



Republik  
Österreich  
Patentamt

(19)

(11) Nummer: AT 404 758 B

(12)

# PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1513/93

(51) Int.Cl.<sup>6</sup> : G01F 1/68

(22) Anmelddatum: 29. 7.1993

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 6.1998

(45) Ausgabetag: 25. 2.1999

(56) Entgegenhaltungen:

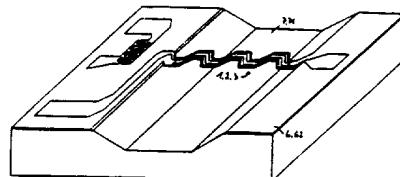
EP 330105A2 EP 375399A2 US 4891977A US 5056362A  
US 5205170A US 5231877A

(73) Patentinhaber:

URBAN GERALD DIPL.ING. DR.  
A-1020 WIEN (AT).  
KOHL FRANZ DR.  
A-2345 BRUNN/GBIRGE, NIEDERÖSTERREICH (AT).

## (54) MINIATUR-SONDE, VERFAHREN ZU IHRER HERSTELLUNG UND DEREN VERWENDUNG

(57) Die Erfindung betrifft eine miniaturisierte Halbleiter-sonde zur Erfassung von thermophysikalischen Kenndaten in fluiden Medien mit mindestens einer in einem Sondenkörper angeordneten, das Medium aufnehmenden Meßzelle, in welcher mindestens ein mit dem Medium in Berührung kommendes elektrisch/thermisches Emitter/Absorber/Sensor-(Em/Ab/Se)-Sondenelement angeordnet ist, und Einrichtungen zur Ver/Entsorgung der Meßzelle mit Medium und der Thermo-Emitter/Absorber/Sensor-Elemente mit Energie sowie solchen zur Steuerung, Regelung, Meßdaten-Erfassung und/oder -Verarbeitung, wobei das Sondenelement als in der Meßzelle (7) allseitig frei vom Fluid umspülte angeordnetes, vorzugsweise brückenartiges, Stegelement (312) ausgebildet ist, und es ist vorgesehen, daß das Stegelement (312) mit mindestens einem, auf mindestens einen schichtförmigen Träger (3) aus einem Isolatormaterial schichtartig aufgebrachten Thermo-Emitter/Absorber/Sensor (Em/Ab/Se)-Element (1) auf Basis eines Halbleitermaterials gebildet ist. Sie betrifft weiters die Herstellung und Verwendung der Sonde.



B  
AT 404 758

Die vorliegende Erfindung betrifft eine miniaturisierte Halbleitersonde zur Erfassung von thermophysikalischen Kenndaten und/oder daraus abgeleiteten Kenndaten in bzw. von, insbesondere strömenden, fluiden Medien mit mindestens einer(m) in einem Sondenkörper angeordneten, das Medium aufnehmenden bzw. von demselben durchströmbaren Meßzelle bzw. Meßkanal, in welcher(m) mindestens ein mit dem Medium in Berührung kommendes elektrisch/thermisches Emitter/Absorber/Sensor(Em/Ab/Se)-Sondenelement angeordnet ist, und Einrichtungen zur Ver/Entsorgung der Meßzelle mit Medium und der Thermo-Emitter/Absorber/Sensor-Elemente mit Energie sowie solchen zur Steuerung, Regelung, Meßdaten-Erfassung, -Umwandlung und/oder -Verarbeitung, wobei das Sondenelement als in der Meßzelle bzw. im Meßkanal allseitig frei vom Fluid umgeben bzw. umspült angeordnetes, vorzugsweise brückenartiges, Stegelement ausgebildet ist, Verfahren zu ihrer Herstellung sowie ihre Verwendung.

Aus Vereinfachungsgründen wird im folgenden anstatt "elektrisch/thermischem Emitter-Element" öfter der Ausdruck "Thermo-Emitter-Element" oder bloß "Emitter-Element" verwendet.

Bisher publizierte Varianten von mikromechanisch miniaturisierten, thermischen Sensoren, insbesondere Flußsensoren, zeichnen sich vor allem durch relativ kurze Ansprechzeiten, Robustheit, chemische Beständigkeit sowie Kompatibilität mit gängigen Technologien der Mikroelektronik und daraus resultierende Integrierbarkeit mit üblichen elektronischen Schaltkreisen zur Signalaufbereitung, aus. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz dieser Sensorkonstruktion im Falle der Integration mit gleichfalls mikromechanisch miniaturisierten Aktuatoren (Ventilen). Auf diese Weise sind Flußregler mit außerordentlich guten dynamischen Eigenschaften realisierbar. Es wird dazu insbesondere auf die Publikation von Masayosi Esashi, "Integrated Micro Flow Control Systems", Sensors and Actuators A21-A23 (1990) 161-167 hingewiesen.

Bei bekannten Thermo-Sonden sind Wärmeenergie-Emitter und -Sensoren an mindestens eine Wand bzw. ein Wandelement, z.B. aus Glas, einer bzw. eines jeweiligen Meßzelle oder Durchflußkanals gebunden und können daher praktisch nur über eine ihrer Flächen mit einem zu untersuchenden, z.B. einem frei strömenden Fluid in Berührung kommen.

Nachteile dieser bekannten Thermo-Emitter-Sensoren sind daher die bloß einseitig mögliche Abgabe bzw. Aufnahme von Wärmeenergie an das bzw. vom fluide(n) Medium und zwar bloß an dessen bzw. aus dessen wandnahe(n) Volumanteile(n), während ein Teil der Energie in den Zellen- bzw. Kanalkörper "abwandert" und damit, wenn selbstverständlich geringfügig, die bzw. den Sensor-Umgebung bzw. -Nahbereich störend beeinflussen kann.

In gleicher Weise verändert bzw. "verschmiert" sich auch die Ansprechcharakteristik eines z.B. im Abstand von einem Thermo-Emitter angeordneten, also z.B. eines stromabwärts desselben vorgesehenen, Thermo-Sensors. Um diese Nachteile teilweise auszugleichen, müssen höhere Wärmemengen in das Fluid eingebracht werden, was sich insbesondere auf biologische bzw. wärmeempfindliche biologische Fluide ungünstig auswirken kann.

Zur Erreichung einer Minimierung des Leistungsbedarfes bzw. der erforderlichen Übertemperaturen für die thermische Messung, z.B. für Flußmessungen an thermisch empfindlichen, biologischen Medien oder Flüssigkeiten nahe dem Siedepunkt wurde versucht, mittels moderner Bedampfungs- und Ätztechnologie sowie "Micromachining" Sonden zu schaffen, deren Energie-Emitter oder -Absorber und -Sensoren bei geringer Eigenmasse und "Trägheit" und geringer "Anbindung" an den die Meßzelle beherbergenden Sondenkörper hohen Kontakt mit dem fluiden Medium haben. Bei solchen Zellen sind die Sondenelemente in der Meßzelle räumlich frei vom Fluidmedium umspülbar angeordnet. Beispielsweise sind sie als die Zelle zwischen einander gegenüberliegenden Wandelementen frei durchsetzende Stegelemente ausgebildet.

Als thermische Emitter sind hiebei Elemente auf Basis von elektrischen Heizwiderständen zu nennen, als Thermo-Absorber- bzw. -Sensor-Elemente kommen Thermoelemente und insbesondere Widerstands-Thermometer bzw. Thermistoren in Frage.

Bei den bekanntgewordenen Stegelementen sind die Schichten für die Thermoemission und jene für die Temperaturmessung mit metallischem Material gebildet, wobei z.B. durch Einstellung der Schichtdicke ein gewünschter, optimaler Widerstandsbereich gewährleistet werden soll.

Nachteile dieser bekannten Sonden mit stegartigen Sensorelementen sind jedoch die relativ hohe Leitfähigkeit metallischer Widerstandsschichten, welche beispielsweise höhere Energieeinbringung erfordern, und weiters die relativ geringen Änderungen der elektrischen Meßgrößen bei Temperaturänderungen, daneben auch eine praktisch nur durch den Stegräger bewirkte, relativ geringe mechanische Stabilität. In den im folgenden genannten Druckschriften sind verschiedene Ausführungsformen der in Rede stehenden Sonden beschrieben, jedoch sehen die diesen Schriften entnehmbaren technischen Lösungen mit einer einzigen Ausnahme Thermo-Emitter- und/oder -Sensor-Elemente auf Basis von echten elektrischen Leitern vor. So sind die konkret ausgeführten Emitter/Sensoren gemäß EP-330 105 A2 durch dünne Schichten aus selektiv ätzbaren Materialien, wie Fe-Ni, Ti-W, Cr, Al gebildet, jene gemäß US-5 205 170 A mit elektrisch leitfähigem Material aus der Gruppe Ta, Pt, Pd, Ni und Nickellegierungen, jene gemäß US-4 891 977 A mit

Au, Cr, Ti-W, Ni-Fe, jene gemäß US-5 056 263 A z.B. mit Gold-Metallisierung und schließlich der Emitter/Sensor gemäß EP-375 399 A2 mit einem Platin-Element.

- Nachteil solcher Sensoren auf Basis von Leitermaterialien sind deren geringer spezifischer Widerstand und "flachen" Temperatur-Widerstands-Verlauf. Sie erfordern daher entweder relativ große bzw. lange 5 Widerstandsstrecken mit ungünstigen Volums/Flächenrelationen oder äußerst geringen, teilweise dann nicht mehr voll reproduzierbar zu fertigenden Materialstärken, wobei dann der ebenfalls ungünstige Einsatz erhöhter Nutzleistungen noch zu berücksichtigen ist.

- Hinsichtlich der Sensorelemente interessant ist das Festkörper-Mikroanemometer gemäß US-5 231 877 A.  
10 Dort ist ein in einer Vertiefung eines Trägerbrückenelementes angeordnetes - nicht frei umspülbares Sensorelement - durch in-situ-dotiertes Halbleitermaterial, welches - allgemein gesehen - auch als Emitter/Sensorelement-Material vorgesehen ist, gebildet.

- Die gewünschten Eigenschaftswerte werden gemäß dieser US-A durch Mikromachining bzw. Ätzen, also durch besonders aufwendig gesteuerten Materialabtrag bis zur Erzielung jeweils angestrebter Eigenschaftswerte erreicht.  
15

- Die Erfindung hat sich nun die Aufgabe gestellt, unter grundsätzlicher Beibehaltung der Bauweise der eingangs beschriebenen Sonden, Temperatur- sowie Temperatur- und Wärme bzw. Materialfluß-Sonden zu schaffen, welche die Nachteile der bisher bekannt gewordenen Sonden nicht aufweisen und bei weiter vorangetriebener, extremer Miniaturisierung selbst bei geringen Temperaturänderungen eine möglichst 20 hohe Änderung der von der Sonde gelieferten Signale bzw. Meßwerte, insbesondere Temperaturmeßwerte, liefern können. Es sollte also eine Miniatursonde mit hoher Empfindlichkeit, Genauigkeit, Reproduzierbarkeit, Kleinheit und mechanischer Robustheit geschaffen werden. Weiters sollen für in ruhenden und strömenden Fluiden einsetzbare Sonden vorgesehene Sensorelemente auf Basis einer auf das Trägermaterial aufgebrachten, gleich beim Auftrag gezielt dimensionierten Schicht eines zusammensetzungs- und 25 modifikationsmäßig definierten Halbleitermaterials zum Einsatz kommen, da, wie sich zeigte, derartige Schicht-Sensorelemente sich infolge der wesentlich verbesserten Möglichkeiten bei der Steuerung des Herstellungsprozesses mit äußerst geringen Charakteristik-Bandbreiten herstellen lassen, was gegenüber den oben erläuterten, durch technisch aufwendigen und nicht optimal steuerbaren Materialabtrag erhältlichen Sensorelementen gemäß US-5 231 877 A einen wesentlichen Vorteil darstellt.

- 30 Gegenüber den weiter oben behandelten, aus dem Stand der Technik bekannten, Sensorelementen auf Basis von elektrischen, also metallischen, Leitern sollen bei der neuen Sonde weiters auch Robustheit, kompakte Bauform und hohe Gebrauchssicherheit gegeben sein.

