Das System umfasst ferner einen genau definierten Fluidraum **30**, der die Elemente **22**, **24**, **26** effektiv umgibt, und durch Ausbilden der Struktur auf einer Siliziumoberfläche **36** gefertigt ist. Die Dünnschichtelemente **22**, **24** und **26** haben Dicken von etwa $0,08$ bis $0,12\ \mu\text{m}$ mit Leiterbahnbreiten in der Größenordnung von $5\ \mu\text{m}$ und Abständen zwischen den Leitern in der Größenordnung von $5\ \mu\text{m}$. Die in dem Siliziumnitridfilm eingekapselten Elemente weisen vorzugsweise eine Gesamtdicke von etwa $0,8\ \mu\text{m}$ oder weniger auf. Der Fluidraum **30** kann hergestellt werden, indem anschließend ein unterhalb der Elemente **32** und **34** angeordneter, genau definierter Fluidraum mit einer Tiefe von etwa $100\ \mu\text{m}$ in den Siliziumgrundkörper **20** geätzt wird.

[0048] Die Elemente **32** und **34** sind an einem oder mehreren Rändern der Ausnehmung oder des Fluidraums **30** mit der obersten Fläche **36** des Halbleitergrundkörpers **20** strömungsmäßig verbunden. Wie in **Fig. 3** zu sehen, können die Elemente **32** und **34** als Brücke über der Ausnehmung **30** ausgebildet sein; alternativ könnten die Elemente **32** und **34** beispielsweise freischwebend über die Ausnehmung **30** ragen.

[0049] In dem gezeigten System gelangt Wärme von dem Heizelement zu dem Sensor sowohl über feste als auch flüssige Wärmekopplungen, die zwischen diesen bestehen. Zu beachten ist, dass Siliziumnitrid (Si_3N_4) nicht nur ein guter elektrischer Isolator, sondern auch ein effizienter Feststoffwärmeisolator ist. Da der die Elemente **32** und **34** verbindende Siliziumnitridfilm ein guter Isolator zwischen diesen ist, dominiert die Wärmeübertragung durch den Feststoff nicht die Ausbreitung der von dem Heizelement **26** stammenden Wärme. Dies verbessert zusätzlich das Verhältnis der von dem Heizwiderstandselement **26** mittels der Strömung des umgebenden Fluids zu den Sensorwiderstandselementen **22** und **24** geleiteten Wärmemenge gegenüber der durch den tragenden Nitridfilm übertragenen Wärmemenge. Darüber hinaus weist der tragende Siliziumnitridfilm eine ausreichend geringe Wärmeleitfähigkeit auf, so dass es möglich ist, die Sensorwiderstandsgitter **22** und **24** unmittelbar benachbart oder angrenzend zu dem Heizwiderstandsgitter **26** anzuordnen. Auf diese Weise sind die Sensorwiderstandsgitter **22** und **24** in dem Fluidraum in der Nähe des Heizwiderstandselements **26** tatsächlich starr aufgehängt und dienen als Thermofühler, um die Temperatur der Luft in der Nähe und in der Ebene des Heizwiderstandsgitters **26** zu messen.

[0050] **Fig. 4** zeigt in einer abgeschnittenen Teilansicht ein Mikrobrückensensorsystem, das in Reihe in einem Strömungsrohr angeordnet ist. Ein Hauptströmungskanal **200** mit einer mittigen Bohrung **202** ist mit dem Rohr, das ein interessierendes Fluid führt, verbunden. Eine erste Kammer **204** ist über ein einzelnes Lumen **206** mit

der mittigen Bohrung **202** des Flansches **200** strömungsmäßig verbunden. Ein Stopfen **208** mit einem daran befestigten ersten Mikrobrückensensor **210** ist in die erste Kammer **204** eingefügt und, wie gezeigt, an dem Hauptströmungskanal **200** befestigt. In dieser Konfiguration ist der erste Mikrobrückensensor dem interessierenden Fluid mit einer Strömungsgeschwindigkeit von nahezu Null ausgesetzt. Der erste Mikrobrückensensor **210** wird gewöhnlich verwendet, um Fluideigenschaften wie die Wärmeleitfähigkeit, den thermischen Temperaturleitkoeffizienten, die spezifische Wärme, die Temperatur und den Druck zu messen.

[0051] Ein zweiter Sensor **222** ist in einem kleinen Umgehungskanal **214** positioniert. In dieser Konfiguration ist der zweite Mikrobrückensensor der Strömung des interessierenden Fluids ausgesetzt. Der zweite Mikrobrückensensor **222** wird gewöhnlich verwendet, um die Fluidgeschwindigkeit zu messen.

[0052] **Fig. 5** zeigt in einer ersten der Veranschaulichung dienenden Schnittansicht einen Mikrobrückensensor mit zwei nachgeschalteten Sensorelementen als Vorrichtung und Verfahren, die dazu dienen, die Fluidgeschwindigkeit weitgehend unabhängig von den physikalischen Eigenschaften des Fluids zu bestimmen, und in der Lage sind, zur Steigerung der Genauigkeit die Einflüsse der von Null verschiedenen Zeitverzögerung des Heizelements und/oder der von Null verschiedenen Sensorzeitverzögerung zu minimieren.

[0053] Im Allgemeinen enthält die Vorrichtung ein Heizelement **224** und mindestens zwei beabstandete Sensorelemente **226** und **228**. Die Sensorelemente **226** und **228** sind vorzugsweise in unterschiedlichen Abständen von dem Heizelement **224** beabstandet. In dem der Veranschaulichung dienenden Schema ist der Sensor **226** in einem ersten Abstand " d_1 " von dem Heizelement **224** beabstandet, und der Sensor **228** in einem zweiten Abstand " d_2 " von dem Heizelement **224** entfernt angeordnet. Sowohl der Sensor **226** als auch der Sensor **228** sind als dem Heizelement **224** nachgeschaltet gezeigt.

[0054] Das Heizelement **224**, das Sensorelement **226** und das Sensorelement **228** sind vorzugsweise innerhalb eines interessierenden Fluidmediums (Fluid oder Gas) angeordnet und stehen mit diesem in engem Kontakt. Ein zeitlich veränderliches Eingangssignal wird an das Heizelement **224** ausgegeben, wodurch sich das umgebende Fluid erwärmt. Von Interesse ist die Durchgangszeit, welche die Temperaturstörung in dem Fluid benötigt, um von dem Heizelement **224** zu dem Sensorelement **226** bzw. **228** zu gelangen. Anhand dieser Durchgangszeit lässt sich die Fluidgeschwindigkeit verhältnismäßig unabhängig von den Fluideigenschaften berechnen.

[0055] Das Heizelement **224** verfügt, wie gezeigt, über einen Trägerelement **228**, welches das Heizelement **230** gegenüber dem Basissubstrat **232** berührungsfrei trägt. Das Heizelement **224** und das Trägerelement **230** bilden gemeinsam ein Heizfilmelement. In ähnlicher Weise ist das Sensorelement **226** mit einem Trägerelement **234** gezeigt, welches das Sensorelement **226** gegenüber dem Basissubstrat **232** berührungsfrei trägt. Das Sensorelement **226** und das Trägerelement **234** bilden zusammen ein erstes Sensorfilmelement. Schließlich ist das Sensorelement **228** mit einem Trägerelement **236** gezeigt, welches das Sensorelement **228** gegenüber dem Basissubstrat **232** berührungsfrei trägt. Das Sensorelement **228** und das Trägerelement **236** bilden zusammen ein zweites Sensorfilmelement.

[0056] Das Heizelement **224** und die Sensorelemente **226** und **228** können aus einem beliebigen geeigneten, stabilen unlegierten oder legierten Metall, wie z. B. Platin, Nickel, Eisennickel etc., hergestellt sein. Das Heizelement **224** und die Sensorelemente **226** und **228** können ein beliebiges Widerstandselement, beispielsweise ein Draht, jedoch vorzugsweise ein Film sein. Darüber hinaus können das Heizelement **224** und die Sensorelemente **226** und **228** von beliebiger Gestalt, einschließlich eines wie oben beschriebenen Gittermusters oder einfach eine gerade Leiterbahn sein. Wie oben erwähnt, sind das Heizelement **224** und die Sensorelemente **226** und **228** vorzugsweise in einen dünnen Film aus einem Dielektrikum, beispielsweise Siliziumnitrid Si_3N_4 , das zum Ausbilden der Trägerelemente **230**, **234** und **236** dient, eingebettet.

[0057] Ein genau definierter (z. B. für Gas oder Flüssigkeit geeigneter) Fluidraum **240** ist vorzugsweise vorgesehen, der das Heizelement **224** und die Sensorelemente **226** und **228** effektiv umgibt und durch Ausbilden der Struktur auf einer Siliziumoberfläche **242** erzeugt wird. Das Heizelement **224** und die Sensorelemente **226** und **228** sind vorzugsweise mit Dicken von etwa 0,08 bis 0,12 μm bemessen, mit Leiterbahnbreiten in der Größenordnung von 5 μm und, falls ein Gitter verwendet wird, Abständen zwischen den Leitern in der Größenordnung von 5 μm . Der Fluidraum **240** kann hergestellt werden, indem aufeinander folgend ein unterhalb des Heizelements **224** und der Sensorelemente **226** und **228** angeordneter, genau definierter Fluidraum mit einer Tiefe von etwa 100 μm in das Siliziumsubstrat **232** geätzt wird.

[0058] Das Trägerelement **230** und das Heizelement **224** sind vorzugsweise an einem oder mehreren Rändern der Ausnehmung oder des Fluidraums **240** mit der obersten Fläche **242** des Halbleitersubstrats **232** verbunden. Das Trägerelement **230** und das Heizelement **224** können, wie gezeigt, über der Ausnehmung **240** eine Brücke bilden, oder alternativ beispielsweise freischwebend über die Ausnehmung **240** ragen. Die Sensorelemente **234**, **226** und **228** sind vorzugsweise in ähnlicher Weise konstruiert. Es ist selbstverständlich, dass eine beliebige Zahl von Heizelementen und Sensorelementen in einer ähnlichen Weise vorgesehen sein können. Zur Veranschaulichung sind allerdings lediglich ein Heizelement **224** und zwei Sensorelemente **226** und **228** in **Fig. 5** gezeigt.

[0059] Vorzugsweise ist für das Heizelement **224** ein Heizelementeingangssignal vorgesehen, das eine ther-

mische Störung in das Fluid induziert. Jedes der Sensorelemente **226** und **228** erfasst die Ankunft der thermischen Störung an seiner entsprechenden Position. Von Interesse ist die Durchgangszeit, welche die Temperaturstörung benötigt, um von dem Heizelement **224** zu jedem der Sensorelemente **226** und **228** zu gelangen. Da die Sensorelemente **226** und **228** in unterschiedlichen Entfernungen von dem Heizelement angeordnet sind, lässt sich die Fluidgeschwindigkeit, wie weiter unten eingehender beschrieben, verhältnismäßig unabhängig von den Fluideigenschaften berechnen.

[0060] Bevor die mathematische Beziehung der Fluidgeschwindigkeit als Funktion der von dem Heizelement und den zwei Sensorelementen benötigten Durchgangszeiten, nämlich Δz_1 und Δz_2 , angegeben wird, erfolgen einige Erläuterungen zu den Grundlagen. Das Voranschreiten oder die Ausbreitung einer örtlichen, nicht homogenen Temperaturverteilung lässt sich aus der nachfolgenden dreidimensionalen Gleichung der Temperatur- oder Wärmeleitfähigkeit ableiten, der ein Term hinzugefügt wurde, der die Fluidgeschwindigkeit in der x-Richtung repräsentiert:

$$\partial T / \partial z = D_t \partial^2 T / \partial x^2 - V_x \partial T / \partial x \quad (1)$$

[0061] Die eindimensionale vorläufige Lösung der Gleichung (1) ist.

$$T \sim z^{-0.5} \exp(-(d_i - vz)^2 / (4D_t z)) \quad (2)$$

wobei "x" durch $(\pm d_i \pm vz)$ ersetzt wurde, um den Term der Fluidgeschwindigkeit einzuführen, und d_i die Entfernung von dem Heizelement zu dem "i-ten" Sensor repräsentiert. Um die Zeitverzögerung zu ermitteln, die zwischen sehr kurzen Zwangsfunktionen zum Zeitpunkt $z = 0$ und der Ankunft dieser Pulse in Form von Maxima von $T(z)$ an der Sensorelementposition d_i auftritt, wird die Gleichung (2) differenziert und mit Null gleichgesetzt:

$$dT/dz = 0 = -1/z^2 + (1/z)(2v(d_i - vz)/4D_t z + (d_i - vz)^2/4D_t z^2) \quad (3)$$

durch Multiplizieren mit z^2 und Umstellen ergibt sich die Beziehung:

$$-4D_t z - v^2 z^2 + d_i^2 = 0 \quad (4)$$

[0062] Wie der Gleichung (4) zu entnehmen, hat die Wahl von $d_1 = d_2$ keine Veränderung der Zeitverzögerung zur Folge, da in d kein linearer Term vorhanden ist.

[0063] Um eine Beziehung zu ermitteln, die unabhängig von den hier durch D_t in der Gleichung (4) repräsentierten Fluideigenschaften ist, werden für d_i zwei ungleiche Werte in Betracht gezogen, nämlich d_1 und d_2 ($d_1 \neq d_2$). Dies ergibt:

$$v^2 z_1 = d_1^2 / z_1 - 4D_t \quad (5)$$

$$v^2 z_2 = d_2^2 / z_2 - 4D_t \quad (6)$$

$$v^2 = (d_1^2 / z_1 - d_2^2 / z_2) / (z_1 - z_2) \quad (7)$$

[0064] Es stellte sich heraus, dass die Gleichung (7) die Fluidgeschwindigkeit über einen weiten Bereich von Fluidgeschwindigkeiten von beispielsweise 16.384 cm/s bis herunter auf 32 cm/s verhältnismäßig unabhängig von den physikalischen Eigenschaften des Fluids exakt wiedergibt. Es ist selbstverständlich, dass die Gleichung (7) kein physikalisches Modell für sehr niedrige Strömungsgeschwindigkeiten darstellen kann. Bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten können ausgewählte physikalische Eigenschaften, beispielsweise der thermische Temperaturleitkoeffizient, zu einem Faktor werden. Es wird jedoch in Betracht gezogen, dass sich diese Effekte, wie weiter unten näher erläutert, durch ein geeignetes Positionieren der Sensorelemente auch für niedrige Strömungsgeschwindigkeiten auf ein Minimum reduzieren lassen.

[0065] Anstelle beide Sensoren, wie in **Fig. 5** gezeigt, dem Heizelement gegenüber nachgeschaltet anzuordnen, wird, wie in **Fig. 6** gezeigt, in Betracht gezogen, dass das eine Sensorelement **250** dem Heizelement **254** vorgeschaltet angeordnet sein kann und ein weiterer Sensor **252** diesem nachgeschaltet angeordnet sein kann. Um die Gleichung (7) zu verwenden, ist der Sensor **250** in einer anderen Entfernung von dem Heizelement **254** beabstandet als der Sensor **252**.

[0066] Um die störenden Effekte, die aufgrund des thermischen Temperaturleitkoeffizienten und sonstiger Eigenschaften des Fluids bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten auftreten können, zu reduzieren, wird in Betracht gezogen, dass es möglich ist, für das Messen niedriger Strömungsgeschwindigkeiten einen ersten Satz von Sensorelementen einzusetzen, und für das Messen höherer Strömungsgeschwindigkeiten einen anderen Satz zu verwenden. So können beispielsweise in **Fig. 7** jene Sensoren, die gegenüber dem Heizelement

am nächsten angeordnet sind, beispielsweise Sensorelemente **280** und **282**, für ein Erfassen höherer Strömungsgeschwindigkeiten eingesetzt werden, da die Komponente der Wärmeleitfähigkeit bei den höheren Strömungsgeschwindigkeiten vernachlässigt werden kann. In ähnlicher Weise können Sensorelemente, die weiter entfernt von dem Heizelement angeordnet sind, beispielsweise der Sensor **284**, dafür eingesetzt werden, die geringeren Strömungsgeschwindigkeiten zu erfassen. Durch Verwenden dieses Ansatzes lässt sich der Einfluss der Wärmeleitfähigkeitskomponente auf die Messung der Strömungsgeschwindigkeit auf ein Minimum reduzieren.