- Die genannten Aufgaben werden bei einer Sonde der eingangs genannten Art in der Weise gelöst, daß das, gegebenenfalls in Mehrzahl vorhandene, Stegelement mit mindestens einem, auf mindestens einen 35 schichtförmigen Träger aus einem Isolatormaterial schichtartig aufgebrachten, insbesondere aufgedampften, Thermo-Emitter/Absorber/Sensor-Element auf Basis eines Halbleitermaterials gebildet ist.

- Bei dem neuen Sondentyp ist sowohl die Integration des Emitter/Sensor-Elementes in das Ensemble von Meßzelle und dieselbe enthaltendem Körper als auch die thermische Trennung mehrerer Temperatur-Sensoren, insbesondere geringer Dimension, z.B. bei Anordnung als jeweils einen Thermo-Emitter umgebende, voneinander bevorzugt minimal beabstandete Sensoren in Form von "Sensor-Arrays", ermöglicht.  
40

- Zusammen mit der günstigen Konzeption von räumlich freien Stegen ist gegenüber allen bisher bekannten Lösungen die Signal-Eigen-Charakteristik der Emitter und Sensoren wesentlich verbessert, und es eröffnen sich neue Anwendungsbereiche der Thermosensorik. Es wird selbstverständlich eine hohe 45 thermische Kopplung des Sensors an das Meßmedium bei gleichzeitiger Verringerung der thermischen Kopplung von Thermistor und makroskopischem Substrat (z.B. Si-Wafer) und eine entscheidende Verminde-  
50 rung der relevanten Wärmekapazitäten erreicht. Die Größe des Halbleiter-Widerstands ermöglicht auch eine erfolgreiche weitergehende Miniaturisierung des Thermistorträgers. Da die Widerstandswerte der Halbleiter-Sensorschicht im Vergleich zu den bisher verwendeten Widerstandsmetallen hoch sind, und damit die Dicke der aufgedampften Sensor- bzw. auch Emitterschicht höher sein kann, ist es möglich, daß dieselbe zusammen mit dem Stegelement-Träger eine Art- die mechanische Stabilität wesentlich erhöhen-  
der - Sandwich-Effekt bildet.

- Die Dünnschicht-thermophysikalischen Elemente auf Halbleiterbasis sind an der Oberseite und der Unterseite des Steges vom Meßmedium umgeben, also thermisch eng an das Meßmedium gekoppelt. Dies bringt die besonderen Vorteile infolge der höheren Empfindlichkeit, insbesondere bei Gasen, mit sich.  
55

- Was die Miniaturisierung betrifft, seien als problemlos erreichbare Dimensionen des Meßzellen- bzw. Kanal-Querschnittes die Maße 0,9 x 0,3 mm<sup>2</sup>, für ein Stegelement eine Breite von bis etwa 15 µm bei einer Materialstärke von insgesamt bis 10 µm beispielsweise genannt, wobei der Träger desselben z.B. nur etwa bis zu 3 µm Materialstärke aufweisen kann. Die Durchflußmengen betragen z.B. bei 0,3 mm<sup>2</sup> Kanalquer-

schnittsfläche bis zu 4 l/h flüssigen Mediums niedriger Viskosität, was einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 4 m/s entspricht. Selbst bei diesen hohen Strömungsgeschwindigkeiten sind überraschenderweise keine Beeinträchtigungen der mikromechanischen Struktur zu beobachten und auch dynamische Laständerungen, z.B. durch eingeschlossene Gasblasen führen zu keiner Störung oder gar Zerstörung der mikromechanischen Struktur, womit eine hohe Signaltreue bei unterschiedlichen Belastungen gewährleistet ist.

Typische Werte für die in den neuen Sonden einzusetzenden - etwa nur 10% der für die bisher bekannten Sonden notwendigen - Leistungen sind bei gasförmigen und flüssigen Medien etwa  $10^{-2}$  bis  $10^{-3}$  mW. Typische Werte für die elektrische Versorgung der Emitter sind etwa 100  $\mu$ A und 20V.

Die Stegelemente können in bevorzugter Weise als echte Brücken, aber weiters auch als in die Zelle ragende "Brücken-Torsi" und weiters als mit beiden ihrer Enden vom gleichen Wandelement ausgehende, in das Kanal-Innere ragende, sich in Kanalrichtung erstreckende, etwa balkonartige "Klammer"-Elemente, eventuell auch mit etwa trapezförmiger oder dreieckiger Gestalt ausgebildet sein. Vorteil dieser letztgenannten Stegelement-Variante kann es sein, daß an gleicher Position, bezogen auf die Längserstreckung eines Meßkanals, zwei Stegelemente nebeneinander angeordnet sein können, was für etwaige Querdiffusionsmessungen, z.B. in strömenden Medien von Vorteil sein kann.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist gemäß **Anspruch 2** vorgesehen, daß die neue Sonde ein mit einem dotierten Reinstoff-Halbleiter, insbesondere amorphem Germanium oder amorphem Silicium, oder einem Verbindungs-Halbleiter, insbesondere Siliciumcarbid oder einem III/V-Halbleiter, z.B. Gallium- oder Indiumarsenid, gebildetes Thermo-Emitter- und/oder -Sensor-Element aufweist.

Infolge des an sich hohen Absolutwertes und der hohen Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstandes hat sich das amorphe Germanium, im folgenden mit der Abkürzung "a-Ge" bezeichnet, für die Herstellung der örtlich konzentrierten Heizwiderstände und für eine gleichzeitige, hochauflösende Temperaturmessung als besonders geeignet erwiesen.

Der Einsatz dieses Materials bringt den Vorteil einer direkten, unmittelbaren Kontrollmöglichkeit der Temperatur des Heizelements, denn dessen Temperatur kann ohne Hilfe eines weiteren - notwendigerweise beabstandeten - Temperatursensors direkt aus dem Momentanwert des elektrischen Widerstands des Heizelementes selbst ermittelt und gegebenenfalls, insbesondere durch Variation der Nutzleistung, auch geregelt werden. Für die Zufuhr des niedrigen Heizstromes genügen sehr feine metallische Leiterbahnen, die den Vorteil einer minimalen Wärmeableitung haben.

Die für den Betrieb einer Durchfluß-Sonde notwendige Erwärmung des Heizelementes aus einem Halbleitermaterial, und besonders aus a-Ge, beträgt typisch nur wenige Kelvin, die Erwärmung des Mediums bleibt dabei in der Regel unter 1 Kelvin. Die erforderliche elektrische Leistung hängt bei dem neuen Thermistor-Material natürlich stark von der Wärmeleitfähigkeit des Meßmediums ab und beträgt nach der experimentellen Erfahrung in Gasen maximal etwa 1 W je  $\text{cm}^2$  geheizter Fläche, in Flüssigkeiten typischerweise etwa 4 W/ $\text{cm}^2$  (Bezugsfläche ist hiebei die Oberfläche der Stege mit ca. 0,2  $\text{mm}^2$ ). Bei gasförmigen Fluiden beträgt die Übertemperatur im Zentrum des Heizelementes typischerweise etwa 5K.

Wenn gemäß **Anspruch 3** an das einzelne, auf den Träger schichtartig aufgebrachte Thermo-Em/Ab/Se-Element aus Halbleitermaterial im Bereich mindestens eines seiner Längsränder, vorzugsweise beider einander gegenüberliegender Längsränder, insbesondere schichtartige, Energie/Steuer/Daten-Leiterelemente gebunden, bevorzugt auf das Element aufgedampft, sind, so ist der Vorzug einer integralen Verbindung von Zu- und/oder Ableitung und energieverbrauchendem bzw. datenabgebendem Element ohne Übergangsverluste sichergestellt.

Wenn - wie gemäß **Anspruch 4** vorgesehen - die Konturen der Stegelemente bzw. deren Träger, Thermo-Em/Ab/Se-Elemente und Energie/Steuer/Daten-Leiterelemente der Kristallstruktur bzw. dem Kristallgrenzenverlauf des Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körpers bzw. seines Unterteiles entsprechend mäanderartig ausgebildet sind, ist der besondere Vorteil gegeben, daß eine Ausbildung von unerwünschten Ätzstop-Flächen bei der Herstellung der neuartigen Stegelemente unterbunden wird; daneben erfolgt eine Erhöhung von deren Gesamtlänge, bzw. Gesamtfläche, die zum Energieübergang Fluid/Stegelement und/oder invers zur Verfügung steht.

Ein aus produktionstechnischer Sicht und aus Gründen einer hochwirksamen Passivierung beim Ätzen sowie der Isolatorwirkung besonders hervorragendes Material für die Träger der Stegelemente stellt, wie gefunden wurde, und aus **Anspruch 5** hervorgeht, Siliziumnitrid ( $\text{SiN}_x$ ) und insbesondere Niedertemperatur- $\text{SiN}_x$  oder Siliziumoxinitrid ( $\text{SiO}_x\text{N}_y$ ) dar.

Besonders intensive, verlustarme thermische Kopplung von Heiz- bzw. Sensorelement und fluidem Medium läßt sich gemäß **Anspruch 6** mit den durch die Erfindung ermöglichten, besonders dünnen, bevorzugt mäanderartig ausgebildeten Stegteilen erreichen, wobei die Träger derselben dann eine Materialstärke von etwa 1 bis 10  $\mu\text{m}$ , insbesondere von etwa 3 bis 7  $\mu\text{m}$ , aufweisen sollen.

Die Breite der Stege ist bereits im Rahmen der jeweils angewandten Technologie minimiert. Typische Bereiche der Breiten der, bevorzugt mäanderartig ausgebildeten, Stegelemente sind im **Anspruch 7** wiedergegeben, sie haben Werte von zwischen 10 und 120  $\mu\text{m}$ , insbesondere von 60 bis 70  $\mu\text{m}$ .

Nicht nur aus produktionsökonomischen Gründen, sondern auch wegen der anschlußfreien, integralen 5 und daher mechanisch hoch beanspruchbaren Einstückigkeit ist eine Ausbildung der Stegelemente gemäß **Anspruch 8** von besonderem Vorteil; sie zeichnet sich dadurch aus, daß die Träger der Stegelemente mit im wesentlichen gleicher Materialstärke aufweisenden, schichtartigen, insbesondere durch Aufdampfen gebildeten, Zonen des Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körpers bzw. von dessen Unterteil materialidentisch, insbesondere mit den genannten Zonen materialident einstückig, verbunden sind.

10 Für die neuen, für genaue Messungen sowohl in unbewegten als auch in strömenden Fluidmedien besonders geeigneten Sonden sind besonders bevorzugte Kennwerte von deren Thermo-Emitter/Absorber/Sensor-Elementen in den **Ansprüchen 9** und **10** genannt: So sind Sonden bevorzugt, welche Thermo-Emitter-Absorber-Sensor Elemente mit Widerstandswerten von jeweils etwa 10 bis 500 kOhm, insbesondere von etwa 100 bis 300 kOhm, (bei 20 °C) aufweisen und weiters solche, die Thermo-Emitter/Absorber/Sensor-Elemente mit einer Empfindlichkeit der Widerstandsänderung mit der Temperatur 15 von mindestens 1 %/K, vorzugsweise von mindestens 2%/K, aufweisen.

Eine besonders günstige Anbindung der Leiterelemente an die Heiz- und Sensor-Elemente sowie eine nahezu verlustfreie Führung von Energie und Daten ist durch eine Bauweise bevorzugter Art gemäß 20 **Anspruch 11** gewährleistet, welche vorsieht, daß die Energie/Steuer/Daten-Leiterelemente mit mindestens einem schichtförmig aufgebrachten, insbesondere aufgedampften, Metallmaterial, gebildet sind.

Besonders bevorzugt ist es gemäß **Anspruch 12**, wenn die Energie/Steuer/Daten-Leiterelemente mit der Schichtfolge Titan-Gold(Silber)-Titan mit Schichtdicken des Titans von jeweils etwa 20 bis 40 nm und des Goldes von etwa 80 bis 120 nm, gebildet sind. Hierbei dient das Titan als Diffusionsbarriere, Gold kann zumindest teilweise durch Silber ersetzt sein.

25 Bei einer besonderen, integralen Ausbildungsform der Energie/Steuer/Daten-Leiterelemente und ihren Zu- und Ableitungen gemäß **Anspruch 13** ist der Vorteil des Wegfallens jeglicher Kontakt-Übergangsverluste gegeben: Sie sind dadurch gekennzeichnet, daß sie mit ihren, im Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körper angeordneten bzw. geführten, insbesondere am Meßzellen- bzw. Kanal-Körper-Unterteil aufgebrachten Energie-, Steuer-, Daten- Zu- und Ableitungen materialident einstückig ausgebildet sind.

30 Insbesondere in Hinblick auf die Herstellungstechnologie und weiters auch auf Mediums-Inertheit, Robustheit, hohe Lebensdauer, hohe Eigenschaftsstabilität und minimierte Langzeitveränderungen ist einer Ausführungsform der Stegelemente gemäß **Anspruch 14** besonderer Vorzug zu geben, welche vorsieht, daß die an den mit dem Isoliermaterial, insbesondere SiN<sub>x</sub> bzw. Si(O<sub>u</sub>N<sub>v</sub>), gebildeten Träger gebundenen, insbesondere schichtartigen, Em/Ab/Se-Elemente und deren En/St/Da-Leiterelemente fluidmediumsdicht, 35 mit einem Isoliermaterial, bevorzugt mit dem gleichen Isoliermaterial wie der Träger, insbesondere mit Siliziumnitrid (SiN<sub>x</sub>) oder Siliciumoxinitrid Si(O<sub>u</sub>N<sub>v</sub>), beschichtet, bevorzugt von demselben umhüllt, sind. Die dünne SiN<sub>x</sub>- bzw. Si(O<sub>u</sub>N<sub>v</sub>)-Schicht schützt, hat aber infolge ihrer Grazilität einen vernachlässigbar geringen Einfluß auf die minimalen Energie-Austausch-Vorgänge.

Was nun die für die neuen Sonden im einzelnen besonders bevorzugten Kennwerte bezüglich örtlicher 40 und thermischer Auflösung, Ansprechzeiten, Verlustleistung, Genauigkeit und Stabilität von deren Stegelementen betrifft, so ist dazu besonders auf die Ausführungsformen und Dimensionierungen gemäß einem oder mehreren der folgenden **Ansprüche** zu verweisen:

45 So ist gemäß **Anspruch 15** vorgesehen, daß die neue Sonde mindestens ein Stegelement umfaßt, welches bei Thermo-Emission oder -Sensorik eine örtliche Auflösung von ab 10  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise von 50 bis 200  $\mu\text{m}$ , aufweist.

Nach einer weiteren Ausbildungsform gemäß **Anspruch 16** ist es vorteilhaft, wenn die neue Sonde mindestens ein Stegelement mit einer Temperatur-Auflösung von mindestens 0,25 mK, insbesondere von 0,1 mK, aufweist.

Des weiteren kann es - wie aus **Anspruch 17** hervorgeht-günstig sein, wenn die Sonde mindestens ein 50 Stegelement mit einer effektiven Ansprechzeit von höchstens 5 ms, vorzugsweise von maximal 3 ms, und einer thermischen Ansprechzeit von höchstens 0,5 ms, vorzugsweise von maximal 0,3 ms, aufweist.

Um die Einflüsse der Meßanordnung möglichst gering zu halten, ist es von Vorteil, wie dem **Anspruch 18** entnehmbar, dafür zu sorgen, daß die Sonde mindestens ein Stegelement mit einer Nutzleistung von weniger als 1 mW aufweist.

55 Der Forderung nach möglichst hoher Präzision kann gemäß **Anspruch 19** günstig nachgekommen werden, wenn die Sonde mindestens ein Stegelement umfaßt, das bei elektronischer Linearisierung der von ihm gelieferten Meßwerte bei Temperaturen im Bereich von 10 °C bis 60 °C eine Genauigkeit von 0,1 K aufweist.

Recht wichtig ist weiters oft die Langzeitreproduzierbarkeit der von den neuen Sonden gelieferten Meßdaten. Es ist daher von Vorteil, darauf zu achten, daß die Sonde, wie aus **Anspruch 20** hervorgeht, mindestens ein Stegelement mit einer Langzeitstabilität von besser als 1% Widerstandswert-Änderung pro Jahr aufweist.

- 5 Mit einer bevorzugten Anordnung von Heizelement und neben diesem bzw. um dieses herum angeordneten Thermo-Sensoren, z.B. Thermistoren, gemäß **Anspruch 21**, der also vorsieht, daß die Sonde mehrere, räumlich voneinander getrennt angeordnete Stegelemente aufweist, von welchen eines als - von einer Energieversorgungs- und Steuer-Einrichtung mit Heiz-Strom/Spannungs-Impulsen gewünschter Form und Höhe versorgbares - Thermo-Emissions- bzw. Heiz-Element und mindestens eines als im Abstand vom 10 genannten Heizelement im Meßkanal angeordnetes Thermo-Sensor-Element ausgebildet ist, können besonders präzise Wärme- und Mengenflußanalysen vorgenommen werden.

Wenn, wie gemäß **Anspruch 22** vorgesehen, eine Mehrzahl von Thermo-Sensorelementen zumindest einseitig, insbesondere beidseitig, vorzugsweise in Zahl und Abstand symmetrisch, vom Thermo-Emissions-Element - im wesentlichen ein Thermo-Sensor-"Array" bildend - im Meßkanal bzw. in der Meßzelle 15 angeordnet ist, ist sowohl eine richtungsabhängige Flußanzeige ermöglicht, als auch eine medienunabhängige Eichmöglichkeit des Durchflusses eines Fluids realisierbar. Bei gepulstem Heizbetrieb gelangt im fließenden Medium eine Temperaturwelle zu den hintereinander angeordneten Temperatur-Sensor-Arrays und bei ortsabhängiger Messung der Temperaturmaxima ist eine eindeutige Geschwindigkeitsmessung möglich. Bei Kenntnis der Dimension des Meßkanals ist somit eine medienunabhängige Volumen- 20 Durchflußmessung ermöglicht.

Bezüglich der Ausgestaltung und des Designs der Meßzellen bzw. Durchflußkanäle zusammen mit den sie durchsetzenden Stegelementen sind Kanalformen bzw. -querschnitte gemäß einem der im folgenden gleich erläuterten **Ansprüche 23** und/oder **25** und/oder eine Anordnung der Stegelemente gemäß **Anspruch 24** besonders bevorzugt.

25 Bevorzugt ist es demnach, wenn die Meßzelle bzw. der Meßkanal im wesentlichen rechteckigen oder quadratischen Querschnitt aufweist.

Weiters hat es sich als günstig erwiesen, wenn das jeweilige einzelne Stegelement im wesentlichen im Bereich der halben Meßzellen- oder Meßkanalhöhe angeordnet ist. Durch eine solche, etwa mittige Anordnung des Stegelementes sind Rand-Einflüsse auf ein Minimum zurückgedrängt.

30 Schließlich haben sich in der Praxis Dimensionen von Höhe und Breite der, bevorzugt rechteckigen, Meßzellen- bzw. Meßkanal-Querschnittsfläche von 0,1 bis 0,5 mm, bzw. von 0,5 bis 1,2 mm, insbesondere von etwa 0,3 bis 0,9 mm, bewährt.

Bei Dimensionen des Kanalquerschnittes von z.B. 0,9 mm Breite und etwa 0,3 mm Tiefe ist gewährleistet, daß niederviskose Flüssigkeiten bis zu einigen Litern/Stunde und Gase bis zu einigen Litern/Minute 35 ohne extreme Druckabfälle durch den Sensor gepumpt werden können. Die Kanaltiefe ist durch die gewählte Dauer des Ätzprozesses bei deren Herstellung steuerbar und kann jeweiligen Erfordernissen problemlos angepaßt werden.

Weitere Verbesserungen, insbesondere auch hinsichtlich einer Minimierung von Energieverlusten und geometrischen Veränderungen, bringt eine Meßzellen- bzw. -kanal-Auskleidung gemäß **Anspruch 26**, bei 40 weicher die Wände bzw. Wandelemente der Meßzelle bzw. des Meßkanals mit einem chemisch resistenten und/oder abrasionsfesten schlecht thermoleitenden Siliciumnitrid oder einem organischen Polymer beschichtet sind.

45 Im ähnlichen Sinn ist auch der Materialwahl für den Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körper gemäß **Anspruch 27** besonderer Vorzug zu geben, die im speziellen darin besteht, daß der Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körper mit einem mechanisch stabilen, chemisch-inerten, geringe elektrische und thermische Leitfähigkeit aufweisenden Material mit geringem, thermischem Ausdehnungs-Koeffizienten, bevorzugt mit einem Silicium-Einkristall- bzw. Silizium-Wafer-Material, gebildet ist. Vorteilhaft ist dabei eine mikrostrukturrell störungsfreie Homogenität des Silizium-Wafer-Materials.

Um auch - an sich aufgrund der neuen Bauweise, insbesondere in den vorher beschriebenen Varianten, 50 ohnehin schon äußerst minimierte - Außeneinflüsse auf das physikalische Geschehen in der Meßzelle bzw. im Meßkanal kompensatorisch ausschalten zu können, ist eine Kontrolleinrichtung gemäß **Anspruch 28** von Vorteil, die darin besteht, daß im Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körper, bevorzugt in räumlicher Nähe der Zelle bzw. des Kanals, mindestens ein Thermo-Sensor (ambient sensor) zur Erfassung der Sondenkörper-Temperatur angeordnet ist.

55 Um störungstechnisch unproblematische, realitätsnahe Bedingungen und Verhältnisse für die an sich äußerst subtilen und im Mikrobereich angesiedelten Messungen mit der neuen Sonde sicherzustellen, ist weiters eine Ausgestaltung des Meßzellen- bzw. Meßkanalkörpers mit einer Anström- und eventuell Ausström-Einrichtung gemäß **Anspruch 29** von besonderem Vorteil, wobei im einzelnen vorgesehen ist,

daß dem Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körper fluidmediumseitig und/oder -ausströmseitig Ein- und/oder Ausströmkörper zugeordnet sind und weiters eine Ausführungsform, bei welcher die genannten Ein- und Ausströmkörper in die Meßzelle bzw. den Meßkanal fluchtend mündende Fluidführungen aufweisen.

Weiterer wesentlicher Gegenstand der Erfindung sind Verfahren zur Herstellung von Sonden mit den materialmäßig neu gestalteten Stegelementen, wie sie bisher schon ausführlich beschrieben worden sind.

Bei einem wegen seiner technisch problemlosen Durchführbarkeit und der Erzielung robuster meßgenauer Sonden der neuen Art im Rahmen der Erfindung besonders bevorzugten Herstellungsverfahren gemäß **Anspruch 31** ist vorgesehen,

- daß zumindest eine Fläche eines, bevorzugt etwa quaderartigen, Rohlings eines Sondenkörper-Unterteiles, vorzugsweise durch Aufdampfen, mit mindestens einer Schicht aus einem Passivierungs- bzw. Isolator-Material beschichtet wird,
- daß auf diese Isolatorschicht zumindest im Bereich des vorgesehenen Stegelementes, vorzugsweise entsprechend der für dieses vorgesehenen Form eine Schicht eines Halbleiter-Emitter/Absorber/Sensor-Materials, bevorzugt amorphes Germanium oder Silicium, aufgebracht, insbesondere aufgedampft wird,
- daß auf dieselbe gemäß der einer jeweils vorgesehenen Form entsprechenden Lithografie mindestens ein(e) Energie/Steuer/Daten-Leiterelement bzw. -Leiterbahn aufgebracht wird
- daß die nun vorgebildete Stegelement-Struktur, vorzugsweise vollflächig, mit einer Passivierungs- bzw. Isolator-Schicht überzogen wird,
- daß nach Freilegung von - dem Grundriß des zu bildenden Meßzellen- bzw. Meßkanal-Unterteils und des (der) in denselben ragenden, insbesondere denselben durchsetzenden, Stegelemente(s) entsprechenden - Fenstern in der Passivierungs- bzw. Isolator-Schicht und der Emitter/Absorber/Sensor-Schicht - unter Verbleib der Stegelemente der Meßzellen- bzw. Meßkanal-Unterteil in den Sondenkörper-Unterteil eingearbeitet, insbesondere geätzt wird, und
- daß schließlich das so gebildete Ensemble des Sondenkörper-Unterteils, fluid-dichtend mit einem den Meßzellen- bzw. Meßkanal-Oberteil aufweisenden Sondenkörper-Oberteil, vorzugsweise zellen- bzw. kanalunterteil-fluchtend, vorzugsweise durch Klebung, vereinigt wird.