[0067] Darüber hinaus wird in Betracht gezogen, dass das Heizelementeingangssignal mit einer größeren Amplitude ausgegeben werden kann, wenn hohe Strömungsgeschwindigkeiten gemessen werden, und im anderen Fall eine niedrigere Amplitude des Heizelementeingangssignals vorgesehen sein kann, wenn niedrige Strömungsgeschwindigkeiten gemessen werden. Eine höhere Amplitude einer Temperaturstörung lässt sich zwar leichter erfassen, jedoch kann dadurch die Geschwindigkeit der Komponente der Wärmediffusion in dem Fluid ansteigen. Dementsprechend kann eine niedrigere Amplitude des Heizelementeingangssignals die Geschwindigkeit der Wärmediffusionskomponente reduzieren und präzisere Ergebnisse im Falle von geringeren Strömungsgeschwindigkeiten zeitigen.

[0068] **Fig. 8** zeigt in einer vierten der Veranschaulichung dienenden Schnittansicht einen Mikrobrückensensor mit einer Anzahl von nachgeschalteten und vorgeschalteten Sensorelementen. In diesem Ausführungsbeispiel sind eine Anzahl von Sensorelementen sowohl in einer vorgeschalteten als auch einer nachgeschalteten Richtung in gleichmäßigen Abständen von dem Heizelement entfernt angeordnet. Im Betrieb werden jedoch lediglich die Ausgangssignale von ausgewählten Sensorelementen ausgewählt, die in unterschiedlichen Entfernungen von dem Heizelement angeordnet sind, und die Fluidgeschwindigkeit lässt sich daher mittels der Gleichung (7) ermitteln. Beispielsweise kann das am nächsten angeordnete nachgeschaltete Sensorelement **300** in Verbindung mit dem nach diesem am nächsten angeordneten vorgeschalteten Sensorelement **302** eingesetzt werden. Auch andere Kombinationen werden in Betracht gezogen.

[0069] Ein Ansatz für ein Messen der Durchgangszeit, welche die Temperaturstörung benötigt, um von dem Heizelement zu einem Sensorelement zu gelangen, ist darauf begründet, einen Zeitgeber zu starten, wenn das Heizelementeingangssignal einen gegebenen Schwellwert überschreitet, und den Zeitgeber anzuhalten, wenn die Temperaturantwort des Sensorelements einen gegebenen Schwellwert überschreitet. Wie oben beschrieben, lässt sich die Fluidgeschwindigkeit mittels der Durchgangszeiten für zwei oder mehr Sensoren, die gegenüber dem Heizelement in unterschiedlichen Entfernungen angeordnet sind, verhältnismäßig unabhängig von den Fluideigenschaften ermitteln.

[0070] Während ein solcher Ansatz für viele Anwendungen ausreichend sein mag, sollten einige Faktoren für Anwendungen höherer Präzision berücksichtigt werden. Ein erster Faktor ist die von Null verschiedene Heizelementzeitverzögerung Δz_h zwischen dem Heizelementeingangssignal und dem Ansprechen des Heizelements (und des Fluids) mit erhöhter Temperatur. Ein der Veranschaulichung dienendes Heizelementeingangssignal und eine erhöhte Temperaturantwort des Heizelements sind in **Fig. 9** gezeigt und mit **320** bzw. **322** bezeichnet. Die Heizelementzeitverzögerung Δz_h wird gewöhnlich durch die Wärmeleitfähigkeit k des interessierenden Fluids, zumindest im Falle von Mikrobrückenstrukturen, wie sie in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung in Erwägung gezogen sind, dominiert. Wie in der US-Patentanmeldung mit der laufenden Nummer 09/002,156 und dem Titel "METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING SELECTED PROPERTIES OF A FLUID OF INTEREST USING A SINGLE HEATER ELEMENT" erörtert, lässt sich die Wärmeleitfähigkeit k des interessierenden Fluids aus der Heizelementzeitverzögerung ableiten, wenn bei einer Fluidstromgeschwindigkeit von nahezu Null gemessen wird.

[0071] Ein zweiter Faktor ist die von Null verschiedene Sensorzeitverzögerung Δz_s zwischen der Ankunft der Temperaturstörung an dem Sensorelement und der Widerstandsänderung in dem Sensorelement. D. h. die Temperatur des Sensorelements reagiert hauptsächlich aufgrund der von Null verschiedenen thermischen Masse des Sensors auf eine Temperaturänderung in dem Fluid gewöhnlich nicht unverzüglich. Dies ist ausführlich in **Fig. 9** gezeigt, in der die Ankunft der Temperaturstörung an dem Sensor mit **324** bezeichnet ist, und die Antwort auf eine Widerstandsänderung des Sensorelements mit **326** bezeichnet ist.

[0072] Ein Ansatz zur Verminderung des nachteiligen Einflusses von Δz_h und Δz_s begründet sich darauf, die Zeitverzögerungen des Heizelements und der Sensoren während einer Kalibrierungsprozedur zu messen. Diese lässt sich verwirklichen, indem unter Strömungsbedingungen ein Heizelementeingangssignal an das Heizelement und an jedes der Sensorelemente ein Sensoreingangssignal ausgegeben wird. Die Heizelementzeitverzögerung Δz_h und jede der Sensorzeitverzögerungen Δz_s lassen sich anschließend ermitteln, indem die vorübergehenden Temperaturantworten des Heizelements bzw. der Sensorelemente erfasst werden. Um einen genaueren Wert der Durchgangszeit Δz_t für die Temperaturstörung in dem Fluid zu erlangen, ist es möglich, anschließend die Heizelementzeitverzögerung Δz_h und die Sensorzeitverzögerung Δz_s von der Zeitverzögerung zu subtrahieren, die zwischen dem Heizelementeingangssignal und der Temperaturantwort des entsprechenden Sensorelements gemessen wurde.

[0073] Ein weiterer Ansatz begründet sich darauf, die Sensorelemente während des Betriebs durch Sensor-

eingangssignale zu erwärmen. Die Sensoreingangssignale werden vorzugsweise geeignet gesteuert/geregelt, um eine Frequenz, Phase und Amplitude bereitzustellen, die eine resultierende Temperaturantwort in dem entsprechenden Sensorelement hervorrufen, welche der Temperaturstörung des Fluids nachfolgt. Wenn diese Bedingung erfüllt ist, wird im Wesentlichen keine Wärme von den Fluid zu den Sensorelementen übertragen. [0074] **Fig. 10** zeigt in einem Blockschaltbild einen der Veranschaulichung dienenden Schaltkreis, der beispielsweise in Verbindung mit dem Mikrobrückenheizelement und den Sensorelementen gemäß **Fig. 5** zu verwenden ist. Ein periodisches, zeitlich veränderliches Heizelementeingangssignal **350** wird an ein Heizelement **224** ausgegeben. Das Heizelement **224** ist in einem interessierenden Fluidmedium (Gas oder Flüssigkeit) angeordnet und steht in engem Kontakt mit diesem. Um dem Heizelement **224** Energie zuzuführen und gleichzeitig eine Widerstandsantwort desselben zu erfassen, kann das Heizelement **224**, wie gezeigt, in einen Zweig einer Wheatstone-Brücke **352** eingefügt sein. Das zeitlich veränderliche Heizelementeingangssignal **350** wird an einen Spannungseingang **354** der Wheatstone-Brücke **352** ausgegeben, der entweder mittelbar oder unmittelbar an das Heizelement **224** gekoppelt ist. In dieser Konfiguration gibt die Wheatstone-Brücke **352** ein differentielles Ausgangssignal aus, das eine Amplitude aufweist, die proportional zu dem Widerstand des Heizelements **224** ist. Vorzugsweise wird das differentielle Ausgangssignal an einen Differentialverstärkerschaltkreis **356** ausgegeben, um ein verstärktes Ausgangssignal **358** zu erzeugen.

[0075] Das Heizelementeingangssignal **350** führt dem Heizelement **224** Energie zu und induziert eine vorübergehende Bedingung einer erhöhten Temperatur in dem Heizelement **224** und in dem interessierenden Fluid. Da sich das Heizelement **224** in engem Kontakt mit dem Fluid befindet, wirkt sich die Wärmeleitfähigkeit "k" des Fluids unmittelbar auf eine zeitlich veränderliche Temperaturantwort des Heizelements **224** aus. Darüber hinaus hängt die Wärmeleitfähigkeit des Fluids gewöhnlich von dem Druck und/oder der Temperatur des Fluids ab. Dementsprechend stellte es sich heraus, dass sich die Wärmeleitfähigkeit, der Druck und/oder die Temperatur des interessierenden Fluids durch eine Untersuchung einer veränderlichen Phasenverzögerung oder Zeitverzögerung zwischen dem an das Heizelement **224** ausgegebene Eingangssignal **350** und einer nachfolgenden vorübergehenden Temperaturantwort des Heizelements **224** ermitteln lässt, wenn bei einer Fluidstromgeschwindigkeit von nahezu Null gemessen wird.

[0076] In ähnlicher Weise kann ein periodisches, zeitlich veränderliches Sensoreingangssignal **374** an ein erstes Sensorelement **226** ausgegeben werden. Das erste Sensorelement **226** ist in einem interessierenden Fluidmedium (Gas oder Flüssigkeit) angeordnet und steht in engem Kontakt mit diesem. Um dem ersten Sensorelement **226** Energie zuzuführen und gleichzeitig eine Widerstandsantwort desselben zu erfassen, kann das erste Sensorelement **226**, wie oben erläutert, in einen Zweig einer Wheatstone-Brücke **378** eingefügt sein. Das Sensoreingangssignal **374** wird an einen Spannungseingang **380** der Wheatstone-Brücke **378** ausgegeben, der entweder mittelbar oder unmittelbar, wie gezeigt, an das erste Sensorelement **226** gekoppelt ist. In dieser Konfiguration gibt die Wheatstone-Brücke **378** ein differentielles Ausgangssignal aus, das eine Amplitude aufweist, die proportional zu dem Widerstand des ersten Sensorelements **226** ist. Vorzugsweise wird das differentielle Ausgangssignal an einen Differentialverstärkerschaltkreis **382** ausgegeben, um ein verstärktes Ausgangssignal **384** zu erzeugen.

[0077] Schließlich wird in Betracht gezogen, dass ein periodisches, zeitlich veränderliches Sensoreingangssignal **400** an ein zweites Sensorelement **228** ausgegeben werden kann. Das zweite Sensorelement **228** ist in einer anderen Entfernung zu dem Heizelement **224** angeordnet als das erste Sensorelement **226**. Um dem zweiten Sensorelement **228** Energie zuzuführen und gleichzeitig eine Widerstandsantwort desselben zu erfassen, kann das zweite Sensorelement **228**, wie oben erläutert, in einen Zweig einer Wheatstone-Brücke **402** eingefügt sein. Das Sensoreingangssignal **400** wird an einen Spannungseingang **401** der Wheatstone-Brücke **402** ausgegeben, der entweder mittelbar oder unmittelbar, wie gezeigt, an das zweite Sensorelement **228** gekoppelt ist. In dieser Konfiguration gibt die Wheatstone-Brücke **402** ein differentielles Ausgangssignal aus, das eine Amplitude aufweist, die proportional zu dem Widerstand des zweiten Sensorelements **228** ist. Vorzugsweise wird das differentielle Ausgangssignal an einen Differentialverstärkerschaltkreis **404** ausgegeben, um ein verstärktes Ausgangssignal **406** zu erzeugen.

[0078] Mittels des in **Fig. 10** gezeigten Schaltkreises lassen sich die Heizelementzeitverzögerung Δz_h und die Sensorzeitverzögerungen $\Delta z_{s1,2}$ durch ein Erfassen der vorübergehenden Temperaturantworten des Heizelements bzw. der Sensorelemente ermitteln. Um einen genaueren Wert der Durchgangszeit Δz_i für die Temperaturstörung in dem Fluid im Betrieb zu erlangen, ist es möglich, die Heizelementzeitverzögerung Δz_h und die entsprechenden Sensorzeitverzögerungen $\Delta z_{s1,2}$ von den entsprechenden Zeitverzögerungen zu subtrahieren, die zwischen dem Heizelementeingangssignal und der Temperaturantwort der entsprechenden Sensorelemente gemessen wurden.

[0079] Darüber hinaus kann der in **Fig. 10** gezeigte Schaltkreis dafür eingesetzt werden, um mittels der Sensoreingangssignale **374** und **400** den Sensorelementen Wärme zuzuführen. Die Sensoreingangssignale **374** und **400** werden vorzugsweise geeignet gesteuert/geregelt, um eine Frequenz, Phase und Amplitude zu erzeugen, die eine resultierende Temperaturantwort in den Sensorelementen **226** und **228** hervorrufen, welche der Temperaturstörung in dem Fluid nachfolgt. Wenn diese Bedingung erfüllt ist, wird im Wesentlichen keine

Wärme von dem Fluid zu den Sensorelementen **226** und **228** übertragen.

[0080] **Fig. 11** zeigt in einem Blockschaltbild ein weiteres der Veranschaulichung dienendes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, das dazu dient, vielfältige Zeitverzögerungswerte zu erlangen, um die Geschwindigkeit, die Wärmeleitfähigkeit, den thermischen Temperaturleitkoeffizienten und die spezifische Wärme eines interessierenden Fluids zu ermitteln. In diesem Ausführungsbeispiel wird während des Betriebs mittels eines entsprechenden Sensoreingangssignals Wärme in die Sensorelemente eingebracht. Die Sensoreingangssignale werden geeignet gesteuert/geregelt, um eine Frequenz, Phase und Amplitude zu erzeugen, die eine resultierende Temperaturantwort in den Sensorelementen hervorrufen, welche der Temperaturstörung des Fluids nachfolgt.

[0081] In diesem der Veranschaulichung dienenden Ausführungsbeispiel weisen sowohl das Heizelementeingangssignal als auch die Sensoreingangssignale eine Hochfrequenzkomponente und eine Niederfrequenzkomponente auf. Die Hochfrequenzkomponente ist vorzugsweise mit der Niederfrequenzkomponente moduliert. Dieser Aufbau erlaubt eine genaue Dosierung der dem Heizelement und den Sensorelementen zuzuführenden Energie, während frequenzverdoppelnde Effekte eliminiert werden, die ohne die Addition einer Gleichstromkomponente zu dem Eingangssignal möglicherweise auftreten. Die Hochfrequenzkomponente liegt vorzugsweise in dem Bereich von 0,1 bis 3 MHz, während die Niederfrequenzkomponente vorzugsweise in dem Bereich von 30 bis 200 Hz liegt.

[0082] Was das Heizelement betrifft, erzeugt ein erster Generator **500** die Hochfrequenzkomponente des Eingangssignals und gibt diese über ein Interface **504** an einen Modulator **502** aus. Der Generator **500** erzeugt außerdem die Niederfrequenzkomponente sowie ein invertiertes Abbild davon, und gibt diese Signale über Schnittstellen **506** bzw. **508** an den Modulator **502** aus. Eine der Veranschaulichung dienende Niederfrequenzkomponente **540** und deren invertiertes Abbild **542** sind in **Fig. 12** zu sehen. Der Modulator **502** moduliert die Hochfrequenzkomponente mittels der Signale der Niederfrequenzkomponente, um ein moduliertes Heizelementeingangssignal zu erzeugen. Ein der Veranschaulichung dienendes moduliertes Heizelementeingangssignal ist in **Fig. 13** gezeigt. Die durch das modulierte Heizelementeingangssignal zugeführte Energie ist in **Fig. 14** gezeigt.

[0083] Das modulierte Heizelementeingangssignal wird an einen Heizelementblock **510** ausgegeben. Um dem Heizelement Energie zuzuführen und gleichzeitig eine Widerstandsantwort desselben zu erfassen, ist das Heizelement, beispielsweise wie in **Fig. 10** gezeigt, vorzugsweise in einen Zweig einer Wheatstone-Brücke eingefügt. Dementsprechend enthält der Heizelementblock **510** in dem der Veranschaulichung dienenden Ausführungsbeispiel vorzugsweise einen Schaltkreis, der jenem ähnelt, der in **Fig. 10** gezeigt ist.