Die Einführung von hochohmigen, jedoch noch leitenden Halbleitern, insbesondere von amorphem Germanium, anstelle von Metallfilmen, hat gegebenenfalls Einschränkungen für die Technologie des Sensors zur Folge, was auf den ersten Blick einen gewissen Nachteil beim Einsatz dieses Materials mit sich bringt, der allerdings durch die oben beschriebenen Vorteile weit überkompenziert wird. Der Nachteil besteht insbesondere in der Empfindlichkeit von Germanium in seiner amorphen Phase gegen zu hohe Temperaturen. Bei zu hohen Prozeßtemperaturen kann es zu Rekristallisationserscheinungen und zu irreversiblen Änderungen des spezifischen Widerstandes und seiner Temperaturabhängigkeit kommen. Nach Beschichtung des Meßzellen-Körpers mit Germanium sind deshalb relativ niedrige Prozeßtemperaturen vorteilhaft. Das betrifft vor allem die Herstellung der Passivierung des Sensor-Materials, z.B. durch eine Isolatorschicht.

Für das Passivieren von thermisch empfindlichen Proben kann vorteilhaft ein speziell entwickeltes Plasma-CVD-Verfahren für die Abscheidung von  $\text{SiN}_x$ -Passivierungsschichten Einsatz finden, welches mit Substrat- und Prozeßtemperaturen unter  $100^\circ\text{C}$  arbeitet. Um die dünnen, freitragenden Thermistorträger möglichst frei von mechanischen Spannungen zu halten, wird auch die erste dünne Isolationsschicht direkt auf dem Silizium-Wafer mit Hilfe dieses Niedertemperaturprozesses hergestellt. Danach erfolgt die Bedampfung mit Ge bei einem Restgasdruck von ca.  $10^{-7}$  Torr. Nach dem Floaten der Germaniumschicht erfolgt die Lithographie der Leiterbahnen und das Bedampfen mit Ti-Au-Ti (z.B. 30 nm - 100 nm - 30 nm). Anschließend an das Strippen des Lackes erfolgt die Abscheidung der zweiten Passivierungsschicht, z.B. aus  $\text{SiN}_x$ .

Nachdem in beide Passivierungsschichten die für das anisotrope Ätzen des Wafers erforderlichen Fenster mit Hilfe eines RIE-Prozesses freigelegt worden sind, erfolgt das Ätzen des Strömungskanals. Nach dem Bonden der elektrischen Anschlüsse wird der Sensor assembled. Zuerst wird ein ca. 0,15 mm dickes Zwischenstück aus Silizium, in das eine Öffnung von den Ausmaßen des Kanals mikrogeätzt wurde, fluchtend auf den Kanal geklebt. Der gesamte Siliziumgraben ist nun rund 0,3 mm tief, und die Thermistorstege befinden sich etwa in halber Höhe des Querschnittes. Der Kanal wird zuletzt mit einem transparenten Polymethylmethacrylat-Deckel, in dem auch Zuführungsleitungen befestigt sind, verschlossen.

Den obigen Ausführungen entsprechend sind die Verfahrensmerkmale gemäß den folgenden beiden **Ansprüchen** von besonderem Vorteil, um zu hochqualitativen Sonden gemäß der Erfindung zu gelangen:

Gemäß **Anspruch 32** ist vorgesehen, daß das Passivierungs- bzw. Isolations-Material, insbesondere Siliciumnitrid, nach einem kombinierten Plasma-CVD-Verfahren bei Substrat- und Prozeßtemperaturen von unter  $100^\circ\text{C}$  aufgebracht wird und gemäß **Anspruch 33**, daß das Halbleiter-Material amorphes Germanium

und/oder Silicium, für die Thermo-Emitter/Absorber/Sensor-Elemente bei Restgasdrucken im Bereich von etwa  $10^{-7}$  bar aufgebracht wird.

Was die Möglichkeiten der Verwendung der neuen Sonden betrifft, seien hier nur einige besonders bevorzugte Einsatzgebiete angeführt, die im speziellen die Gegenstände der **Ansprüche 34 bis 38** bilden und deren Merkmale im wesentlichen die folgenden sind:

Für schnelle, hochempfindliche Temperaturmessungen im menschlichen und tierischen Gewebe ist z.B. ein Einstichsensor konstruiert worden, der während normaler oder pathologischer Gehirntätigkeit einsetzbar ist, siehe dazu **Anspruch 34**.

Mittels der zur Realisierung von Widerstandsthermometern verwendeten neuen Technologie ist eine Integration mehrerer Sensoren auf einem Träger einer Sonde möglich. Durch Heizung eines Sensors bei gleichzeitiger Temperaturmessung mittels eines zweiten Sensors, ist eine präzise Wärmeflußmessung ermöglicht. Eine derartige Meß-Anordnung auf einer Einstechnadel wurde z.B. zur Detektion kleinster Flüssigkeitsströmungen - z.B. von physiologischen Fluiden, wie Liquor, realisiert. Es ist also gemäß **Anspruch 35** eine Verwendung vorgesehen, deren wesentliche Merkmale darin bestehen, daß eines der zumindest zwei Emitter/Sensor-Elemente der Sonde als Heiz-Element und zumindest ein weiteres der Emitter/Sensor-Elemente als Thermo-Sensor-Element betrieben wird, und die Sonde für Wärmeflußmessungen und zur Detektion von minimalen Fluid-Bewegungen bzw. -Strömungen in tierischem oder Human-Gewebe dient.

Eine weitere bevorzugte Art der Verwendung der neuen Sonden besteht gemäß **Anspruch 36** darin, daß mindestens ein Emitter - insbesondere Heiz-Element simultan mit seiner Energieabgabe als Sensor - insbesondere Temperatur-Meßsensor - für Temperatur-Messung/Regelung/Steuerung seiner selbst eingesetzt wird.

Zum Einsatz der neuen Sonden mit den Steg-Sensoren ist ergänzend noch folgendes auszuführen:

Das Meßprinzip des Durchflußsensors kann dazu verwendet werden, bei bekannter Geometrie des Sensors und des Sensorträgers unbekannte Wärmeleitung von Stoffen zu detektieren.

Wenn in einem Durchflußsensor für Gase oder Flüssigkeiten keine Strömung oder Konvektion zugelassen wird, so ist bei Anwendung des Wärmepulsverfahrens und bei geeigneter Geometrie die Form der Ausbreitung der Temperaturwelle nur von der Temperaturleitfähigkeit abhängig.

Bei geeigneter elektronischer Auswertung der zeitabhängigen Temperaturkurve ist eine Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit möglich.

Somit kann durch Kombination beider Verfahren eine medienunabhängige Durchflußmessung durchgeführt werden und es kann (können) mittels Applikation von Wärmepulsen durch Detektion der Temperaturkurvenform gleichzeitig die Temperatur- und/oder Wärmeleitfähigkeit des Mediums detektiert werden.

Durch die neue Halbleitertechnologie ist eine neue Verwendungs- bzw. Betriebsart der Sonde bzw. von deren Sondenelementen zum ersten Mal ermöglicht. Hierbei dient die Halbleiter-Thermistorschicht mindestens eines der Stegelemente der Sonde als integral einstückiges Wärmeenergieabgabe-Temperaturmeßorgan, womit jegliche Hysterese od.dgl. vermieden ist.

Eine besonders vorteilhafte Anwendungsweise ist vom **Anspruch 37** umfaßt, gemäß welchem vorgesehen ist, daß mittels - vorzugsweise gemäß Anspruch 33 - eigensensor-gesteuerter Thermo-Emitter-Elemente ein primärer Temperatur- und/oder Wärmeimpuls gewünschter Form und/oder Größe an ein - gegebenenfalls strömendes - Medium abgegeben wird und anhand der von mindestens einem vom genannten Thermo-Emitter-Element räumlich beabstandeten Sensor-Element abgegebenen Signale bzw. Signalfolgen die Laufzeit und/oder Form und/oder Größe des am Sensor-Element einlangenden Impulses ermittelt und gewünschtenfalls an eine Rechnereinheit zur analytischen Aufbereitung weitergegeben wird bzw. werden. Es können also z.B. Impulse bzw. Impulsresponse bei konstanter Temperatur oder bei konstanter Leistung abgegeben bzw. schließlich analysiert werden und aus den Signalen bzw. Signalfolgen können dann Rückschlüsse auf das Medium gezogen werden.

Weiters konnte für eine Verwendung gemäß **Anspruch 38** zur Ermittlung der Neutralteilchen generierbaren bzw. generierten Wärmeenergie ein Dünnschichtbolometer konstruiert werden, welches z.B. zur Eichung einer Satelliten-Testkammer Einsatz finden kann.

Auf diese Weise kann das Bolometer letztlich einen Teilchendetektor bilden, der quantitativ die Teilchendosis indirekt durch Umwandlung der kinetischen Teilchenenergie innerhalb eines Absorbers in thermische Energie ermittelt. Diese kann mittels bolometrischer Detektionsprinzipien und der gegenständlichen Sonde erfaßt werden.

Beispiele:

Allgemeiner Teil:

5 Massenfluß-Steuerung

Für die Bereitstellung von definierten Gasflüssen wurden zwei Massflow-Controller der Firma MKS, Modell 259B verwendet, welche für verschiedene Gasarten kalibrierbar sind. Der nutzbare Regelbereich reicht von ca. 1 Standard-Kubikzentimeter bis 100 Standard-cm<sup>3</sup> bzw. von etwa 20 Standard-cm<sup>3</sup> bis 2000 Standard-cm<sup>3</sup> für N<sub>2</sub> (für Ar und He sind diese Werte mit 1,45 zu multiplizieren), 100 Standard-cm<sup>3</sup> entsprechen bei dem Kanalquerschnitt von rund 0,003 cm<sup>2</sup> einer maximalen Strömungsgeschwindigkeit von 5,5 m/s, d.h. bei Vernachlässigung der Kompressibilität liegt die mit diesen Flowcontrollern erreichbare maximale Fließgeschwindigkeit bei etwa 150 m/s.

Flüssigkeitsströme wurden mit Hilfe einer geregelten Spritzenpumpe (Bereich 1 ml/h bis 4 l/h, 100 l/h entsprechen etwa 0,1 m/s) erzeugt. Untersucht wurden Äthanol, Wasser und Glycerin. Glycerin konnte auf Grund seiner hohen Viskosität nur durch den Kanal gepreßt werden, während die anderen Flüssigkeiten auch durch Ansaugen gefördert wurden. Selbst bei den höchsten verfügbaren Flüssen von ca. 4 l/h waren keine mechanischen Beeinträchtigungen der mikromechanischen Struktur zu beobachten und auch dynamischen Laständerungen z.B. durch eingeschlossene Gasblasen führten zu keiner Zerstörung der mikromechanischen Struktur.

Meßwerterfassung:

Für alle im folgenden beschriebenen Untersuchungen und den Betrieb des Sensors wurde ein den verschiedenen Meßaufgaben anpassungsfähiges, mit Hilfe eines PC steuerbares Datenerfassungsgerät eingesetzt, mit welchem der Spannungsverlauf am Heizelement regelbar ist und simultan der Widerstand aller Temperatursensoren und des Heizelementes mit einer Abtastrate bis zu 2 kHz erfaßt und gemessen werden kann. Die Meßauflösung beträgt real 15 bit (nominal 16 bit). Durch optoelektronische Trennung der batteriegespeisten Meßeinheit vom PC konnten die von PC und Monitor erzeugten hochfrequenten Störsignale wirksam von der Meßanordnung ferngehalten werden. Die maximal mögliche zeitliche Auflösung wird von der maximalen Datenübertragungsrate der verwendeten elektrooptischen Komponenten bestimmt. Da sich die erreichte Abtastrate von rund 2,5 kHz, hier für die Übertragung von insgesamt zehn verschiedenen Meßdaten, für alle angestellten Untersuchungen als ausreichend erwies, wurden keine schnelleren optoelektronischen Komponenten verwendet.