[0084] Das modulierte Heizelementeingangssignal wird an einen Spannungseingang der Wheatstone-Brücke, wie beispielsweise den Spannungseingang **354** nach **Fig. 10**, ausgegeben, der entweder mittelbar oder unmittelbar an das Heizelement gekoppelt ist. In dieser Konfiguration gibt die Wheatstone-Brücke ein differentielles Ausgangssignal mit einer Amplitude aus, die proportional zu dem Widerstand des Heizelements ist. Das differentielle Ausgangssignal der Wheatstone-Brücke kann an einen Differentialverstärker, wie er in **Fig. 10** gezeigt ist, ausgegeben werden oder kann unmittelbar als das Ausgangssignal des Heizelementblocks **510** vorgesehen werden. Eine der Veranschaulichung dienende vorübergehende Widerstandsantwort des Heizelements ist in **Fig. 15** gezeigt.

[0085] Um eine genaue Messung des Widerstands des Heizelements zu ermöglichen, kann die Hochfrequenzkomponente aus dem Heizelementausgangssignal der Wheatstone-Brücke mittels einer beliebigen Anzahl von Techniken eliminiert werden. Eine dieser Techniken sieht am Ausgang des Heizelementblocks **510** einen Tiefpassfilter **512** vor, der nur der Niederfrequenzkomponente des Heizelementausgangssignals den Durchgang erlaubt. Das sich ergebende gefilterte Signal kann anschließend an einen Stoppeingang eines ersten Hochfrequenzzeitgebers **514** ausgegeben werden. Vorzugsweise ist das Heizelementausgangssignal des Heizelementblocks **510**, wie gezeigt, über einen Kondensator **516** an den Filter **512** wechselstromgekoppelt. Der Filter **512** kann die WS-Kopplungsfunktion bereitstellen, oder ein gesondertes Element, wie beispielsweise der Kondensator **516**, kann für diese Funktion vorgesehen sein.

[0086] Der Starteingang des ersten Hochfrequenzzeitgebers **514** kann an die Niederfrequenzkomponente des Heizelementeingangssignals gekoppelt sein. Eher bevorzugt wird die Niederfrequenzkomponente des Heizelementeingangssignals allerdings, wie gezeigt, über einen Materialwiderstand **520** und einen Kondensator **522** an den Starteingang des Hochfrequenzzeitgebers **514** angeschlossen. In jedem Fall spricht der Starteingang des Hochfrequenzzeitgebers **514** auf die Niederfrequenzkomponente des Heizelementeingangssignals an. Der Materialwiderstand **520** weist vorzugsweise einen niedrigen Temperaturkoeffizienten auf, um eine durch diesen verursachte Phasenverzögerung zu minimieren. Der Kondensator **522** wechselstromkoppelt die Niederfrequenzkomponente des Eingangssignals an den Starteingang des Hochfrequenzzeitgebers **514**.

[0087] Da sowohl das Heizelementeingangssignal als auch das Heizelementausgangssignal an den Start- bzw. Stoppeingang des Zeitgebers **514** vorzugsweise wechselstromgekoppelt sind, lassen sich die Nulldurchgangspunkte des Eingangssignals und des Ausgangssignals des Heizelements dafür verwenden, um den Hochfrequenzzeitgeber **514** zu triggern. Dies ermöglicht, dass die Messung der Zeitverzögerung durch den

Hochfrequenzzeitgeber **514** verhältnismäßig unabhängig von den Amplituden der Eingangssignale und Ausgangssignale ist, was die Genauigkeit der Messung steigert.

[0088] Wie aus der obigen Beschreibung ersichtlich, startet der Hochfrequenzzeitgeber **514**, wenn die wechselstromgekoppelte Niederfrequenzkomponente des Heizelementeingangssignals einen beliebigen gegebenen Schwellwert, vorzugsweise Null, überschreitet. In ähnlicher Weise hält der Hochfrequenzzeitgeber **514** an, wenn das wechselstromgekoppelte Heizelementausgangssignal, das den Widerstand des Heizelements repräsentiert, einen beliebigen gegebenen Schwellwert, vorzugsweise Null, überschreitet. Das Ergebnis ist eine Heizelementzeitverzögerung ΔZ_h . Wenn das Heizelement einem Fluid mit einer Strömungsgeschwindigkeit von nahezu Null ausgesetzt ist, ist die Heizelementzeitverzögerung ΔZ_h gleich $\Delta z_{k,p}$. Wie nachstehend beschrieben, lässt sich die Wärmeleitfähigkeit des Fluid aus $\Delta z_{k,p}$ ermitteln.

[0089] In manchen Anwendungen kann es erwünscht sein, die Amplitude der vorübergehenden Bedingung einer erhöhten Temperatur des Heizelements zu steuern. Diese wird vorzugsweise durch Bereitstellen eines Amplitudensteuerungssignals erreicht, das für die Amplitude der Widerstandsänderung des Heizelements kennzeichnend ist. Das Amplitudensteuerungssignal kann durch einen Gleichrichter **526** erzeugt werden, der das gefilterte Ausgangssignal, wie gezeigt, gleichrichtet. Der Generator **500** kann einen Amplitudensteuerblock **530** enthalten, der das Amplitudensteuerungssignal über ein Interface **528** entgegennimmt und die Amplitude der Niederfrequenzkomponente und des invertierten Abbilds davon geeignet regelt, so dass die Amplitude der Widerstandsänderung des Heizelements einen verhältnismäßig konstanten Pegel einhält.

[0090] Was das erste Sensorelement betrifft, erzeugt ein zweiter Generator **550** die Hochfrequenzkomponente des Sensoreingangssignals und gibt diese über ein Interface **554** an einen Modulator **552** aus. Der Generator **550** erzeugt außerdem die Niederfrequenzkomponente sowie ein invertiertes Abbild davon, und gibt diese Signale über Schnittstellen **556** bzw. **558** an den Modulator **552** aus. Wie oben beschrieben, moduliert der Modulator **552** die Hochfrequenzkomponente mittels der Signale der Niederfrequenzkomponente, um ein modulierte Sensoreingangssignal zu erzeugen, wie in **Fig. 13** gezeigt. Die durch das modulierte Sensoreingangssignal zugeführte Energie ist in **Fig. 14** dargestellt.

[0091] Das modulierte Sensoreingangssignal wird an einen Sensorblock **560** ausgegeben. Um dem Sensorelement Energie zuzuführen und gleichzeitig eine Widerstandsantwort desselben zu erfassen, ist das zweite Sensorelement, beispielsweise wie in **Fig. 10** gezeigt, vorzugsweise in einen Zweig einer Wheatstone-Brücke eingefügt. Dementsprechend enthält der Sensorblock **560** in dem der Veranschaulichung dienenden Ausführungsbeispiel vorzugsweise einen Schaltkreis, der jenem ähnelt, der in **Fig. 10** gezeigt ist.

[0092] Das modulierte Sensoreingangssignal wird an einen Spannungseingang der Wheatstone-Brücke, wie beispielsweise den Spannungseingang **380** nach **Fig. 10**, ausgegeben, der entweder mittelbar oder unmittelbar an das Sensorelement gekoppelt ist. In dieser Konfiguration gibt die Wheatstone-Brücke ein differentielles Ausgangssignal mit einer Amplitude aus, die proportional zu dem Widerstand des Sensorelements ist. Das differentielle Ausgangssignal der Wheatstone-Brücke kann an einen Differentialverstärker, wie er in **Fig. 10** gezeigt ist, ausgegeben werden oder kann unmittelbar als das Ausgangssignal des Sensorblocks **560** vorgesehen werden. Eine der Veranschaulichung dienende vorübergehende Widerstandsantwort des Sensorelements ist in **Fig. 15** gezeigt.

[0093] Um eine genaue Messung des Widerstands des Sensorelements zu ermöglichen, kann die Hochfrequenzkomponente des modulierten Heizelementeingangssignals mittels einer beliebigen Anzahl von Techniken eliminiert werden. Eine dieser Techniken sieht am Ausgang des Sensorblocks **560** einen Tiefpassfilter **562** vor, der nur der Niederfrequenzkomponente des Sensorausgangssignals den Durchgang erlaubt. Das sich ergebende gefilterte Signal kann anschließend an einen Stoppeingang eines zweiten Hochfrequenzzeitgebers **564** ausgegeben werden. Vorzugsweise ist das Sensorausgangssignal des Sensorblocks **560**, wie gezeigt, über einen Kondensator **566** an den Filter **562** wechselstromgekoppelt. Der Filter **562** kann die WS-Kopplungsfunktion bereitstellen, oder ein gesondertes Element, wie beispielsweise der Kondensator **566**, kann für diese Funktion vorgesehen sein.

[0094] Der Starteingang des Hochfrequenzzeitgebers **564** kann an die Niederfrequenzkomponente des Sensoreingangssignals gekoppelt sein. Eher bevorzugt wird die Niederfrequenzkomponente des Heizelementeingangssignals allerdings, wie gezeigt, über einen Materialwiderstand **570** und einen Kondensator **572** an den Starteingang des Hochfrequenzzeitgebers **564** angeschlossen. Der Materialwiderstand **570** weist vorzugsweise einen niedrigen Temperaturkoeffizienten auf, um eine durch diesen verursachte Phasenverzögerung zu minimieren. Der Kondensator **572** wechselstromkoppelt die Niederfrequenzkomponente des Sensoreingangssignals an den Starteingang des Hochfrequenzzeitgebers **564**.

[0095] Da sowohl das Sensoreingangssignal als auch das Sensorausgangssignal an den Start- bzw. Stoppeingang des Zeitgebers **564** wechselstromgekoppelt sind, lassen sich die Nulldurchgangspunkte des Eingangssignals und des Ausgangssignals des Sensors dafür verwenden, um den Hochfrequenzzeitgeber **564** zu triggern. Dies ermöglicht, dass die Messung der Zeitverzögerung durch den Hochfrequenzzeitgeber **564** verhältnismäßig unabhängig von den Amplituden der Eingangssignale und Ausgangssignale des Sensors ist, was die Genauigkeit der Messung steigert.

[0096] Wie aus der obigen Beschreibung ersichtlich, startet der Hochfrequenzzeitgeber **564**, wenn die wechselstromgekoppelte Niederfrequenzkomponente des Sensoreingangssignals einen beliebigen gegebenen Schwellwert, vorzugsweise Null, überschreitet. In ähnlicher Weise hält der Hochfrequenzzeitgeber **564** an, wenn das wechselstromgekoppelte Sensorausgangssignal, das den Widerstand des zweiten Sensorelements repräsentiert, einen beliebigen gegebenen Schwellwert, vorzugsweise Null, überschreitet. Das Ergebnis repräsentiert eine Zeitverzögerung Δz_{s1} des ersten Sensors.

[0097] Um ein Sensoreingangssignal zu erzeugen, das die geeignete Frequenz, Phase und Amplitude aufweist, die bewirken, dass die resultierende Temperaturantwort in dem ersten Sensorelement der Temperaturstörung des Fluids nachfolgt, kann ein Phasenschieber **580** und ein analoger Dividierer **582** vorgesehen sein. Die gewünschte Phase und Amplitude des Sensoreingangssignals lässt sich während einer Kalibrierungsprozedur ermitteln. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird das Sensorelement zunächst einer Vakuumbedingung unterworfen, und ein Sensoreingangssignal wird an das erste Sensorelement, wie oben beschrieben, ausgegeben. Da das Sensorelement von keinem Fluid umgeben ist, wird von dem Sensorelement praktisch keine Wärme auf das Fluid übertragen. Eine Zeitverzögerung Δ_{s1vac} des Sensors wird mittels des Hochfrequenzzeitgebers **564** gemessen und anschließend gespeichert. Eine der Veranschaulichung dienende Sensorzeitverzögerung Δz_{s1vac} ist in **Fig. 16** gezeigt und repräsentiert die Verzögerung zwischen dem Sensoreingangssignal **557** und die Widerstandsänderungsantwort **553** des Sensorelements. Darüber hinaus wird ein Verhältnis zwischen der Spannung und dem Widerstand zwischen dem Sensoreingangssignal und der sich ergebenden Widerstandsantwort des Sensorelements gemessen und gespeichert.

[0098] Das Sensorelement wird dann einem interessierenden Fluid ausgesetzt. Während des Betriebes wird die Phase des Sensoreingangssignals durch einen Phasenschieber **580** so eingestellt, dass die sich ergebende, durch den Hochfrequenzzeitgeber **564** gemessene Zeitverzögerung Δz_{s1} des ersten Sensors gleich der unter Vakuumbedingungen gemessenen Zeitverzögerung Δz_{s1vac} des Sensors ist. Der Generator **550** kann einen Komparator, Prozessor oder sonstige Mittel enthalten, um die gemessene Zeitverzögerung Δz_{s1} mit der kalibrierten Zeitverzögerung Δz_{s1vac} zu vergleichen.

[0099] In ähnlicher Weise kann die Spannung des Eingangssignals (P) und die sich ergebende Widerstandsantwort (R) des ersten Sensorelements, wie gezeigt, an einen analogen Dividierer **582** ausgegeben werden. Der analoge Dividierer **582** kann diese Signale dividieren, um eine Verhältnis zwischen Spannung und Widerstand zur Verfügung zu stellen. Der Generator **550** kann daraufhin die Amplitude des ersten Sensoreingangssignals so einstellen, dass das sich ergebende Verhältnis zwischen Spannung und Widerstand gleich dem unter Vakuumbedingungen gespeicherten Verhältnis zwischen Spannung und Widerstand ist.

[0100] Dementsprechend erwärmt das erste Sensoreingangssignal das erste Sensorelement in Phase und mit der geeigneten Amplitude, um eine Anpassung an die Temperaturstörung in dem Fluid zu bewirken, so dass von dem Fluid auf das erste Sensorelement im Wesentlichen keine Wärme übertragen wird. Dies ermöglicht eine Reduzierung oder Eliminierung der Zeitverzögerung Δz_{s1} des ersten Sensors als ein Faktor bei der Ermittlung der ersten Durchgangszeit Δz_1 der Temperaturstörung.

[0101] Ein Zeitgeber **590** misst unmittelbar die Durchgangszeit Δz_{21} , welche die Temperaturstörung benötigt, um von dem Heizelement zu dem ersten Sensorelement zu gelangen. Der Zeitgeber **590** wird gestartet, wenn das Ansprechen des Heizelements einen vordefinierten Schwellwert, vorzugsweise Null, überschreitet. Der Zeitgeber **590** wird angehalten, wenn das Ansprechen des ersten Sensorelements einen vordefinierten Schwellwert, vorzugsweise Null, überschreitet. Da der erste Sensor der Temperaturstörung in dem Fluid nachfolgt, wird die Zeitverzögerung Δz_{s1} des ersten Sensors als eine Fehlerquelle eliminiert. Wenn der erste Sensor dem Fluid mit einer Strömungsgeschwindigkeit von nahezu Null ausgesetzt wird, kann die Zeitverzögerung Δz_{s1} des ersten Sensors verwendet werden, um den thermischen Temperaturleitkoeffizienten und die spezifische Wärme des Fluids zu ermitteln, wie weiter unten näher erläutert.

[0102] Schließlich erzeugt ein dritter Generator **600** hinsichtlich eines zweiten Sensorelements die Hochfrequenzkomponente des Eingangssignals des zweiten Sensors und gibt diese über ein Interface **604** an einen Modulator **602** aus. Der Generator **600** erzeugt außerdem die Niederfrequenzkomponente sowie ein invertiertes Abbild davon und gibt diese Signale über Schnittstellen **606** bzw. **608** an den Modulator **602** aus. Wie oben beschrieben, moduliert der Modulator **602** die Hochfrequenzkomponente mittels der Signale der Niederfrequenzkomponente, um ein moduliertes Sensoreingangssignal zu erzeugen, wie in **Fig. 13** gezeigt. Die durch das modulierte Sensoreingangssignal zugeführte Energie ist in **Fig. 14** dargestellt.

[0103] Das modulierte Sensoreingangssignal wird an einen Sensorblock **610** ausgegeben. Um dem Sensorelement Energie zuzuführen und gleichzeitig eine Widerstandsantwort desselben zu erfassen, ist das Sensorelement, beispielsweise wie in **Fig. 10** gezeigt, vorzugsweise in einen Zweig einer Wheatstone-Brücke eingefügt. Dementsprechend enthält der Sensorblock **610** in dem der Veranschaulichung dienenden Ausführungsbeispiel vorzugsweise einen Schaltkreis, der jenem ähnelt, der in **Fig. 10** gezeigt ist.

[0104] Das modulierte Sensoreingangssignal wird an einen Spannungseingang der Wheatstone-Brücke, wie beispielsweise den Spannungseingang **401** nach **Fig. 10**, ausgegeben, der entweder mittelbar oder unmittelbar an das Sensorelement gekoppelt ist. In dieser Konfiguration gibt die Wheatstone-Brücke ein differentielles

Ausgangssignal mit einer Amplitude aus, die proportional zu dem Widerstand des Sensorelements ist. Das differentielle Ausgangssignal der Wheatstone-Brücke kann an einen Differentialverstärker, wie er in **Fig. 10** gezeigt ist, ausgegeben werden oder kann unmittelbar als das Ausgangssignal des Sensorblocks **610** vorgesehen werden. Eine der Veranschaulichung dienende vorübergehende Widerstandsantwort des Sensorelements ist in **Fig. 15** gezeigt.

[0105] Um eine genaue Messung des Widerstands des Sensorelements zu ermöglichen, kann die Hochfrequenzkomponente des modulierten Heizelementeingangssignals mittels einer beliebigen Anzahl von Techniken eliminiert werden. Eine dieser Techniken sieht am Ausgang des Sensorblocks **610** einen Tiefpassfilter **612** vor, der nur der Niederfrequenzkomponente des Sensorausgangssignals den Durchgang erlaubt. Das sich ergebende gefilterte Signal kann anschließend an einen Stoppeingang eines zweiten Hochfrequenzzeitgebers **614** ausgegeben werden. Vorzugsweise ist das Sensorausgangssignal des Sensorblocks **610**, wie gezeigt, über einen Kondensator **616** an den Filter **612** wechselstromgekoppelt. Der Filter **612** kann die WS-Kopplungsfunktion bereitstellen, oder ein gesondertes Element, wie beispielsweise der Kondensator **616**, kann für diese Funktion vorgesehen sein.

[0106] Der Starteingang des Hochfrequenzzeitgebers **614** kann an die Niederfrequenzkomponente des Sensoreingangssignals gekoppelt sein. Eher bevorzugt wird die Niederfrequenzkomponente des Sensoreingangssignals allerdings, wie gezeigt, über einen Materialwiderstand **620** und einen Kondensator **622** an den Starteingang des Hochfrequenzzeitgebers **614** angeschlossen. Der Materialwiderstand **620** weist vorzugsweise einen niedrigen Temperaturkoeffizienten auf, um eine durch diesen verursachte Phasenverzögerung zu minimieren. Der Kondensator **622** wechselstromkoppelt die Niederfrequenzkomponente des Sensoreingangssignals an den Starteingang des Hochfrequenzzeitgebers **614**.

[0107] Da sowohl das Sensoreingangssignal als auch das Sensorausgangssignal an den Start- bzw. Stoppeingang des Zeitgebers **614** wechselstromgekoppelt sind, lassen sich die Nulldurchgangspunkte des Eingangssignals und des Ausgangssignals des Sensors dafür verwenden, den Hochfrequenzzeitgeber **614** zu triggern. Dies ermöglicht, dass die Messung der Zeitverzögerung durch den Hochfrequenzzeitgeber **614** verhältnismäßig unabhängig von den Amplituden der Eingangssignale und Ausgangssignale des Sensors ist, was die Genauigkeit der Messung steigert.

[0108] Wie aus der obigen Beschreibung ersichtlich, startet der Hochfrequenzzeitgeber **614**, wenn die wechselstromgekoppelte Niederfrequenzkomponente des Eingangssignals des dritten Sensors einen beliebigen gegebenen Schwellwert, vorzugsweise Null, überschreitet. In ähnlicher Weise hält der Hochfrequenzzeitgeber **614** an, wenn das wechselstromgekoppelte Sensorausgangssignal, das den Widerstand des dritten Sensorelements repräsentiert, einen beliebigen gegebenen Schwellwert, vorzugsweise Null, überschreitet. Das Ergebnis ist eine Zeitverzögerung Δz_{s2} des zweiten Sensors.

[0109] Um ein Sensoreingangssignal zu erzeugen, das die geeignete Frequenz, Phase und Amplitude aufweist, die bewirken, dass die resultierende Temperaturantwort in dem zweiten Sensorelement der Temperaturstörung des Fluids nachfolgt, kann ein Phasenschieber **630** und ein analoger Dividierer **632** vorgesehen sein. Die gewünschte Phase und Amplitude des Sensoreingangssignals lässt sich während einer Kalibrierungsprozedur ermitteln. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird das zweite Sensorelement zunächst einer Vakuumbedingung unterworfen, und ein Sensoreingangssignal wird an das zweite Sensorelement, wie oben beschrieben, ausgegeben. Da das Sensorelement von keinem Fluid umgeben ist, wird von dem Sensorelement praktisch keine Wärme auf das Fluid übertragen. Eine Zeitverzögerung Δz_{s2vac} des zweiten Sensors wird mittels des Hochfrequenzzeitgebers **614** gemessen und anschließend gespeichert. Eine der Veranschaulichung dienende Zeitverzögerung Δz_{s2vac} des zweiten Sensors ist in **Fig. 16** gezeigt und repräsentiert die Verzögerung zwischen dem Sensoreingangssignal **551** und die Widerstandsänderungsantwort **553** des zweiten Sensorelements. Darüber hinaus wird ein Verhältnis zwischen der Spannung und dem Widerstand zwischen dem Sensoreingangssignal und der sich ergebenden Widerstandsantwort des zweiten Sensorelements gemessen und gespeichert.

[0110] Das dritte Sensorelement wird dann einem interessierenden Fluid ausgesetzt. Während des Betriebes wird die Phase des Sensoreingangssignals durch einen Phasenschieber **630** so eingestellt, dass die sich ergebende, durch den Hochfrequenzzeitgeber **614** gemessene Zeitverzögerung Δz_{s2} des zweiten Sensors gleich der unter Vakuumbedingungen gemessenen Zeitverzögerung Δz_{s2vac} des zweiten Sensors ist. Der Generator **600** kann einen Komparator, einen Prozessor oder sonstige Mittel enthalten, um die gemessene Zeitverzögerung Δz_{s2} mit der kalibrierten Zeitverzögerung Δz_{s2vac} zu vergleichen.

[0111] In ähnlicher Weise kann die Spannung des Eingangssignals (P) und die sich ergebende Widerstandsantwort (R) des zweiten Sensorelements, wie gezeigt, an einen analogen Dividierer **632** ausgegeben werden. Der analoge Dividierer **632** kann diese Signale dividieren, um ein Verhältnis zwischen Spannung und Widerstand zur Verfügung zu stellen. Der Generator **600** kann daraufhin die Amplitude des zweiten Sensoreingangssignals so einstellen, dass das sich ergebende Verhältnis zwischen Spannung und Widerstand gleich dem unter Vakuumbedingungen gespeicherten Verhältnis zwischen Spannung und Widerstand ist.

[0112] Dementsprechend erwärmt das zweite Sensoreingangssignal das zweite Sensorelement in Phase und

mit der geeigneten Amplitude, um eine Anpassung an die Temperaturstörung in dem Fluid zu bewirken, so dass von dem Fluid auf das zweite Sensorelement im Wesentlichen keine Wärme übertragen wird. Dies ermöglicht eine Reduzierung oder Eliminierung der Zeitverzögerung Δz_{s2} des zweiten Sensors als eine mögliche Fehlerquelle bei der Ermittlung der Durchgangszeit der Temperaturstörung.

[0113] Ein Zeitgeber **650** misst unmittelbar die Durchgangszeit Δz_2 , welche die Temperaturstörung benötigt, um von dem Heizelement zu dem zweiten Sensorelement zu gelangen. Der Zeitgeber **650** wird gestartet, wenn das Ansprechen des Heizelements einen vordefinierten Schwellwert, vorzugsweise Null, überschreitet. Der Zeitgeber **650** wird angehalten, wenn das Ansprechen des zweiten Sensorelements einen vordefinierten Schwellwert, vorzugsweise Null, überschreitet. Da der zweite Sensor der Temperaturstörung in dem Fluid nachfolgt, wird die Zeitverzögerung Δz_{s2} des zweiten Sensors als eine Fehlerquelle eliminiert.

[0114] Die Geschwindigkeit des Fluid lässt sich anhand der Durchgangszeiten Δz_1 und Δz_2 mittels der oben beschriebenen Beziehung ermitteln:

$$v^2 = (d_1^2/z_1 - d_2^2/z_2)/(z_1 - z_2) \quad (8)$$

[0115] Das der Veranschaulichung dienende Ausführungsbeispiel nach **Fig. 11A** und **Fig. 11B** kann somit verwendet werden, um die Geschwindigkeit des interessierenden Fluids verhältnismäßig unabhängig von den Eigenschaften des Fluids zu berechnen, während die Effekte des Heizelements und der Sensorzeitverzögerungen minimiert werden.

[0116] Darüber hinaus kann das der Veranschaulichung dienende Ausführungsbeispiel nach **Fig. 11A** und **Fig. 11B** verwendet werden, um die Wärmeleitfähigkeit, den thermischen Temperaturleitkoeffizienten und die spezifische Wärme des interessierenden Fluids zu ermitteln, wie weiter unten eingehender beschrieben.

WÄRMELEITFÄHIGKEIT

[0117] Die thermodynamische Wechselwirkung zwischen einem Heizelement, dem fluktuierende Temperaturen aufgezwungen werden, nach der Formel:

$$T = T_0 + T_1 \sin(\omega z + \gamma) \quad (9)$$

in Abhängigkeit von einer fluktuierenden Eingangsspannung

$$P = P_0(1 + \sin(\omega z)) \quad (10)$$

lässt sich durch eine einfache Differentialgleichung ausdrücken

$$c_{pv} t dT/dz = P_0(1 + \sin(\omega z)) - (h_1 + h_2)(T - T_f) - h_3(T - T_b) \quad (11)$$

TABELLE I

Symbol	Nomenklatur
f	Frequenz des Eingangssignals, Hz
ω	$2\pi f$, Hz
c_{pv}	spezifische Wärme pro Volumeneinheit für den Heizelementfilm und das Trägerelement (10% Platin, 90% Si_3N_4 Mikrobrückenkomposit, $\text{J}/(\text{cm}^3\text{k})$)
t	Heizfilmdicke, cm
T	Sensorbasistemperatur mit einer Spitze-Spitze-Amplitude von $2T_0$, k
T_f	Fluidtemperatur, k
T_b	Substrattemperatur, k
h_1	Wärmeleitfähigkeitskoeffizient gegenüber dem interessierenden Fluid = k/L_1 , W/cm^3
h_2	Koeffizient der dem interessierenden Fluid aufgezwungenen Wärmekonvektion unter Laminarströmungsbedingung (= k/L_2), W/cm^3

H_3	Wärmeleitfähigkeitskoeffizient gegenüber dem Substrat, W/cm^3
L_1	charakteristische Länge der Wärmeleitung von dem Heizelement in die Fluidphase, cm
L_2	charakteristische Länge der Wärmeübertragung durch Konvektion, cm
Z	Zeit, s
T	Temperatur
$\Delta z_{k,p}$	Zeitverzögerung zwischen dem Heizelementeingangssignal und der Widerstandsantwort des Heizelementmittels, gemessen bei einer Fluidstromgeschwindigkeit von nahezu Null
Δz_h	Zeitverzögerung zwischen dem Heizelementeingangssignal und der Widerstandsantwort des Heizelementmittels, gemessen bei strömendem Fluid
Δz_s	Zeitverzögerung zwischen dem Sensoreingangssignal und der Widerstandsantwort des entsprechenden Sensormittels, gemessen bei strömendem Fluid
Δz_{svac}	Zeitverzögerung zwischen dem Sensoreingangssignal und der Widerstandsantwort des Sensormittels unter Vakuumbedingungen
Δz_1	Zeitverzögerung, die eine thermische Störung benötigt, um von dem Heizelement zu dem ersten Sensor zu gelangen
Δz_2	Zeitverzögerung, die eine thermische Störung benötigt, um von dem Heizelement zu dem zweiten Sensor zu gelangen
d_1	trennender Abstand zwischen dem Heizelement und dem ersten Sensorelement
D_2	trennender Abstand zwischen dem Heizelement und dem zweiten Sensorelement (d_1, d_2)
γ	Phasenverzögerung zwischen dem Eingangssignal und dem Widerstand des Heizelementmittels ($\gamma = \Delta z 2\pi f$), Radian

[0118] Eine Integration der Gleichung (11) führt zur Lösung für die Phasenverzögerung γ und die Gleich- und Wechselstromsignalamplituden T_0 bzw. T_1 wie folgt:

$$\gamma = \arctan(-2\pi f c_{pv} t / (h_1 + h_2 + h_3)) \quad (12)$$

$$\Delta z = \gamma / (2\pi f) \quad (13)$$

$$T_0 = ((h_1 + h_2)T_f + h_3T_b + P_0) / (h_1 + h_2 + h_3) \quad (14)$$

$$T_1 = P_0((h_1 + h_2 + h_3)^2 + (c_{pv} t \omega)^2)^{1/2} \quad (15)$$

[0119] Die Beiträge von h_1 , h_2 und h_3 zu der Phasenverzögerung γ lassen sich isolieren und voneinander unabhängig messen. Während einer Kalibrierungsprozedur lässt sich beispielsweise der Wert von h_3 ermitteln, indem das Heizelement einer Vakuumbedingung unterworfen wird, wodurch h_1 und h_2 zu Null werden. Eine zwischen dem Eingangssignal und dem Ausgangssignal des Heizelements vorhandene Zeitverzögerung kann anschließend unter der Vakuumbedingung gemessen werden. Der Wert von h_2 kann dann mittels der folgenden Beziehung berechnet werden:

$$h_3 = -2\pi f c_{pv} t / \tan(\gamma) \quad (16)$$

[0120] Der Wert von h_1 kann dann ermittelt werden, indem das Heizelement dem interessierenden Fluid bei atmosphärischem Druck und im Wesentlichen mit einer Strömung von Null ausgesetzt wird, wodurch h_2 zu Null wird. Eine zwischen dem Eingangssignal und dem Ausgangssignal des Heizelements vorhandene Zeitverzögerung kann anschließend unter atmosphärischem Druck gemessen werden. Der Wert von h_1 kann dann anhand der folgenden Beziehung berechnet werden:

$$h_1 = [-2\pi f c_{pv} t / \tan(\gamma)] - h_3 \quad (17)$$

wobei h_3 nach dem vorausgehenden bekannt ist.

[0121] Schließlich lässt sich der Wert von h_2 ermitteln, indem das Heizelementmittel dem interessierenden Fluid bei einer vorgegebenen, von Null verschiedenen Strömungsgeschwindigkeit ausgesetzt wird. Eine zwischen dem Eingangssignal und dem Ausgangssignal des Heizelementmittels vorhandene Zeitverzögerung kann anschließend unter der von Null verschiedenen Strömungsbedingung gemessen werden. Der Wert von h_2 ergibt sich dann durch Berechnung aus der Beziehung:

$$h_2 = [-2\pi f c_{pv} t / \tan(\gamma)] - h_1 - h_3 \quad (18)$$

wobei h_2 und h_3 aus dem Vorhergehenden bekannt sind.