35 Spezieller Teil:

Beispiel 1:

40 Ermittlung des thermischen Widerstandes im ruhenden Fluid (Wärmeleitung)

Mit dem oben beschriebenen Gerät wurden die quasistationären Thermistorkennlinien von Heiztheristor und Temperaturfühlern in verschiedenen Medien im interessierenden Bereich aufgenommen.

Dafür wurde die Spannung am Thermistor von anfangs 0,7 V in Stufen von ca. 0,1 V bis auf 10 V gesteigert und anschließend mit gleicher Stufenhöhe vermindert. Dabei wurde darauf geachtet, daß die Spannungsrampe ausreichend rasch durchlaufen wird, um Verzerrungen durch Langzeiteffekte (thermische Drift) klein zu halten. Die in den Fig.1a und 1b der Zeichnung gezeigten Diagramme des normierten Thermistorwiderstandes über der elektrischen Verlustleitung zeigen praktisch keine Hysteresis durch thermische Trägheit, geben also den thermischen Widerstand des Heiztheristors bei annähernd konstanter Wafertemperatur wieder. Das Diagramm wurde mit konstanter Empfindlichkeit der Strom-Spannungswandler in der Meßwerterfassung aufgenommen, weshalb die Meßwerte bei den niedrigen Leistungen etwas schwanken. Es kommt zu einem Sinken des elektrischen Widerstandes des Thermistors mit zunehmender elektrischer Nutz- bzw. Verlustleistung. Mit einer angenommenen durchschnittlichen Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstandes von 2%/K errechnen sich die Übertemperatur des Thermistors (rechte Skala im Diagramm) und weiters aus dem jeweiligen Gefälle der quasistationären Kennlinie der zugehörige thermische Widerstand.

Da in allen untersuchten Fällen die Wärmeleitung des Fluids den Wert des thermischen Widerstandes maßgeblich bestimmte, war auch zu erwarten, daß für alle untersuchten Medien auch die Konvektion den

thermischen Widerstand nachhaltig beeinflußt.

Beispiel 2:

5 Messung der Strömungsabhängigkeit:

Wie bei der Untersuchung der Wärmeleitungsverhältnisse erfolgte auch hier die Bestimmung des thermischen Widerstandes aus der quasistationären Charakteristik von Sensorwiderstand vs. Verlustleistung, nun jeweils bei einer vorgegebenen Strömungsgeschwindigkeit des Fluids aufgenommen.

10 Die Abhängigkeit des thermischen Leitwertes des Heizers (Wärme-Emitter-Elementes) von der Mediumsströmung ist für verschiedene untersuchte Fluide in der Fig.2 dargestellt.

15 Die gemessene Charakteristik zeigt den Einfluß der konvektiven Wärmeabfuhr erst ab einer bestimmten, mediumshängigen Fließgeschwindigkeit, bei kleineren Flüssen ist kein oder nur ein äußerst schwacher Einfluß des konvektiven Wärmetransports zu beobachten. Diese Strömungsabhängigkeit setzt bei Fließgeschwindigkeiten  $\rightarrow$  ein, wo die Passagezeit des Fluids für eine Stegbreite etwa gleich jener Zeit ist, in der ein Wärmepuls vom Heizelement für die Ausbreitung zum nächsten Kanalrand benötigt. Diese Werte sind durch Pfeile im Diagramm angedeutet.

20

$$\vec{v} \approx \frac{b \cdot a}{t^2}$$

25 b Breite des  $\sin_x$ -Steges

t Kanaltiefe

a Temperaturreitfähigkeit.

In Bereichen, wo die Strömungsabhängigkeit dominiert, wird für alle Medien die gemessene Charakteristik durch ein Potenzgesetz

30

$$G_{th} = \frac{1}{R_{th}} = B \cdot F^\alpha$$

35

in sehr guter Näherung approximiert.

$G_{th}$  = thermischer Leitwert,  $R_{th}$  = therm. Widerstand

F = Fließgeschwindigkeit, B = Konstante

Der Wert des Exponenten ist abhängig vom strömenden Medium und reicht von  $\alpha = 0,17$  ( $H_2O$ ) bis  $\alpha = 0,33$  ( $Ar, N_2$ ). Den Exponenten  $\alpha = 33$  erhält man auch bei der längsangeströmten dünnen Platte für den Fall, daß die Dicke der thermischen Randschicht wesentlich geringer als jene der Strömungsgrenzschicht ist.

Aus der linearen Regression der Meßpunkte im flußabhängigen Bereich der Kennlinien (Fig.2) kann man den Exponenten  $\alpha$  ermitteln. Zur Überprüfung der Qualität dieser Approximation kann die Regressionsanalyse der Kennlinie  $G_{th}$  über  $F^\alpha$  herangezogen werden. Die Berücksichtigung der Meßwerte von 100 Standard- $cm^3$  bis 3390 Standard- $cm^3$  (12 Meßpunkte) ergibt bei Ar einen Korrelationskoeffizienten von 0,99997, das Potenzgesetz ist also eine ausgezeichnete Näherung. Auch für die anderen Medien ergeben sich Werte nahe 1.

Vergleich mit der Finite Elemente Simulation:

50 Einige errechnete Resultate sind in der Fig.3 der Zeichnung präsentiert. Die qualitative Übereinstimmung mit dem Experiment ist sehr gut, quantitativ ist sie in Anbetracht der nur zweidimensionalen Näherung zufriedenstellend. Bei den Kennlinien für Luft wurde die Wärmeleitfähigkeit der Kanalwände willkürlich variiert (isotherm bedeutet  $\lambda = \infty$ , adiabatisch  $\lambda = 0$ ).

55 Die gezeigte Kurvenschar für Luft verdeutlicht den Einfluß der Wärmeleitfähigkeit der Kanalwände auf den Verlauf der Charakteristik bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten. Aus der Kurve für adiabatische Randbedingungen ist zu entnehmen, daß die Wirkung der konvektiven Kühlung auch bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten nicht verschwindet. Um die annähernd horizontale Charakteristik bei kleinen Flüssen zu erklären, muß man also in diesem Bereich neben der mit wachsendem Fluß zunehmenden

Wärmeabfuhr durch Konvektion noch ein zweiter Wärmetransporteffekt annehmen, dessen Wirkung mit wachsendem Fluß abnimmt. Diese beiden Effekte kompensieren einander in ihrer Flußabhängigkeit offenbar, bis das Verhalten nur mehr von der Konvektion dominiert wird.

##### 5 Diskussion der Ergebnisse:

Die Empfindlichkeit der neuen Sonden bzw. ihre Sensoren sind für einen weiteren Bereich von Materialparametern hoch. Die untere Grenze des Flußmeßbereiches ist durch die Geometrie der Konstruktion und durch die Temperaturleitfähigkeit des Fluids bestimmt. Der thermische Leitwert des Steges bestimmt die Obergrenze des Meßbereiches. Er wurde mit FE-Simulationsrechnungen unter Annahme einer vereinfachten Stegeometrie und perfekter Wärmeabfuhr durch das Fluid zu 20 mW/K berechnet. Dieser Wert liegt fast eine Größenordnung über den höchstreal aufgetretenen Meßwerten. Bei der neuen Sondenkonstruktion mit Stegsensoren gibt es selbst für wässrige Lösungen von den thermischen Gegebenheiten her keine Limitierung zu hohen Flüssen hin. Die untere Grenze des Meßbereiches ist verkehrt proportional dem Quadrat der Kanaltiefe. Da die Fließgeschwindigkeit bei Vergrößern der Kanaltiefe nur linear abnimmt, ist so in vorteilhafter Weise der Meßbereich zu kleinen Durchflüssen hin erweiterbar.

Anhand der Zeichnung werden die Erfindung und ihre praktische Anwendung näher erläutert:

Es zeigen die Fig.1a und 1b sowie 2 und 3 Diagramme mit den Ergebnissen von mit den neuen Sonden durchgeführter Testreihen gemäß der Beispiele 1 und 2, die Fig.4 ein Schema des Sondenkörpers in einer Ansicht quer zur Meßkanalachse, die Fig.5 und 6 ein Layout für eine erfindungsgemäße Sonde, insbesondere von deren Sondenkörper mit den mäanderförmigen Stegelementen und eine "Detailansicht A" davon, die Fig.7 den Schnitt durch eines der erfindungsgemäßen Thermo-Emitter/Absorber/Sensor-Elemente aufweisenden Stegelemente, die Fig.8 eine rasterelektronenmikroskopisch erhaltene, photographische Schrägangsicht eines der mäanderförmigen, brückenartig ausgebildeten Stegelemente des neuen Sondentyps im Meßkanal und schließlich Fig.9 schematisch die Anordnung eines Ein- und Ausströmkörpers an einem Sondenkörper.

Die Diagramme der Fig.1a und 1b beziehen sich auf die Ermittlung des thermischen Widerstandes in verschiedenen ruhenden Fluid-Medien, also praktisch von deren Wärmeleitung, wobei in Fig.1a für Wasser (W) Glycerin (G) und Ethanol (E) und in Fig.1b für Helium, Stickstoff und Argon die Widerstandsänderungen bzw. Temperaturerhöhungen in Kelvin in Abhängigkeit von der elektrischen Verlustleistung in mWatt für die in einer erfindungsgemäßen Sonde eingesetzten, Thermistoren aufweisenden, Stegelemente angegeben sind.

Das Diagramm der Fig.2 zeigt, wie bei gemäß Beispiel 2 vorgenommenen Messungen der Strömungsabhängigkeit sich der thermische Leitwert eines Heiz-Stegelementes in Abhängigkeit von der mittleren Fließgeschwindigkeit in mm/s bei den Medien Wasser, Ethanol, H<sub>2</sub>, He, Ar und N<sub>2</sub> verändert, wobei die "Knicke" in den Kurven den Beginn des Einflusses der konvektiven Wärmeabfuhr erst ab einer bestimmten, für ein jeweils untersuchtes Medium individuellen und charakteristischen Strömungsraten markieren.

Die Fig.3 dient dem Vergleich der realen Ergebnisse mit simulierten Meßergebnissen, die nach der Methode der finiten Elemente erhältlich sind. Sie stellen die Ergebnisse der finite Elemente-Berechnungen für ein zweidimensionales Modell des Sensors dar.

Es sind dort die Werte für Wasser, Ethanol und Helium sowie für Luft bei "isothermer" Wandung des Meßkanals einer erfindungsgemäßen Sonde, weiters bei "adiabatischer" Wand, gegenüber einer Kanalwand aus Silizium und bei einer theoretischen Wandung aus Luft errechnet. Auch hier tritt der charakteristische "Knick" in den Kurven auf.

Die Fig.4 zeigt, wie der Meßkanal-Körper mit Unterteil 61 und Oberteil 62 gebildet ist, die jeweils den einander gegenüberliegende Kanalwände 73,73' aufweisenden Meßkanal-Unter- und -Oberteil 72 enthalten, welche zusammen den Meßkanal 7 bilden. Der Kanal 7 wird in etwa der halben Höhe h vom Stegelement 312 frei durchsetzt, welches selbst einen Träger 3, z.B. aus SiN<sub>x</sub>, der hier einstückig mit einer SiN<sub>x</sub>-Beschichtung 63 des Meßkanal-Unterteils 61 verbunden ist. Auf dem SiN<sub>x</sub>-Träger 3 ist ein Emitter/Absorber/Sensor-Element 1, z.B. aus amorphem Ge, aufgebracht, an welches jeweils in Randlage und voneinander beabstandet, die Energie/Steuer/Daten-Leiterelemente 2,2' gebunden sind. Das gesamte Stegensemble ist mit einer SiN<sub>x</sub>-Isolator/Passivierungsschicht 4 überzogen. Die Leiterelemente 2,2' sind mit Anschlußleitern 22 verbunden oder einstückig ausgebildet.