[0122] In dem der Veranschaulichung dienenden Ausführungsbeispiel, wie es beispielsweise in **Fig. 5** gezeigt ist, weisen das Heizelement **224** und das Trägerelement **230** eine entsprechende spezifische Wärme C_{pv} auf. Darüber hinaus weist das Heizelement **224** gegenüber dem Substrat **232** einen Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten h_3 auf. Wenn diese Parameter erst einmal, beispielsweise wie oben beschrieben, durch eine vorausgehende Kalibrierung ermittelt sind, lässt sich die Wärmeleitfähigkeit k des interessierenden Fluids mittels der folgenden Beziehung berechnen:

$$k = (-2\pi f c_{pv} t / \tan(\Delta z_{k,p} - 2\pi f) - h_3) L_1 \quad (19)$$

THERMISCHER TEMPERATURLEITKOEFFIZIENT UND SPEZIFISCHE WÄRME

[0123] Das Voranschreiten oder die Ausbreitung einer örtlichen, nicht homogenen Temperaturverteilung lässt sich aus der nachfolgenden dreidimensionalen Gleichung der Temperatur- oder Wärmeleitfähigkeit ableiten, der ein die Fluidgeschwindigkeit in der x-Richtung repräsentierender Term hinzugefügt wurde:

$$\partial T / \partial z = D_t \partial^2 T / \partial x^2 - v_x \partial T / \partial x \quad (20)$$

[0124] Die eindimensionale vorläufige Lösung der Gleichung (20) ist:

$$T \sim z^{-0.5} \exp(-(d_1 - vz)^2 / (4D_t z)) \quad (21)$$

wobei x durch $(\pm d_1 \pm vz)$ ersetzt wurde, um den Term der Geschwindigkeit einzuführen. Um die Zeitverzögerung zu ermitteln, die zwischen sehr kurzen Zwangsfunktionen zum Zeitpunkt $z = 0$ und der Ankunft dieser Pulse in Form von Maxima von $T(z)$ an der Position d_1 des ersten Sensorelements auftritt, wird die Gleichung (21) differenziert und mit Null gleichgesetzt:

$$dT/dz = 0 = -1/z^2 + (1/z)(2v(d_1 - vz)/4D_t z + (d_1 - vz)^2/4D_t z^2) \quad (22)$$

durch Multiplizieren mit z^2 und Umstellen ergibt sich die Beziehung:

$$-4D_t z - v^2 z^2 + d_1^2 = 0 \quad (23)$$

[0125] Da die Wärmeleitfähigkeit, der thermische Temperaturleitkoeffizient und die spezifische Wärme des interessierenden Fluids vorzugsweise bei einer Strömungsgeschwindigkeit nahe Null ermittelt werden, wird v gleich Null gesetzt, worauf sich die folgende Beziehung für D_t ergibt:

$$D_t = d_1^2 / (4\Delta z_1) \quad (24)$$

wobei z durch z_1 ersetzt wurde, das für die Durchgangszeit steht, welche die Temperaturstörung benötigt, um eine Entfernung d_1 , oder im vorliegenden Fall, die Strecke von dem Heizelement zu dem ersten Sensorelement zurückzulegen.

[0126] Die spezifische Wärme des interessierenden Fluids lässt sich anschließend anhand der folgenden Beziehung ermitteln:

$$c_p = k / D_t \quad (25)$$

wobei die Wärmeleitfähigkeit k und der thermische Temperaturleitkoeffizient D_t wie oben beschrieben ermittelt werden.

[0127] **Fig. 17** zeigt ein Zeitsteuerdiagramm, das die vielfältigen Zeitverzögerungen darstellt, wie sie mittels des Ausführungsbeispiels nach **Fig. 11A** und **Fig. 11B** gemessen wurden. Der bei einer Strömungsgeschwindigkeit $\Delta z_{k,p}$ von nahezu Null gemessene Zeitverzögerungswert des Heizelements wird wie oben beschrieben ermittelt und repräsentiert die Zeitverzögerung zwischen dem mit **700** bezeichneten Heizelementeingangssignal und der mit **702** bezeichneten Antwort des Heizelements. Die Zeitverzögerung $\Delta z_{k,p}$ des Heizelements wird vorzugsweise verwendet, um die Wärmeleitfähigkeit des interessierenden Fluids zu berechnen.

[0128] Die Sensorzeitverzögerungen Δz_{s1} und Δz_{s2} werden vorzugsweise erzwungen, um eine Anpassung an die unter Vakuumbedingungen $\Delta z_{s1,2vac}$ gemessenen Sensorzeitverzögerungen zu erreichen. Dementsprechend erhält das mit **708** bezeichnete Sensoreingangssignal gegenüber dem Heizelementeingangssignal die geeignete Phase und die geeignete Amplitude, so dass im Wesentlichen keine Wärme von dem Fluid zu dem entsprechenden Sensorelement übertragen wird. Die Temperaturantwort des entsprechenden Sensorelements ist mit **708** bezeichnet.

[0129] Die erste Durchgangszeit Δz_1 ist die Zeitverzögerung zwischen dem Ansprechen des Heizelements und dem Sensoransprechen des ersten Sensors, wobei vorzugsweise $\Delta z_{s1} = \Delta z_{s1vac}$ wie gezeigt. Wie oben beschrieben, kann die Durchgangszeit Δz_1 verwendet werden, um den thermischen Temperaturleitkoeffizienten und die spezifische Wärme des interessierenden Fluids zu berechnen, wenn bei einer Fluidstromgeschwindigkeit von nahezu Null gemessen wird. Die Durchgangszeit Δz_2 ist die Zeitverzögerung zwischen dem Ansprechen des Heizelements und dem Sensoransprechen des zweiten Sensors, wobei vorzugsweise $\Delta z_{s2} = \Delta z_{s2vac}$ wie gezeigt. Die Durchgangszeit Δz_2 kann ebenso verwendet werden, um den thermischen Temperaturleitkoeffizienten und die spezifische Wärme des interessierenden Fluids zu berechnen, wenn bei einer Fluidstromgeschwindigkeit von nahezu Null gemessen wird. Schließlich können die Durchgangszeiten Δz_1 und Δz_2 verwendet werden, um die Strömungsgeschwindigkeit des eine Strömung aufweisenden Fluids verhältnismäßig unabhängig von den Eigenschaften des Fluids zu ermitteln.

[0130] Es wird in Betracht gezogen, dass die Eingangssignale des Heizelements und der Sensoren während einer Messperiode aktiv und während einer Warteperiode inaktiv sein können. Darüber hinaus wird in Betracht gezogen, dass die Warteperiode länger als die Messperiode sein kann. Dies kann Energie einsparen, was von besonderer Wichtigkeit sein kann, wenn das Sensorsystem mittels Batterien betrieben wird.

[0131] **Fig. 18** zeigt in einem Blockschaltbild ein Prozessormittel, das verwendet wird, um die Geschwindigkeit, die Wärmeleitfähigkeit und die spezifische Wärme des interessierenden Fluids anhand der durch **Fig. 11A** und **Fig. 11B** zur Verfügung gestellten Zeitverzögerungswerte zu berechnen. Mittels der oben beschriebenen Beziehungen kann das Prozessormittel **800** die Werte $\Delta z_{k,p}$, f , c_{pv} , t , h_3 und L_1 übernehmen, um die Wärmeleitfähigkeit k des interessierenden Fluids zu berechnen. In ähnlicher Weise kann das Prozessormittel **800** die Wärmeleitfähigkeit k , eine der Durchgangszeiten, beispielsweise Δz_1 , gemessen bei einer Fluidstromgeschwindigkeit von nahezu Null, und den Abstand "d" zwischen dem Heizelement und dem entsprechenden Sensor verwenden, um den thermischen Temperaturleitkoeffizienten und die spezifische Wärme des interessierenden Fluids zu ermitteln.

[0132] Schließlich kann das Prozessormittel **800** die bei strömenden Fluid gemessenen ersten und zweiten Durchgangszeiten Δz_1 und Δz_2 , zusammen mit den Abständen d_1 und d_2 zwischen dem Heizelement und den entsprechenden Sensorelementen verwenden, um die Geschwindigkeit des Fluids zu ermitteln.

[0133] **Fig. 19** und **Fig. 20** zeigen Blockschaltbilder von der Veranschaulichung dienenden Ausführungsbeispielen, die optische Sensormittel benutzen, um die Durchgangszeit, die eine thermische Störung benötigt, um von einer ersten Position zu einer zweiten Position zu gelangen, zu messen. In beiden Ausführungsbeispielen wird an ein Heizelement **900** ein Heizelementeingangssignal ausgegeben, um in dem Fluid thermische Störungen zu induzieren. In **Fig. 19** sind eine erste Lichtquelle **902** und eine zweite Lichtquelle **904** in einer ersten Entfernung bzw. einer zweiten Entfernung von dem Heizelement **900** vorgesehen. Ein entsprechender erster Lichtsensor **906** und ein entsprechender zweiter Lichtsensor **908** sind vorgesehen, wobei jeder der Lichtsensoren von der zugehörigen Lichtquelle getrennt angeordnet ist, so dass das Fluid dazwischen hindurchströmt. Jedes der Lichtquelle/Sensor-Paare erfasst die thermische Störung, indem eine Ablenkung des Lichtstrahls der Quelle aufgrund des veränderten Brechungsindex des erhitzten Fluids gemessen wird. Auf diese Weise steht ein Temperatursensor zur Verfügung, der wenig oder überhaupt keine thermische Masse aufweist, wodurch die Effekte der Sensorzeitverzögerungen, die für die auf Temperatur ansprechenden Sensoren nach der Bauart von Widerstandssensoren typisch sind, minimiert werden.

[0134] In **Fig. 20** sind zwei einander benachbarte Lichtquelle/Sensor-Paare **916** und **918** vorgesehen. Das Licht wird durch jede der Lichtquellen ausgestrahlt, von einer reflektierenden Oberfläche **920** reflektiert und kehrt zu dem entsprechenden Lichtsensor zurück. Wie in **Fig. 19** erfasst jedes der Lichtquelle/Sensor-Paare die thermische Störung, indem eine Ablenkung des Lichtstrahls der Quelle aufgrund des veränderten Brechungsindex des erhitzten Fluids gemessen wird.

[0135] In beiden Ausführungsbeispielen kann die Lichtquelle eine beliebige Art einer Lichtquelle sein, bevorzugt ist jedoch eine LED (Licht emittierende Diode) oder ein oberflächenemittierender Laser mit vertikalem Hohlraum (VCSEL). Der Sensor kann eine beliebige Bauart eines Lichtsensors sein, bevorzugt ist jedoch eine

Fotodiode (PD) oder eine RCPD (Resonanzhohlraum-Photodiode).

[0136] Nachdem die bevorzugten Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung in der obigen Beschreibung vorliegen, erkennt der Fachmann sofort, dass die darin entdeckten Erkenntnisse sich innerhalb des Schutzbereichs der hier beigefügten Ansprüche auf weitere Ausführungsbeispiele anwenden lassen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Ermitteln der Fluidgeschwindigkeit v eines interessierenden Fluids, umfassend:
 ein Hezelementmittel, das in thermischer Verbindung mit dem interessierenden Fluid steht, wobei das Hezelementmittel einen Widerstand aufweist, der sich mit der Temperatur ändert;
 ein Hezelementenergieversorgungsmittel, das mit dem Hezelementmittel verbunden ist, um das Hezelementmittel mit Energie zu versorgen, wobei das Hezelementenergieversorgungsmittel für eine vorübergehende erhöhte Temperatur in dem Hezelementmittel sorgt;
 mindestens zwei Sensormittel, die mit dem interessierenden Fluid in thermischer Verbindung stehen, wobei jedes der mindestens zwei Sensormittel mit einem unterschiedlichen Abstand zu dem Hezelementmittel beabstandet ist, und jedes einen Widerstand aufweist, der sich mit der Temperatur ändert;
 Zeitverzögerungsmittel, um wenigstens zwei Zeitverzögerungswerte zu ermitteln, die jeweils der Schaltverzögerung entsprechen, die zwischen dem Erzeugen einer vorübergehenden erhöhten Temperatur an dem Hezelementmittel und dem Erfassen eines Ansprechens eines jeweilig entsprechenden der Sensormittel auf die vorübergehend erhöhte Temperatur, auftritt; und
 Berechnungsmittel, um die Fluidgeschwindigkeit v des interessierenden Fluids anhand der mindestens zwei Zeitverzögerungswerte zu ermitteln, wobei das Berechnungsmittel die Fluidgeschwindigkeit auf der Grundlage der folgenden Beziehung berechnet:

$$v = \{(d_1^2/\Delta z_1 - d_2^2/\Delta z_2)/(\Delta z_1 - \Delta z_2)\}^{0.5}$$

wobei

d_1 = der Abstand zwischen dem Hezelementmittel und einem ersten Sensormittel;

d_2 = der Abstand zwischen dem Hezelementmittel und einem zweiten Sensormittel, wobei $|d_1| \neq |d_2|$;

Δz_1 = der Zeitverzögerungswert, welcher der Zeit zwischen der vorübergehenden erhöhten Temperatur des Hezelementmittels und dem Ansprechen des ersten Sensormittels auf die vorübergehend erhöhte Temperatur entspricht; und

Δz_2 = der Zeitverzögerungswert, welcher der Zeit zwischen der vorübergehenden erhöhten Temperatur des Hezelementmittels und dem Ansprechen des zweiten Sensormittels auf die vorübergehend erhöhte Temperatur entspricht.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Hezelementenergieversorgungsmittel ein periodisches, zeitlich veränderliches Eingangssignal für das Hezelementmittel vorsieht, um die vorübergehende erhöhte Temperatur in dem Hezelementmittel einzuleiten, wobei die Vorrichtung ferner ein erstes Ausgangssignalmittel umfasst, das dazu dient, ein erstes Ausgangssignal zu erzeugen, das proportional zu dem Widerstand des Hezelementmittels ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, bei dem jedes der Sensormittel ein entsprechendes Sensorenergieversorgungsmittel aufweist, das dazu dient, das entsprechende Sensormittel mit Energie zu versorgen, wobei jedes der Sensorenergieversorgungsmittel dem entsprechenden Sensormittel ein periodisches, zeitlich veränderliches Eingangssignal bereitstellt, das gegenüber dem periodischen, zeitlich veränderlichen Eingangssignal des Hezelementenergieversorgungsmittels phasenverschoben ist, wobei das Sensoreingangssignal die gleiche Frequenz wie das Hezelementeingangssignal aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei der jedes der Sensormittel ein entsprechendes Ausgangssignalmittel aufweist, das dazu dient, eine Anzahl von zweiten Ausgangssignalen zu erzeugen, wobei die zweiten Ausgangssignale jeweils proportional zu dem Widerstand des entsprechenden Sensormittels sind, und bei der jedes der Sensormittel ein entsprechendes zweites Zeitverzögerungsmittel aufweist, das dazu dient, für jedes der mindestens zwei Sensormittel einen zweiten Zeitverzögerungswert zu ermitteln, wobei die zweiten Zeitverzögerungswerte die Zeit zwischen entsprechenden Punkten des jeweiligen Eingangsspannungssignals, das durch das jeweilige Sensorenergieversorgungsmittel bereitgestellt wird, und dem entsprechenden zweiten Ausgangssignal darstellen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, bei der jedes der Sensorenergieversorgungsmittel einen Phasenschieber umfasst, der dazu dient, die Phase des durch das Hezelementenergieversorgungsmittel erzeugten, periodi-

schen, zeitlich veränderlichen Eingangssignals um einen Betrag zu verschieben, der bewirkt, dass jeder der zweiten Zeitverzögerungswerte im Wesentlichen einem jeweils vorgegebenen Wert äquivalent ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, bei welcher der vorgegebene Wert äquivalent zu der für das entsprechende Sensormittel auftretenden zweiten Zeitverzögerung ist, wenn die Messung erfolgt, während sich das Sensormittel in einem Vakuum befindet.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, bei der das Eingangsspannungssignal, das durch jedes der Sensorenergieversorgungsmittel erzeugt wird, eine Amplitude aufweist, die so ausgewählt ist, dass in jedem der entsprechenden Sensormittel ein Verhältnis zwischen Strom und Widerstand hergestellt wird, das im Wesentlichen mit dem Verhältnis zwischen Strom und Widerstand in den entsprechenden Sensormitteln übereinstimmt, wenn unter einer Vakuumbedingung gemessen wird.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der jedes der mindestens zwei Sensormittel einen Draht umfasst.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der jedes der mindestens zwei Sensormittel einen Film umfasst.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der mindestens eines der Sensormittel dem Heizelementmittel vorgeschaltet ist und mindestens eines der Sensormittel dem Heizelementmittel nachgeschaltet ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die mindestens zwei Sensormittel dem Heizelementmittel nachgeschaltet sind, wobei ein erstes Sensormittel näher an dem Heizelementmittel angeordnet ist als ein zweites Sensormittel.

12. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die wenigstens zwei Sensormittel dem Heizelementmittel vorgeschaltet sind, wobei ein erstes Sensormittel näher an dem Heizelementmittel angeordnet ist als ein zweites Sensormittel.

13. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Heizelementenergieversorgungsmittel ein Eingangssignal für das Heizelementmittel erzeugt, um die vorübergehende erhöhte Temperatur in dem Heizelementmittel zu bewirken, wobei das Heizelementenergieversorgungsmittel ein erstes Amplitudeneingangssignal an das Heizelementmittel, wenn eine erste Fluidgeschwindigkeit gemessen wird, und ein zweites Amplitudeneingangssignal für das Messen einer zweiten Fluidgeschwindigkeit ausgibt, wobei die zweite Fluidgeschwindigkeit geringer als die erste Fluidgeschwindigkeit ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Heizelementenergieversorgungsmittel während einer Messperiode ein periodisches, zeitlich veränderliches Eingangssignal für das Heizelementmittel vorsieht, und danach während einer Warteperiode ein verhältnismäßig statisches Eingangssignal an das Heizelementmittel ausgibt.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, bei der die Warteperiode länger ist als die Messperiode.

16. Verfahren zum Ermitteln der Fluidgeschwindigkeit v eines interessierenden Fluids mittels eines Heizelements und wenigstens zwei beabstandeter Sensorelemente, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:
Bereitstellen eines ersten Abstands eines ersten der Sensorelemente gegenüber dem Heizelement, und eines zweiten Abstands eines zweiten der Sensorelemente gegenüber dem Heizelement, wobei der zweite Abstand größer ist als der erste Abstand;
Versorgen des Heizelements mit Energie, um eine vorübergehende erhöhte Temperatur in dem Heizelement herzustellen;
Ermitteln eines ersten Zeitverzögerungswerts, welcher der Zeitverzögerung zwischen dem Erzeugen des Heizelementeingangssignals und dem Erfassen des ersten Sensorausgangssignals entspricht;
Ermitteln eines zweiten Zeitverzögerungswerts zwischen dem Erzeugen des Heizelementeingangssignals und dem Erfassen des zweiten Sensorausgangssignals;
Ermitteln der Fluidgeschwindigkeit v des interessierenden Fluids anhand der ersten und zweiten Zeitverzögerungswerte mittels der folgenden Beziehung:

$$v = \{(d_1^2/\Delta z_1 - d_2^2/\Delta z_2)/(\Delta z_1 - \Delta z_2)\}^{0.5},$$

wobei

d_1 = der Abstand zwischen dem Heizelement und einem ersten Sensorelement;

d_2 = der Abstand zwischen dem Heizelement und dem zweiten Sensorelement, wobei $|d_1| \neq |d_2|$;
 Δz_1 = der erste Zeitverzögerungswert; und
 Δz_2 = der zweite Zeitverzögerungswert.

17. Verfahren nach Anspruch 16, ferner die Schritte umfassend:

Versorgen des ersten Sensorelements mit einem ersten Sensoreingangssignal, das eine geeignete Phase und Amplitude aufweist, so dass während der vorübergehenden erhöhten Temperatur im Wesentlichen keine Wärme von dem interessierenden Fluid auf das erste Sensorelement übertragen wird; und Versorgen des zweiten Sensorelements mit einem zweiten Sensoreingangssignal, das eine geeignete Phase und Amplitude aufweist, so dass während der vorübergehenden erhöhten Temperatur im Wesentlichen keine Wärme von dem interessierenden Fluid auf das zweite Sensorelement übertragen wird.

Es folgen 15 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

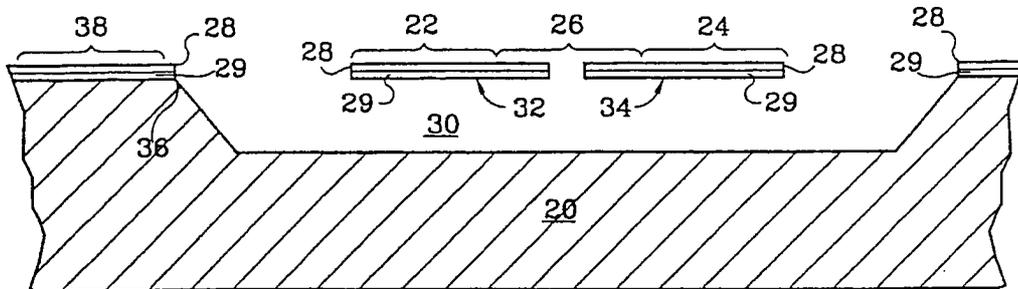


Fig. 1 (Stand der Technik)

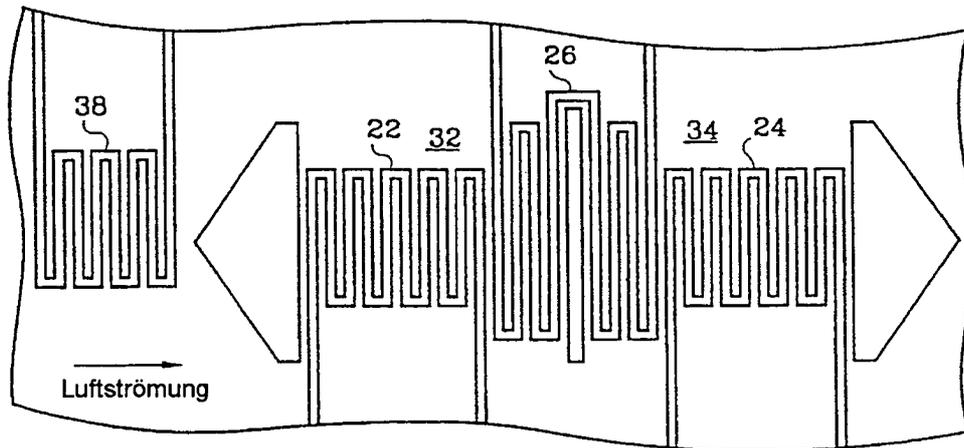


Fig. 2 (Stand der Technik)

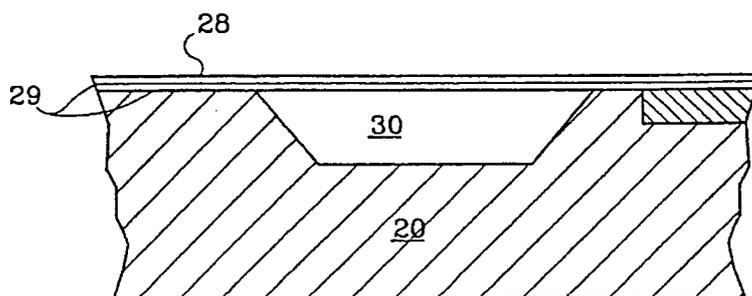


Fig. 3 (Stand der Technik)

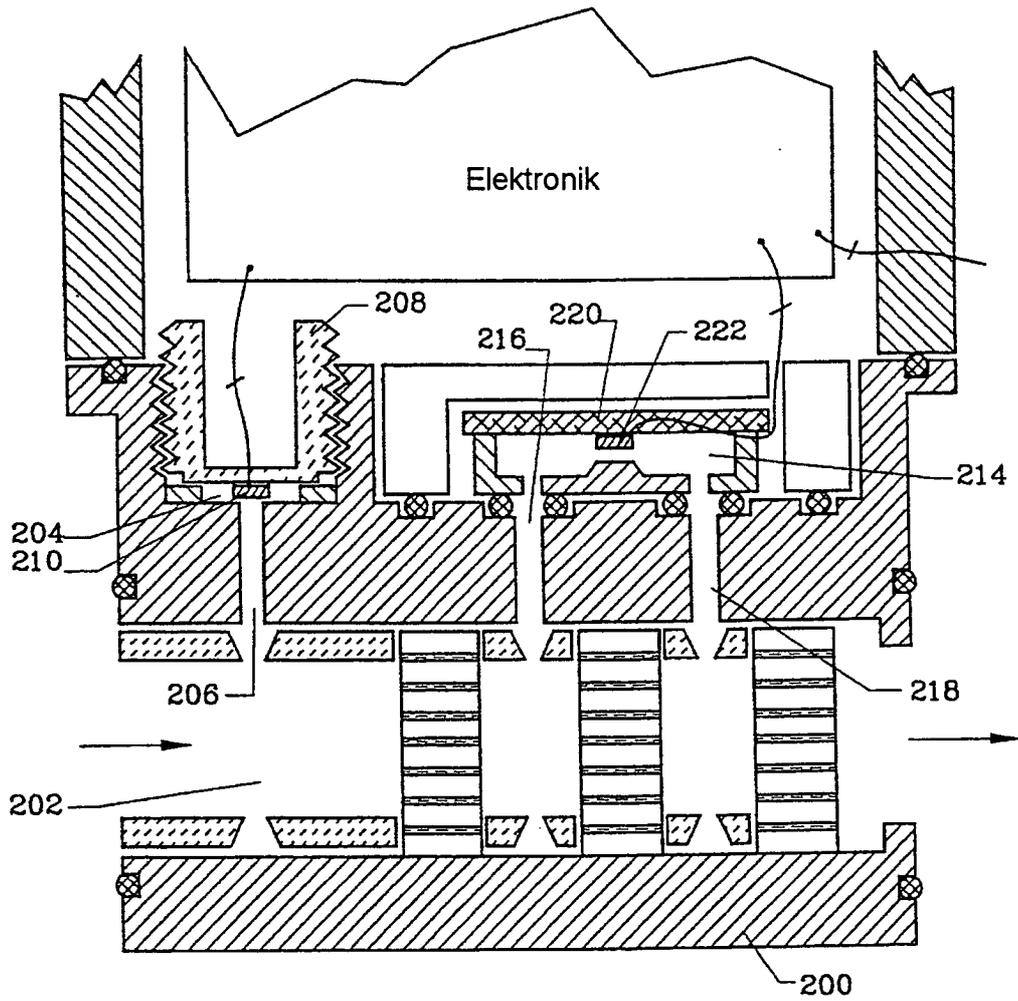


Fig. 4

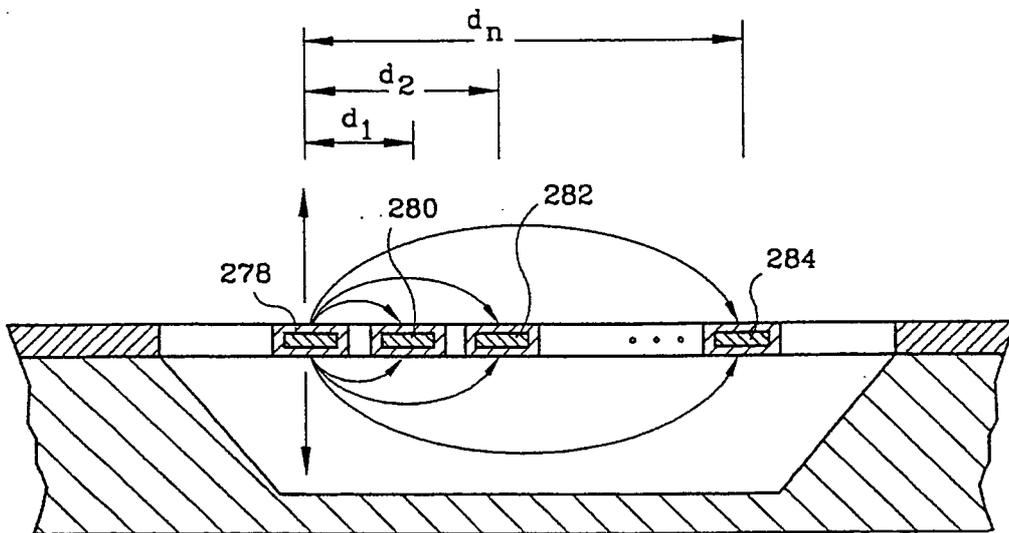


Fig. 7

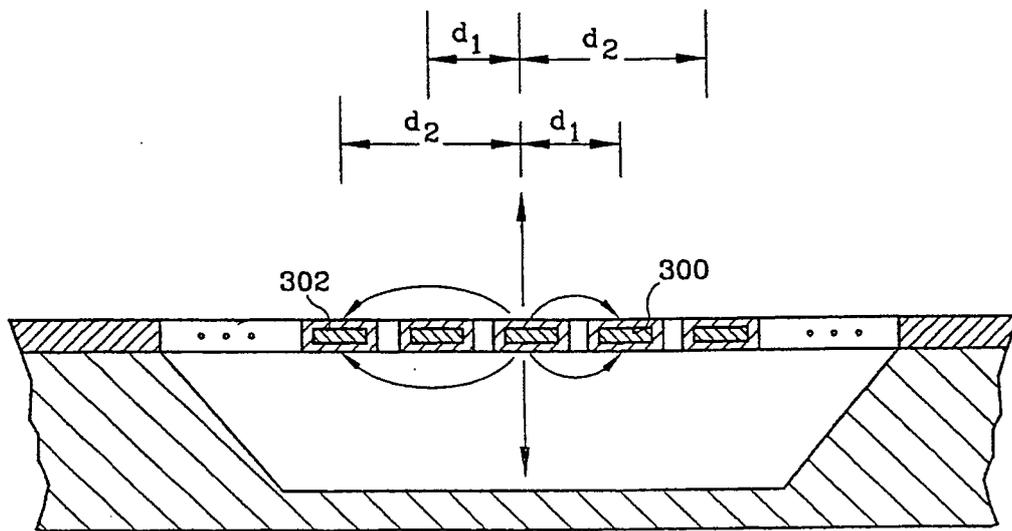


Fig. 8

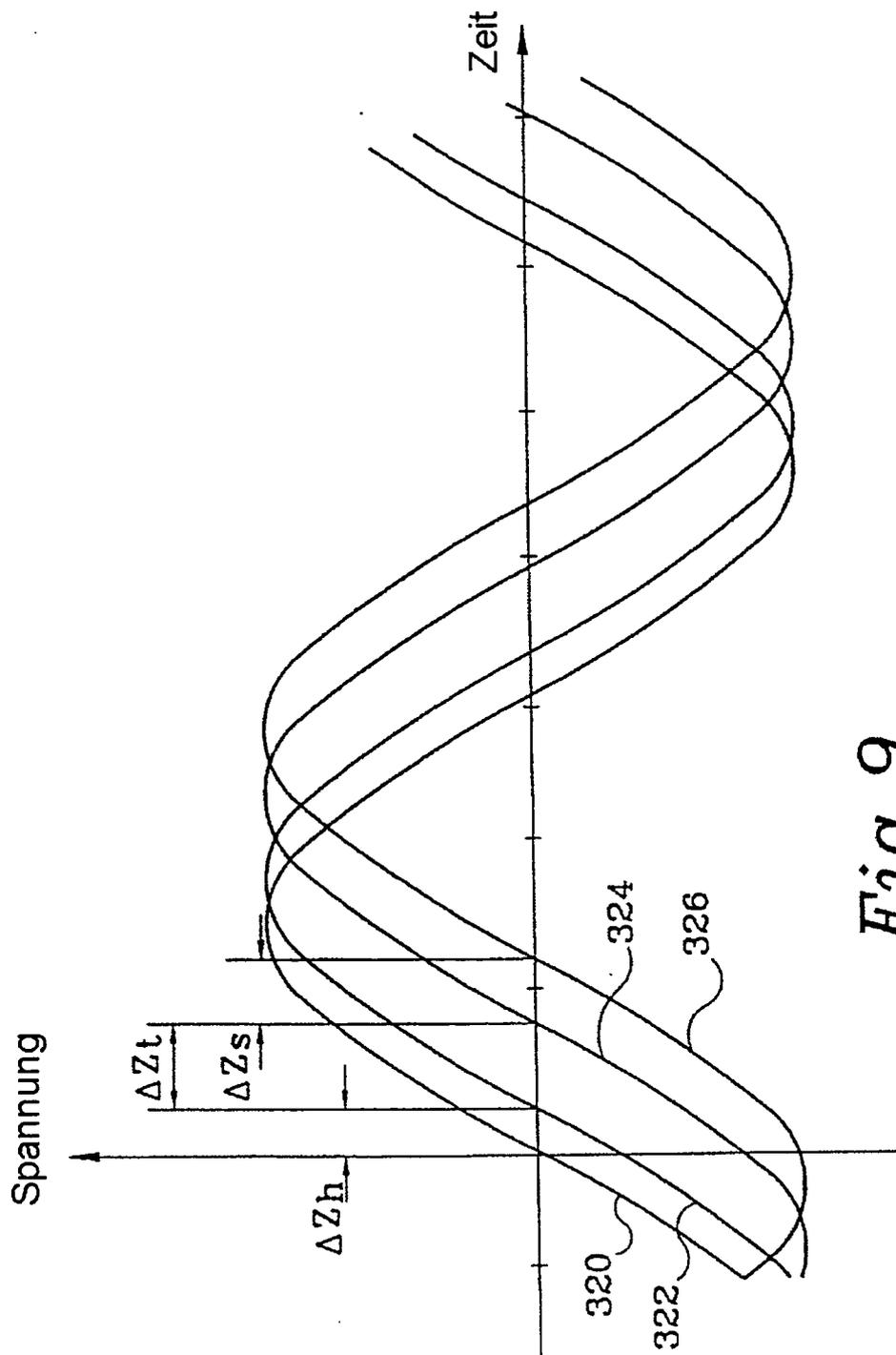
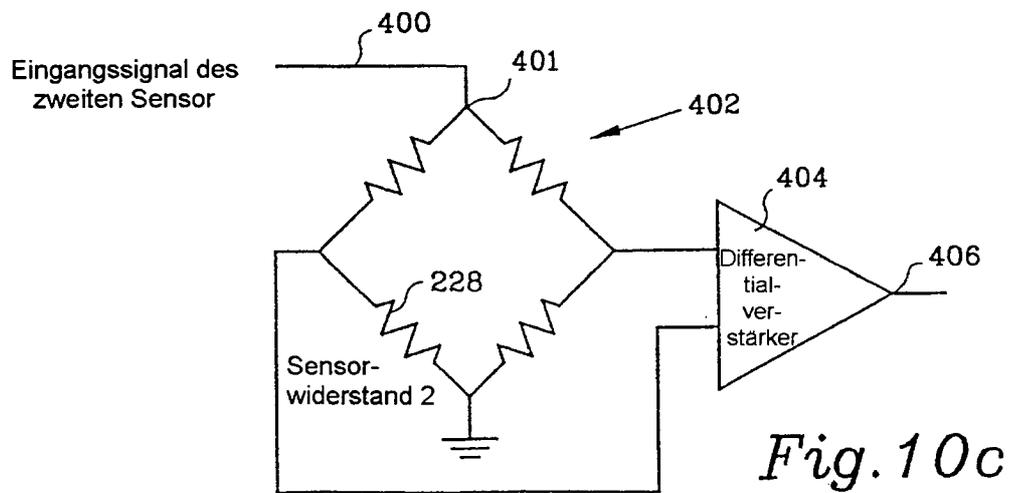
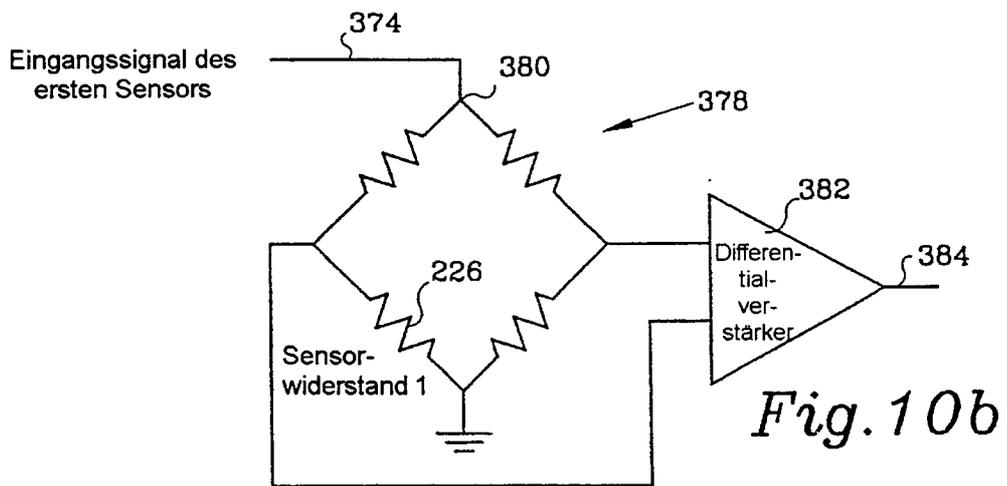
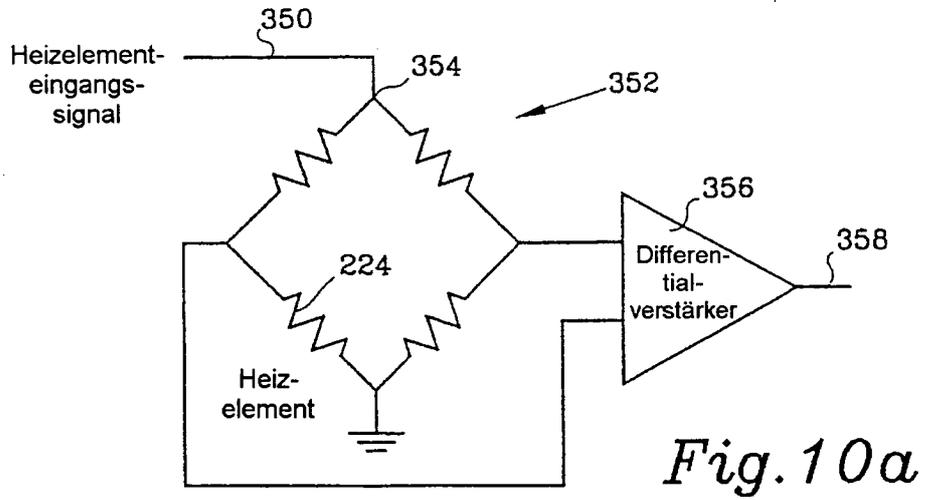