Die Fig.5 gibt schematisch ein Layout des Gesamtkonzeptes für eine mikromechanisch fertigbare multifunktionelle Heizelement-Thermo-Sensoranordnung mit Halbleiter-Thermistoren wieder. In einem Silizium-Wafer wird ein 0,9 mm breiter, 9 mm langer Graben 71 mit regelmäßiger Berandung 73,73' geätzt, der zusammen mit einem entsprechenden Gegenstück als Durchflußkanal verwendbar ist. Die Germaniumthermistoren 1 sind entlang dieses Durchflußkanals zum einen auf 50 µm bis 80 µm breiten und wenige

Mikrometer dünnen Siliziumnitridstegen über dem Graben, zum anderen auf der Nitrid-Passivierungsschicht 63 am Siliziumkristall angeordnet. Es bezeichnet die Zahl 7 den im Sondenkörper-Unterteil 61 eingetieften Meßkanal zur Aufnahme bzw. Führung eines fluiden Mediums; von den Anschlußflächen 25 gehen jeweils als Energie- und Datenzu- und -ableitungen dienende Leiterbahnen 22 zu den Stegelementen 312, deren mittleres einen Heizenergie-Emitter-Steg 312' darstellt, der beidseitig von 3 mit Abstand vom Heizelement 312' steigend voneinander beabstandeten Thermosensorelement-Stegen 312'' symmetrisch umgeben bzw. flankiert ist, die ein Thermosensorarray für Flußmessungen bilden. Mit 66 sind zwei montage-erleichternde Justiermarken für das Assembly von Meßzellen-Körper-Unterteil 61 und nicht gezeigtem Oberteil 62 bezeichnet. Schließlich ist jeweils in den Nahbereichen der Außenenden der Sensor-Arrays ein Substratthermistor 8 angeordnet, der eine Kompensation von durch den Meßzellen-Körper 6 hervorgerufenen Störungen bzw. Einflüssen bei den Messungen erbringen soll.

Fig.6 zeigt bei sonst gleicher Bedeutung der Bezeichnungen das "Detail A" aus Fig.5 näher, wobei einerseits das Layout eines Sensorelementes, z.B. eines Halbleiter-Schicht-Thermistors 1, auf dem Siliziumnitrid-Träger 3 mit den entlang beider mäanderförmigen Längs-Ränder verlaufenden, auf das a-Germanium. 15 1 aufgebrachten, metallischen Energie/Meßdaten-Leiterelementen 2,2' gezeigt ist und anderseits ein "Substrat-Thermistor" 8 im Meßzellen- bzw. -kanal-Körper-Unterteil 61 im sogenannten Bulkthermistor-Design untergebracht ist. Zu bemerken ist, daß die elektrischen Kennwerte des hier gezeigten Substrat-Thermistors 8 und jene der neuen Steg-Thermistoren 2 etwa gleich sind.

Weiters zeigt die Fig.7 in einer Detail-Querschnittsansicht, wie auf einen SiN<sub>x</sub>-Träger 3 des Stegteils 20 312 die a-Germanium-Schicht eines Sensor-Elementes 1, z.B. eines Thermistors, aufgetragen ist und auf diesen jeweils in Randlagen beidseitig Auflagen der elektrischen Leiterelemente 2,2' aufgetragen sind, wobei das gesamte Ensemble von einem SiN<sub>x</sub>-Isolator 4 fluiddicht umschlossen ist.

Die Photografie der Fig.8 zeigt anschaulich in schräger Draufsicht einen Meßkanalkörper-Unterteil mit Meßkanal-Unterteil und diesen freischwebend übersetzendem, mäanderförmigem Stegelement mit a-Germanium-Sensorschicht und den randlagigen Leiterelementen.

Schließlich zeigt Fig.9 nur beispielhaft und schematisch, wie ein Ein- und Ausströmkörper 9,9' mit jeweils in den Meßkanal 7 des Sondenkörpers 6 fluchtend mündenden Kanälen 97 und 97' am Sondenkörper 6 angeordnet sein können.

### 30 Patentansprüche

1. Miniaturisierte Halbleitersonde zur Erfassung von thermophysikalischen Kennwerten und/oder daraus abgeleiteten Kennwerten in bzw. von, insbesondere strömenden, fluiden Medien mit mindestens einer(m) in einem Sondenkörper angeordneten, das Medium aufnehmenden bzw. von demselben durchströmmbaren Meßzelle bzw. Meßkanal, in welcher(m) mindestens ein mit dem Medium in Berührung kommendes elektrisch/thermisches Emitter/Absorber/Sensor-(Em/Ab/Se)- Sondenelement angeordnet ist, und Einrichtungen zur Ver/Entsorgung der Meßzelle mit Medium und der Thermo-Emitter/Absorber/Sensor-Elemente mit Energie sowie solchen zur Steuerung, Regelung, Meßdaten-Erfassung, -Umwandlung und/oder -Verarbeitung, wobei das Sondenelement als in der Meßzelle bzw. im Meßkanal (7) allseitig frei vom Fluid umgeben 35 bzw. umspült angeordnetes, vorzugsweise brückenartiges, Stegelement (312) ausgebildet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß das, gegebenenfalls in Mehrzahl vorhandene, Stegelement (312) mit mindestens einem, auf mindestens einen schichtförmigen Träger (3) aus einem Isolatormaterial schichtartig aufgebrachten, insbesondere aufgedampften, Thermo-Emitter/Absorber/Sensor(Em/Ab/Se)-Element (1) auf Basis eines Halbleitermaterials gebildet ist.
2. Sonde nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie ein mit einem dotierten Reinstoff-Halbleiter, insbesondere amorphem Germanium oder amorphem Silizium, oder einem Verbindungs-Halbleiter, insbesondere Siliciumcarbid (Si<sub>x</sub>C<sub>y</sub>) oder einem III/V-Halbleiter, z.B. Gallium- oder Indiumarsenid, gebildetes Thermo-Emitter- und/oder -Sensor-Element (1) aufweist.
3. Sonde nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß an das einzelne, auf den Träger (3) schichtartig aufgebrachte Thermo-Em/Ab/Se-Element (1) aus Halbleitermaterial im Bereich mindestens eines seiner Längsränder (11,12), vorzugsweise beider gegenüberliegender Längsränder, insbesondere schichtartige, Energie/Steuer/Daten-Leiterelemente (2,2') gebunden, bevorzugt auf das Element (1) aufgedampft, sind.
4. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Konturen (11,12) der Stegelemente (321) bzw. deren Träger (1), Thermo-Em/Ab/Se-Elemente und Energie/Steuer/Daten-Leiterelemente (2,2') der Kristallstruktur bzw. dem Kristallgrenzenverlauf des Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körpers (6) bzw. seines Unterteiles (61) entsprechend mäanderartig, ausgebildet sind.

5. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Träger (3) des Stegelementes (312) in an sich bekannter Weise mit Siliziumnitrid ( $\text{SiN}_x$ ), insbesondere jedoch mit Niedertemperatur- $(\text{SiN}_x)$  oder mit Siliziumoxinitrid ( $\text{SiO}_x\text{N}_y$ ) gebildet ist.
6. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Träger (3) der Stegelemente (312) eine Materialstärke von 1 bis  $10 \mu\text{m}$ , insbesondere 3 bis  $7 \mu\text{m}$ , aufweisen.
- 5 7. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die, vorzugsweise mäanderartig ausgebildeten, Stegelemente (312) eine Breite von zwischen 10 und  $120 \mu\text{m}$ , insbesondere von 50 bis  $70 \mu\text{m}$ , aufweisen.
- 10 8. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Träger (3) der Stegelemente (312) mit im wesentlichen gleichen Materialstärken aufweisenden, schichtartigen, insbesondere durch Aufdampfen gebildeten, Zonen (63) des Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körpers (6) bzw. von dessen Unterteil (61) materialidentisch verbunden, insbesondere mit den genannten Zonen (63) materialident einstückig, verbunden sind.
- 15 9. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie Thermo-Emitter-Absorber-Sensor Elemente (1) mit Widerstandswerten von jeweils etwa 10 bis 500 kOhm, insbesondere von etwa 100 bis 300 kOhm, (bei  $20^\circ\text{C}$ ) aufweist.
- 10 10. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie Thermo-Emitter/Absorber/Sensor-Elemente (1) mit einer Empfindlichkeit der Widerstandsänderung mit der Temperatur von mindestens 1%/K, vorzugsweise von mindestens 2%/K, aufweist.
- 20 11. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Energie/Steuer/Daten-Leiterelemente (2,2') mit mindestens einem schichtförmig aufgebrachten, insbesondere aufgedampften, Metallmaterial, gebildet sind.
- 25 12. Sonde nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Energie/Steuer/Daten-Leiterelemente (2,2') mit der Schichtfolge Titan-Gold(Silber)-Titan mit Schichtdicken des Titans von jeweils etwa 20 bis 40 nm und des Goldes von etwa 80 bis 120 nm, gebildet sind.
13. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Energie/Steuer/Daten-Leiterelemente (2,2') mit ihren, im Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körper (6) angeordneten bzw. geführten, insbesondere am Meßzellen- bzw. -kanal-körper-Unterteil (61) aufgebrachten, Energie-, Steuer-, Daten-Zu- und Ableitungen (21) materialident einstückig ausgebildet sind.
- 30 14. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die an den mit dem Isoliermaterial, insbesondere  $\text{SiN}_x$  bzw.  $\text{Si}(\text{O}_x\text{N}_y)$ , gebildeten Träger (3) gebundenen, insbesondere schichtartigen, Em/Ab/Se-Elemente (1) und deren En/St/Da-Leiterelemente (2,2') fluidmediumsdicht, mit einem Isoliermaterial, bevorzugt mit dem gleichen Isoliermaterial wie der Träger (3), insbesondere mit Siliziumnitrid ( $\text{SiN}_x$ ) oder Siliziumoxinitrid ( $\text{Si}(\text{O}_x\text{N}_y)$ ), beschichtet, insbesondere von demselben umhüllt, sind.
- 35 15. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie mindestens ein Stegelement (312) umfaßt, welches bei Thermo-Emission oder -Sensorik eine örtliche Auflösung von ab  $10 \mu\text{m}$ , vorzugsweise von 50 bis  $200 \mu\text{m}$ , aufweist.
16. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie mindestens ein Stegelement (312) mit einer Temperatur-Auflösung von mindestens  $0,25 \text{ mK}$ , insbesondere von  $0,1 \text{ mK}$ , aufweist.
- 40 17. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie mindestens ein Stegelement (312) mit einer effektiven Ansprechzeit von höchstens 5 ms, vorzugsweise von maximal 3 ms, und einer thermischen Ansprechzeit von höchstens 0,5 ms, vorzugsweise von maximal 0,3 ms, aufweist.
18. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie mindestens ein Stegelement (312) mit einer Nutzleistung von kleiner als 1 mW aufweist.
- 45 19. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie mindestens ein Stegelement (312) umfaßt, das bei elektronischer Linearisierung der von ihm gelieferten Meßwerte bei Temperaturen im Bereich von  $10^\circ\text{C}$  bis  $60^\circ\text{C}$  eine Genauigkeit von 0,1 K aufweist.
20. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie mindestens ein Stegelement (312) mit einer Langzeitstabilität von besser als 1 % Widerstandswert-Änderung pro Jahr aufweist.
- 50 21. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie mehrere, räumlich voneinander getrennt angeordnete Stegelemente (312) aufweist, von welchen eines als - von einer Energieversorgungs- und Steuer-Einrichtung mit Heiz-Strom/Spannungs-Impulsen gewünschter Form und Höhe versorgbares - Thermo-Emissions- bzw. Heiz-Element (312') und mindestens eines als im Abstand vom Heizelement (312') im Meßkanal (7) angeordnetes Thermo-Sensor-Element (312'') ausgebildet ist.
- 55 22. Sonde nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Mehrzahl von Thermo-Sensorelementen (312'') zum mindest einseitig, insbesondere beidseitig, vorzugsweise in Zahl und Abstand symmetrisch, vom