Fig. 9



FIGUR 11a
FIGUR 11b

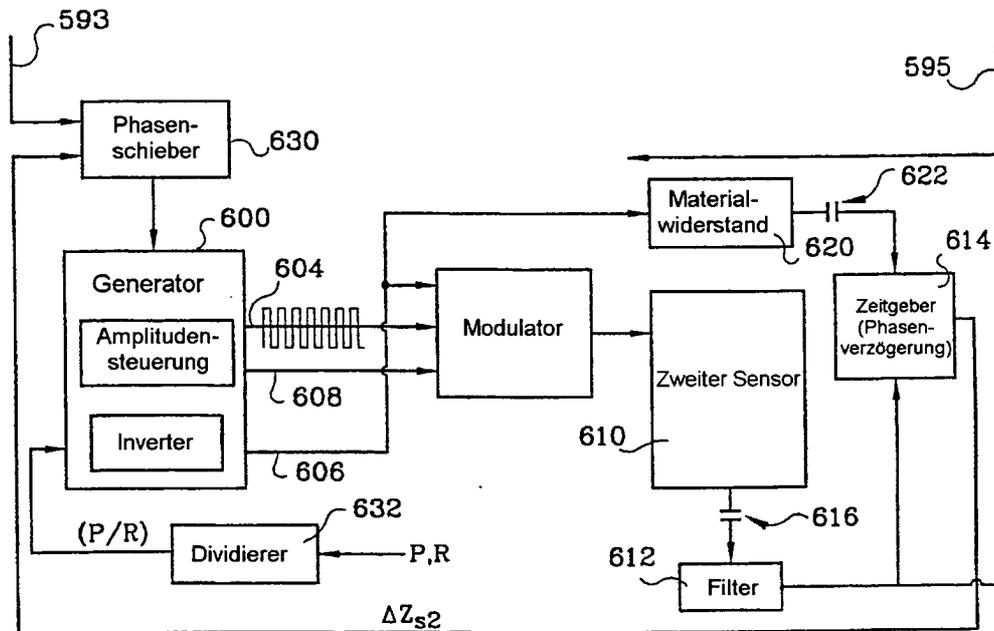


Fig. 11b

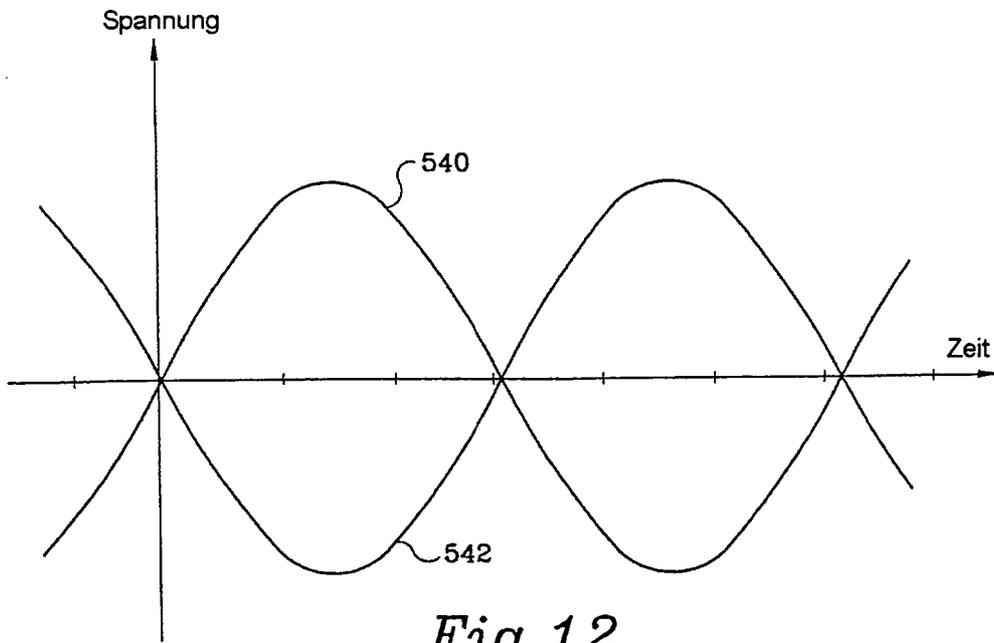


Fig. 12

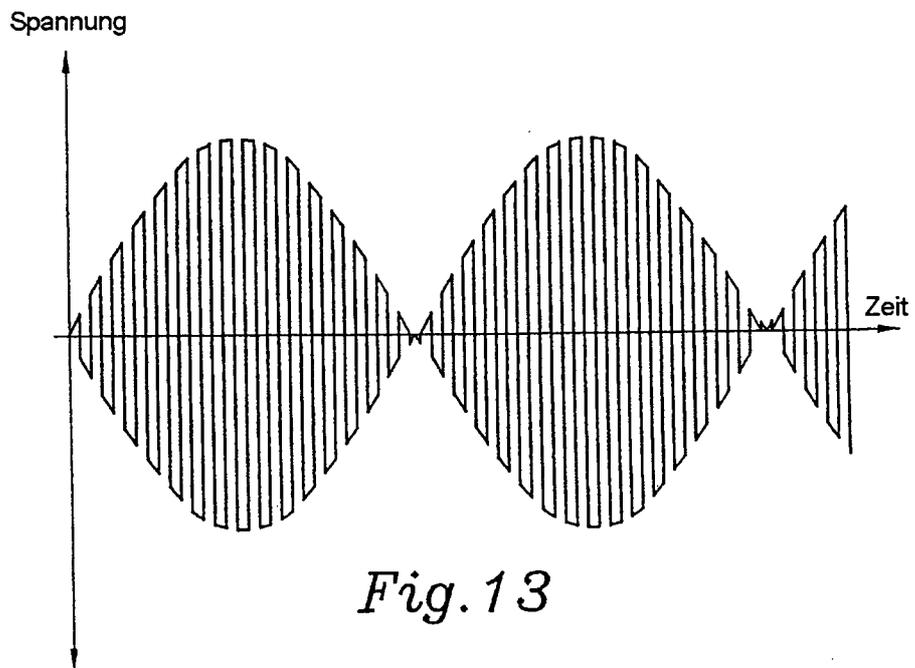


Fig. 13

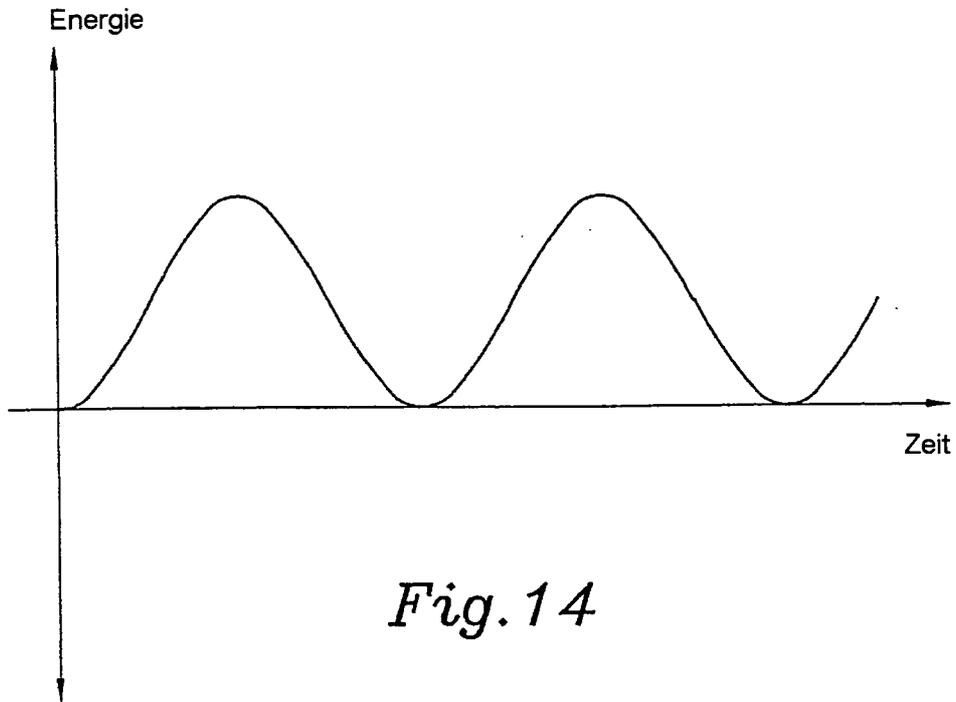


Fig. 14

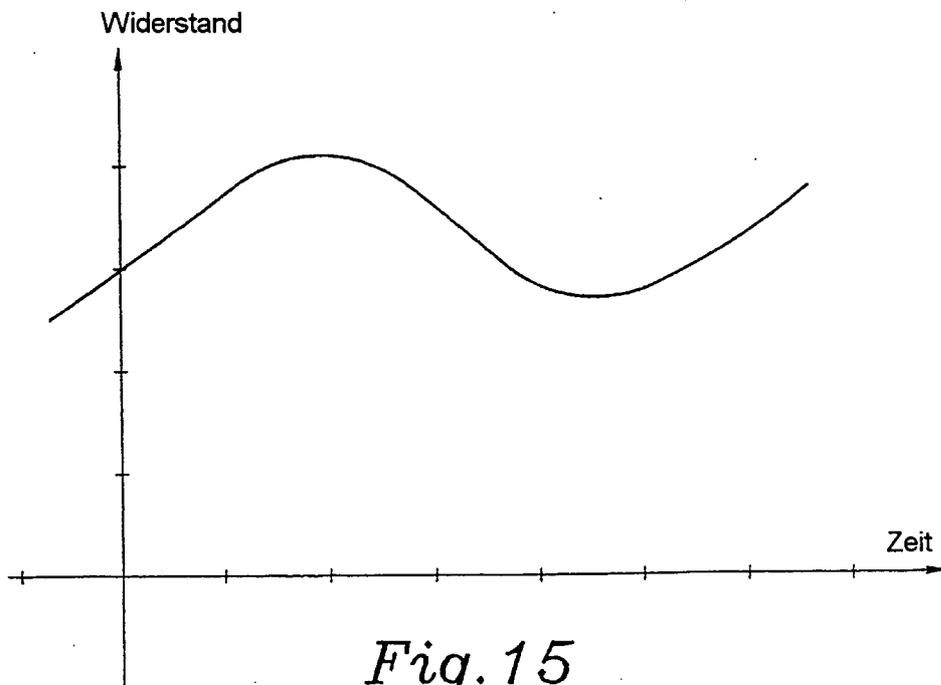


Fig. 15

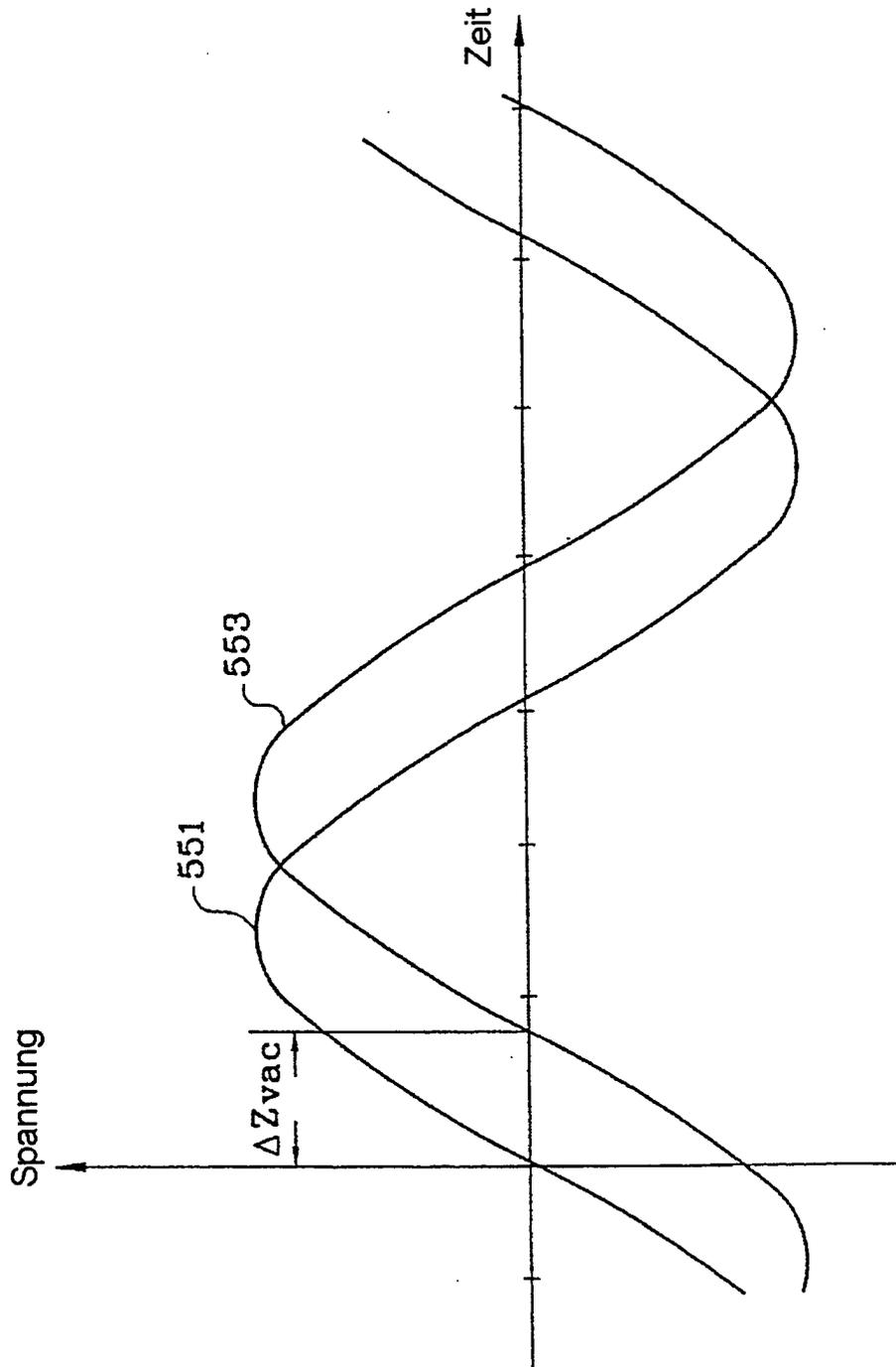


Fig. 16

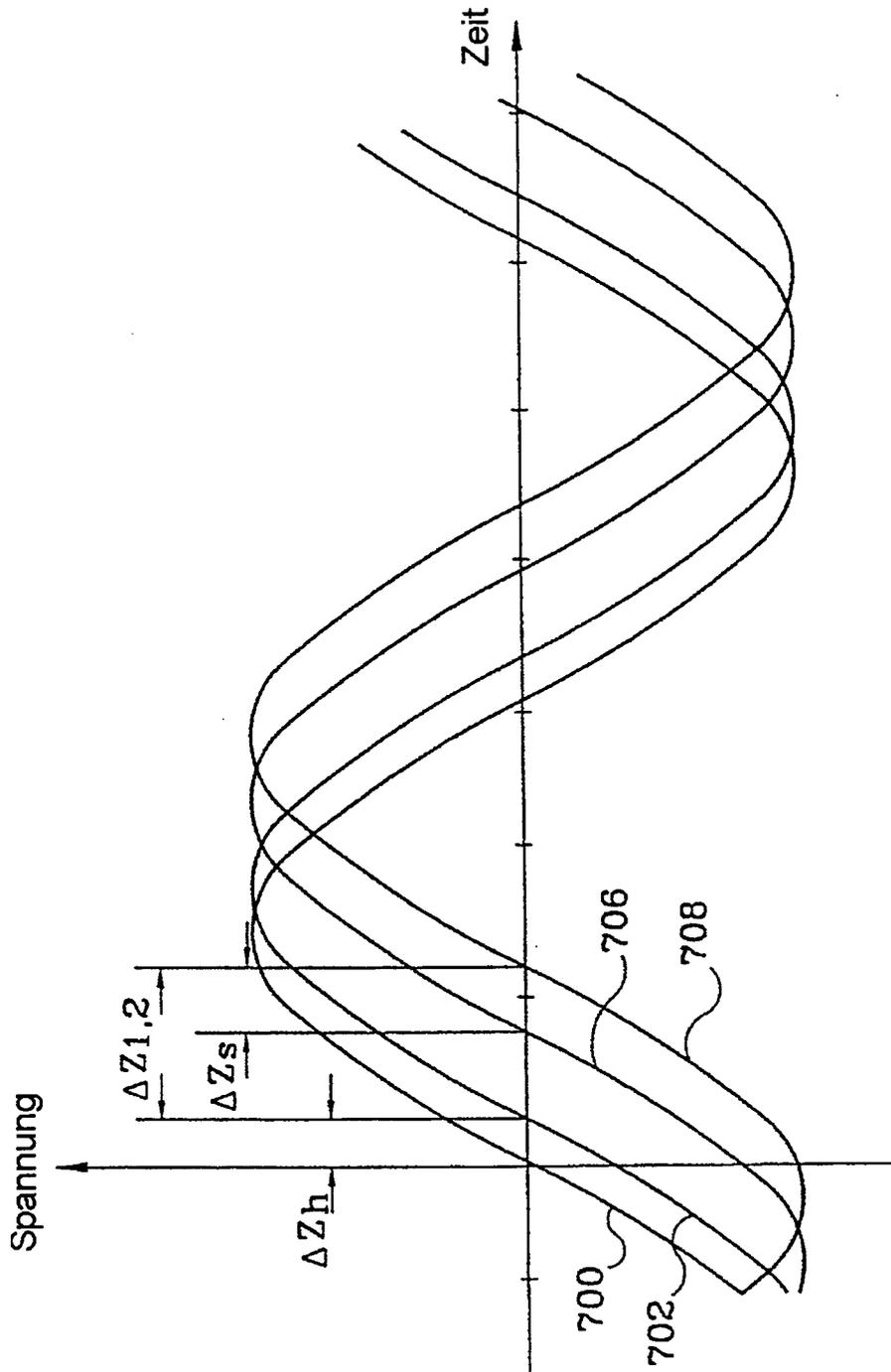


Fig. 17

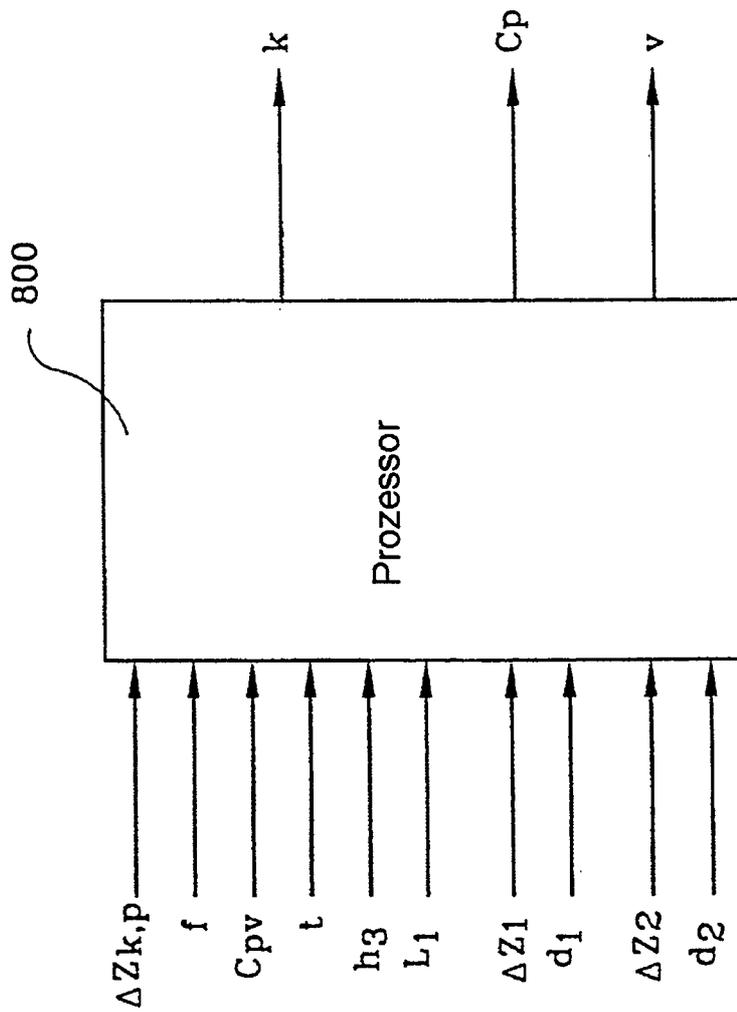


Fig. 18

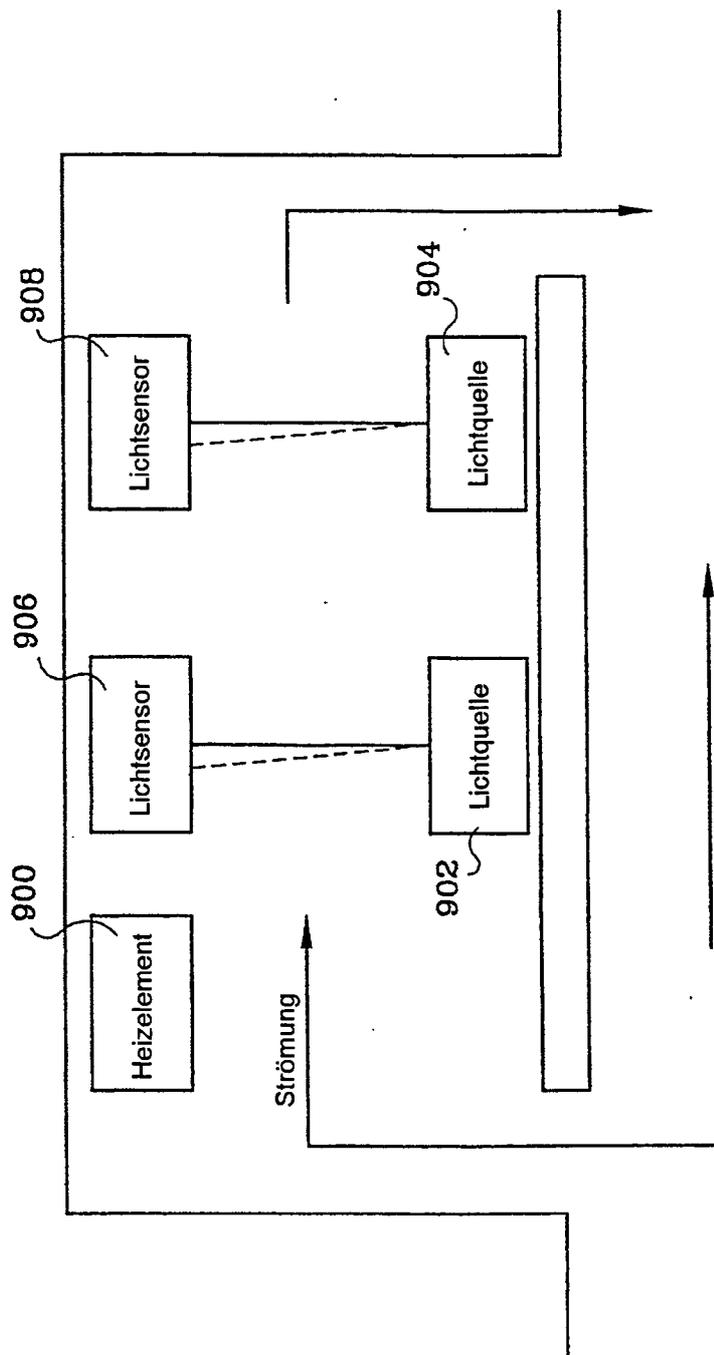


Fig. 19

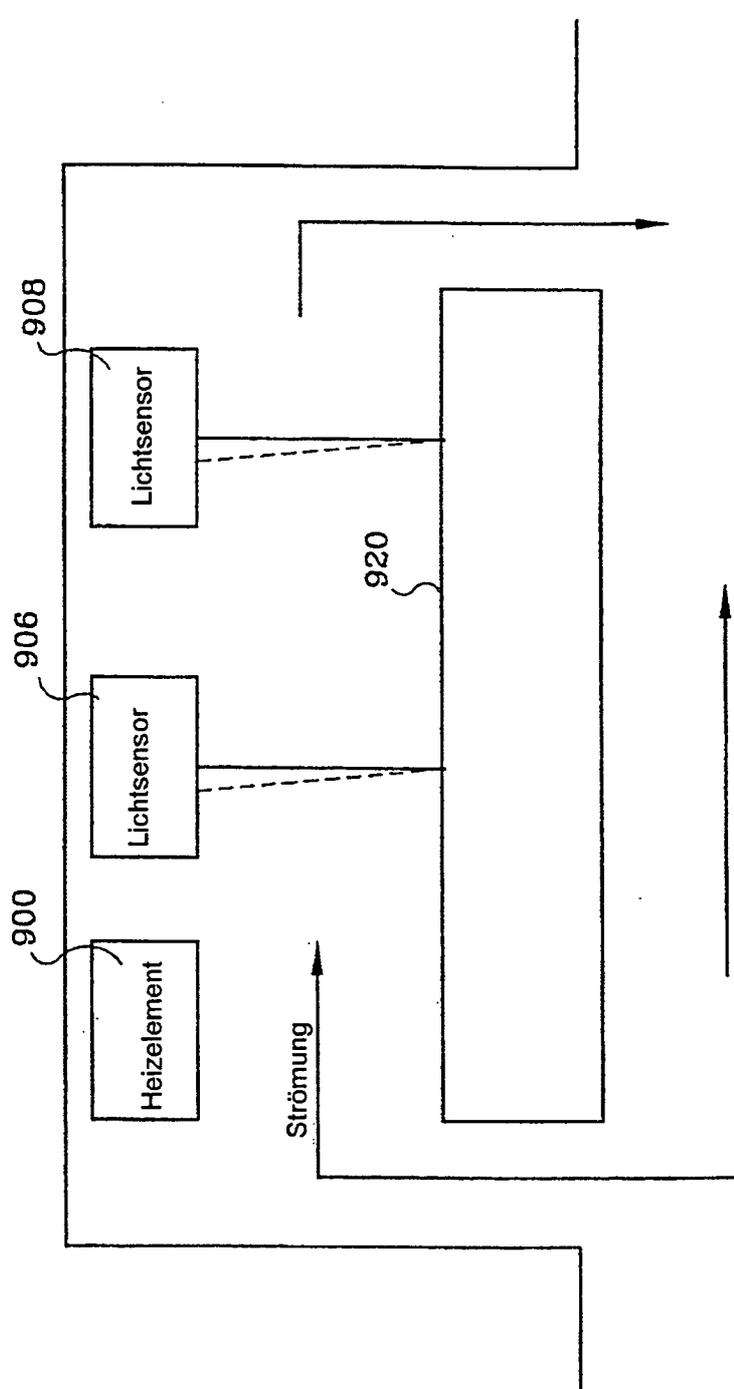


Fig. 20