- Thermo-Emissions-Element (312') - im wesentlichen ein Thermo-Sensor-"Array" bildend - im Meßkanal bzw. in der Meßzelle angeordnet sind.
23. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Meßzelle bzw. der Meßkanal (7) im wesentlichen rechteckigen oder quadratischen Querschnitt aufweist.
- 5 22. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Stegelement (312) im wesentlichen im Bereich der halben Meßzellen- oder Meßkanalhöhe (h) angeordnet ist.
25. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 24, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Dimensionen von Höhe und Breite der, bevorzugt rechteckigen, Meßzellen- bzw. Meßkanal-Querschnittsfläche 0,1 bis 0,5 mm, bzw. 0,5 bis 1,2 mm, insbesondere etwa 0,3 bzw. 0,9 mm, betragen.
- 10 26. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Wände bzw. Wandelemente (73,21') der Meßzelle bzw. des Meßkanals (7) mit einem chemisch resistenten und/oder abrasionsfesten schlecht thermoleitenden Siliciumnitrid oder einem organischen Polymer, beschichtet sind.
27. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körper (6) mit einem mechanisch stabilen, chemisch-inerten, geringe elektrische und thermische Leitfähigkeit aufweisenden Material mit geringem thermischen Ausdehnungs-Koeffizienten, bevorzugt mit einem Silizium-Einkristall- bzw. Silizium-Wafer-Material, gebildet ist.
- 15 28. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körper (6), bevorzugt in räumlicher Nähe der Zelle bzw. des Kanals (7), mindestens ein Thermo-Sensor (ambient sensor) (8) zur Erfassung der Sondenkörper-Temperatur, angeordnet ist.
- 20 29. Sonde nach einem der Ansprüche 1 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem Meßzellen- bzw. Meßkanal-Körper (6) fluidmediums-ein- und/oder -ausströmseitig Ein- und/oder Ausströmkörper (9,9') zugeordnet sind.
- 30 30. Sonde nach Anspruch 29, **dadurch gekennzeichnet**, daß Ein- und Ausströmkörper (9,9') in die Meßzelle bzw. den Meßkanal (7) fluchtend mündende Fluidführungen (97,97') aufweisen.
- 25 31. Verfahren zur Herstellung der neuen Sonde gemäß einem der Ansprüche 1 bis 30, **dadurch gekennzeichnet**,
- daß zumindest eine Fläche eines, bevorzugt etwa quaderartigen, Rohlings eines Sondenkörper-Unterteils (61) vorzugsweise durch Aufdampfen, mit mindestens einer Schicht (63) aus einem Passivierungs- bzw. Isolator-Material beschichtet wird,
- 35 30 32. - daß auf diese Isolatorschicht zumindest im Bereich des vorgesehenen Stegelements (3), vorzugsweise entsprechend der für dieses vorgesehenen Form eine Schicht (1) eines Halbleiter-Emitter-(Absorber/Sensor-Materials, bevorzugt amorphes Germanium oder Silicium aufgebracht, insbesondere aufgedampft wird,
- daß auf dieselbe gemäß der einer jeweils vorgesehenen Form entsprechenden Lithografie mindestens ein(e) Energie/Steuer/Daten-Leiterelement bzw. -bahn (2) aufgebracht wird,
  - daß die nun vorgebildete Stegelement-Struktur, vorzugsweise vollflächig, mit einer Passivierungs- bzw. Isolator-Schicht (4) überzogen wird,
  - daß nach Freilegung von - dem Grundriß des zu bildenden Meßzellen- bzw. Meßkanal-Unterteils (71) und des (der) in denselben ragenden, insbesondere denselben durchsetzenden, Stegelemente(s) (312) entsprechenden - Fenstern in der Passivierungs- bzw. Isolator-Schicht (63-3) und der Emitter/Absorber/Sensor-Schicht - unter Verbleib der Stegelemente (312) der Meßzellen- bzw. Meßkanal-Unterteil (71) in den Sondenkörper-Unterteil (61) eingearbeitet, insbesondere geätzt wird, und
  - daß schließlich das so gebildete Ensemble des Sondenkörper-Unterteils, fluid-dichtend mit einem den Meßzellen- bzw. Meßkanal-Oberteil (72) aufweisenden Sondenkörper-Oberteil (62) vorzugsweise zellen- bzw. kanalunterteil-fluchtend, vorzugsweise durch Klebung, vereinigt wird.
- 40 33. Verfahren nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Passivierungs- bzw. Isolations-Material, insbesondere Siliciumnitrid ( $\text{SiN}_x$ ) nach einem kombinierten Plasma-CVD-Verfahren bei Substrat- und Prozeßtemperaturen von unter 100 °C aufgebracht wird.
- 45 34. Verwendung einer Sonde gemäß einem der Ansprüche 1 bis 30 in Form einer Einstichsonde für Temperaturmessungen innerhalb von definierten Mikro-Volumsbereichen in tierischen oder Human-Gewebe, beispielsweise während normaler oder pathologischer Gehirntätigkeit.
- 50 35. Verwendung einer Sonde gemäß einem der Ansprüche 1 bis 30 mit der Maßgabe, daß eines ihrer zumindest zwei Emitter/Sensor-Elemente als Heiz-Element und zumindest ein weiteres der Emitter/Sensor-Elemente als Thermo-Sensor-Element betrieben wird, für Wärmeflußmessungen und zur Detektion von minimalen Fluid-Bewegungen bzw. -Strömungen in tierischem oder Human-Gewebe.

36. Verwendung einer Sonde gemäß einem der Ansprüche 1 bis 30 für einen der in den Ansprüchen 34 und 35 genannten Zwecke mit der Maßgabe, daß mindestens ein Emitter-, insbesondere Heiz-Element simultan mit seiner Energieabgabe als Sensor, insbesondere als Temperaturmeß-Sensor für Temperatur-Messung/Regelung/Steuerung einer selbst eingesetzt wird.
- 5    37. Verwendung einer Sonde gemäß einem der Ansprüche 1 bis 30, für einen der in den Ansprüchen 34 bis 36 genannten Zwecke mit der Maßgabe, daß mittels - vorzugsweise gemäß Anspruch 33 - eigen-sensor-gesteuerter Thermo-Emitter-Elemente ein primärer Temperatur- und/oder Wärmeimpuls gewünschter Form und/oder Größe an ein - gegebenenfalls strömendes - Medium abgegeben wird und anhand der von mindestens einem vom genannten Thermo-Emitter-Element räumlich beabstandeten Sensor-Element abgegebene Signale bzw. Signalfolgen die Laufzeit und/oder Form und/oder Größe des am Sensor-Element einlangenden Impulses ermittelt und gewünschtenfalls an eine Rechnereinheit zur analytischen Aufbereitung weitergegeben wird bzw. werden.
- 10    38. Verwendung einer Sonde gemäß einem der Ansprüche 1 bis 30 als Bolometer zur Messung der von Neutralteilchen (in der Kernphysik) generierten thermischen Energie.

15

Hiezu 8 Blatt Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

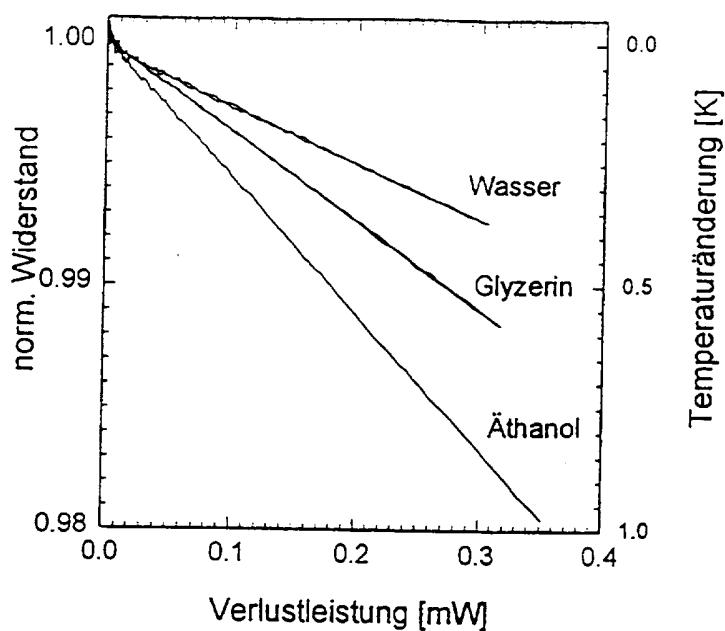


FIG. 1a

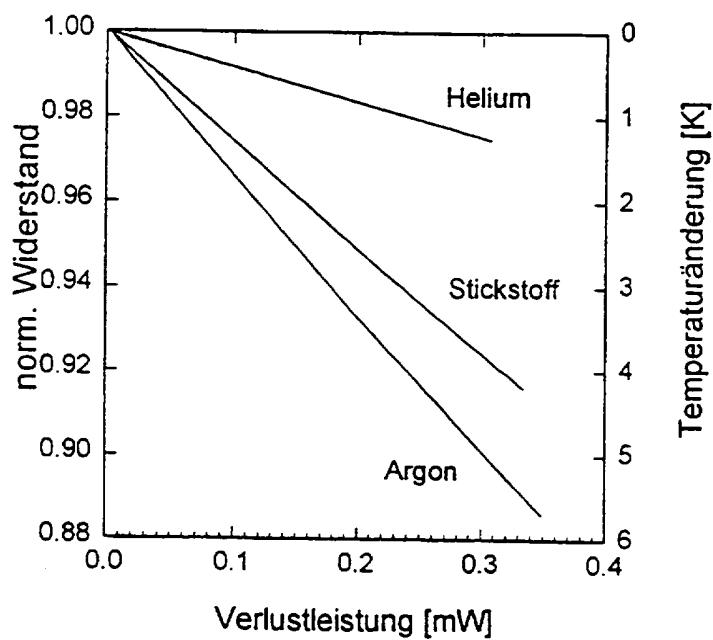


FIG. 1b

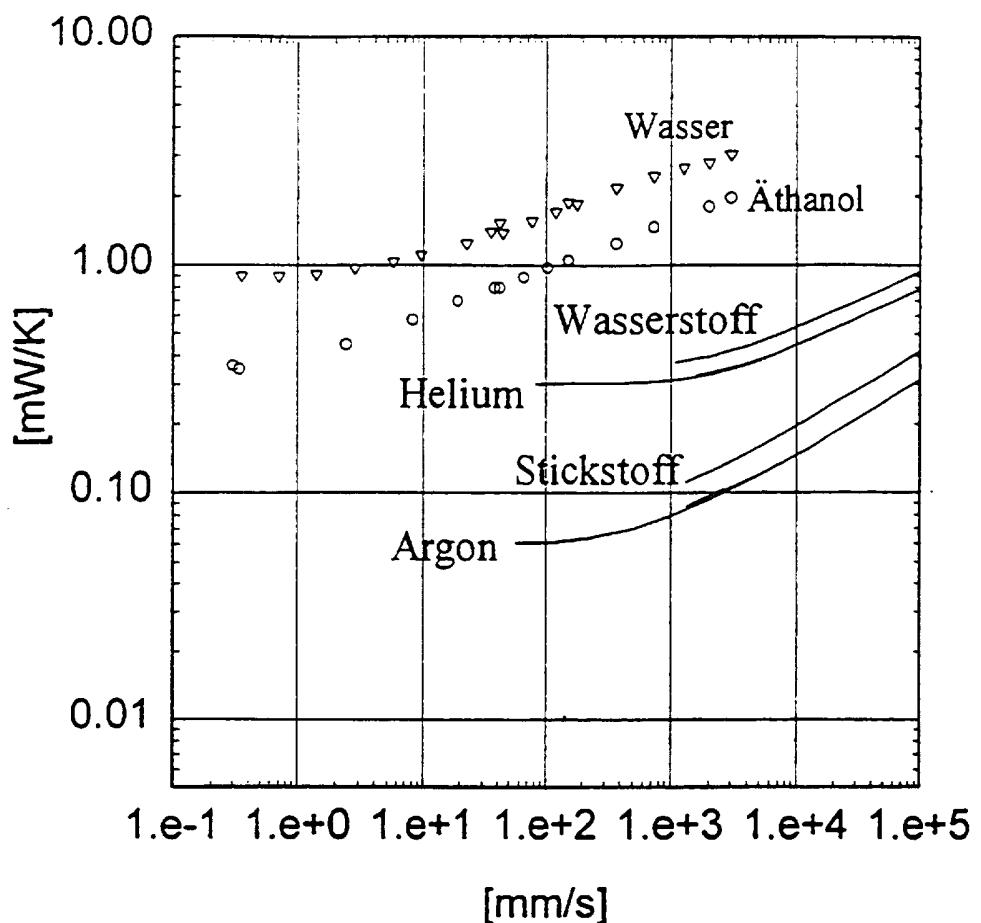


FIG. 2

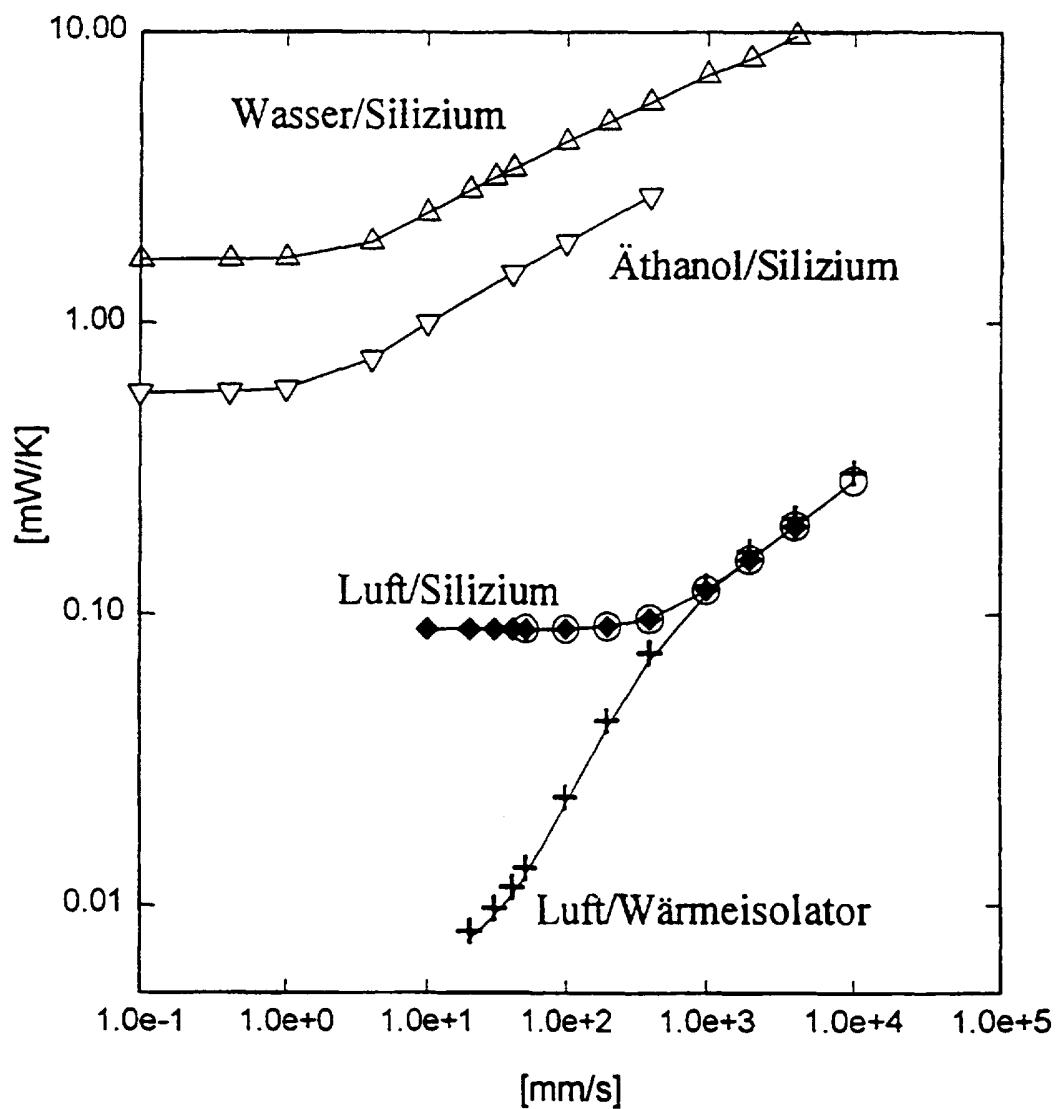


FIG. 3

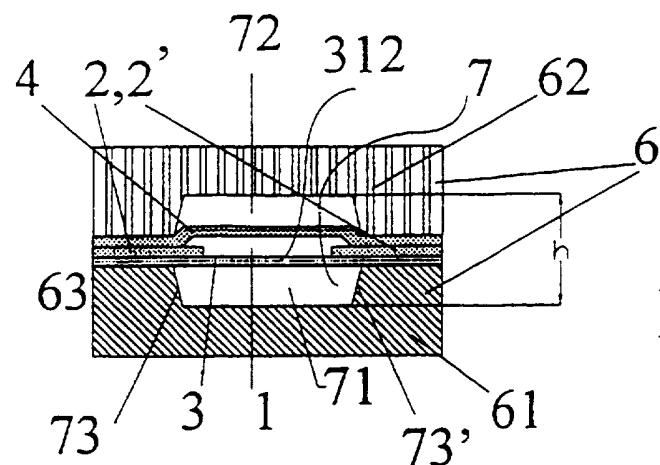


Fig. 4

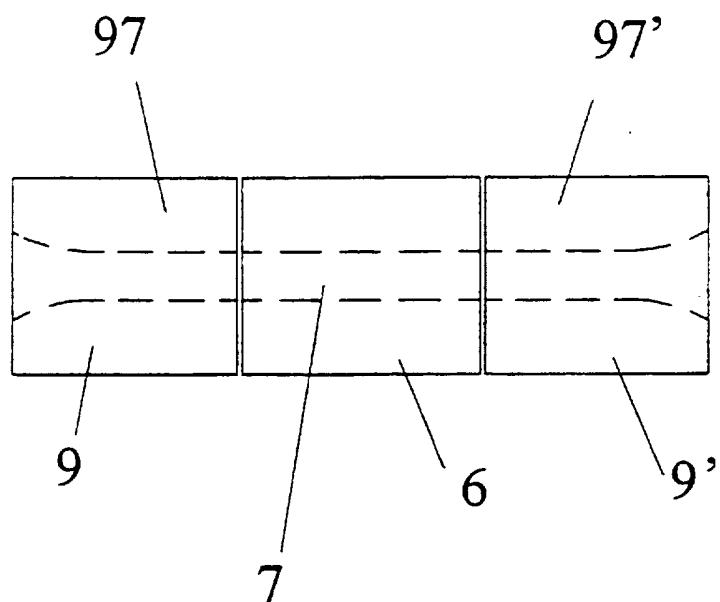


Fig. 9

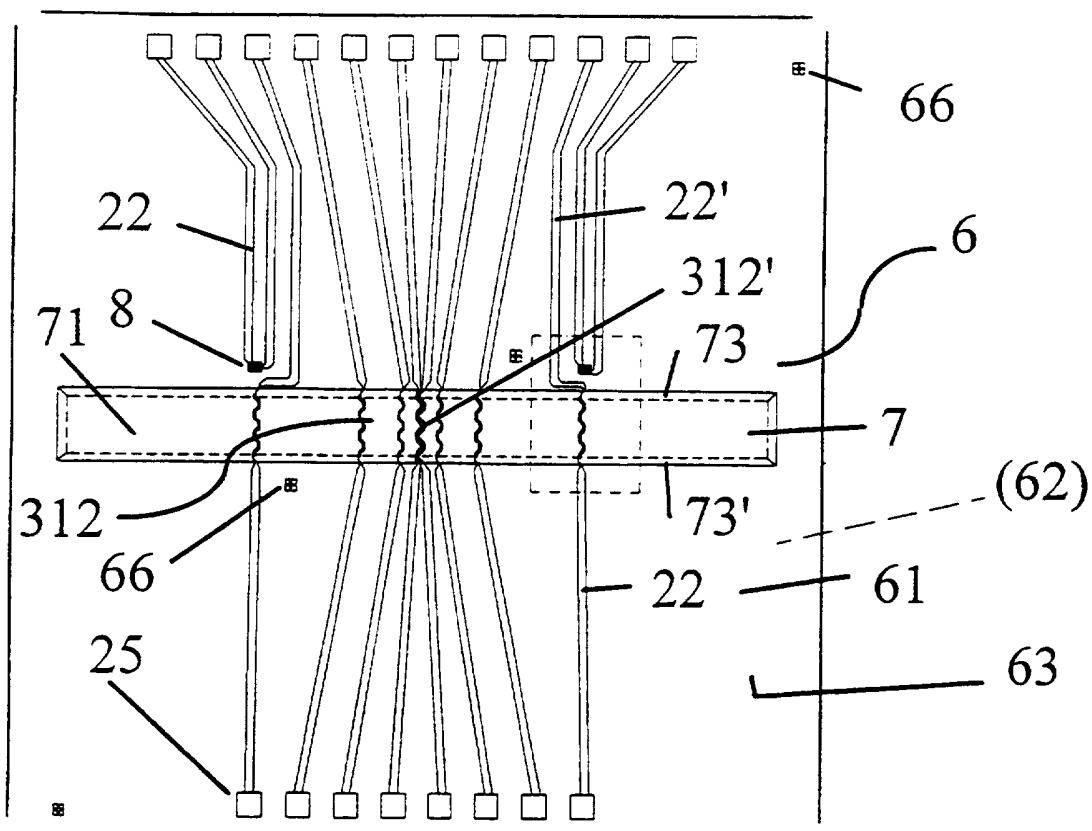


FIG. 5

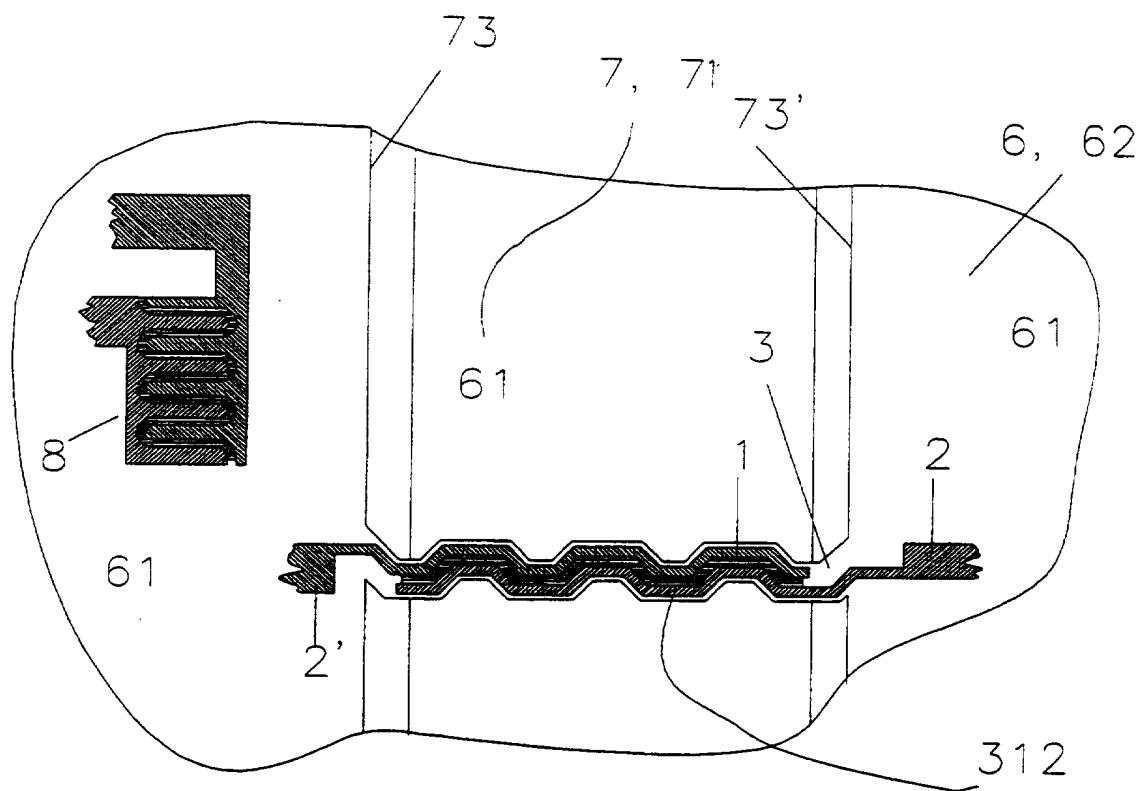
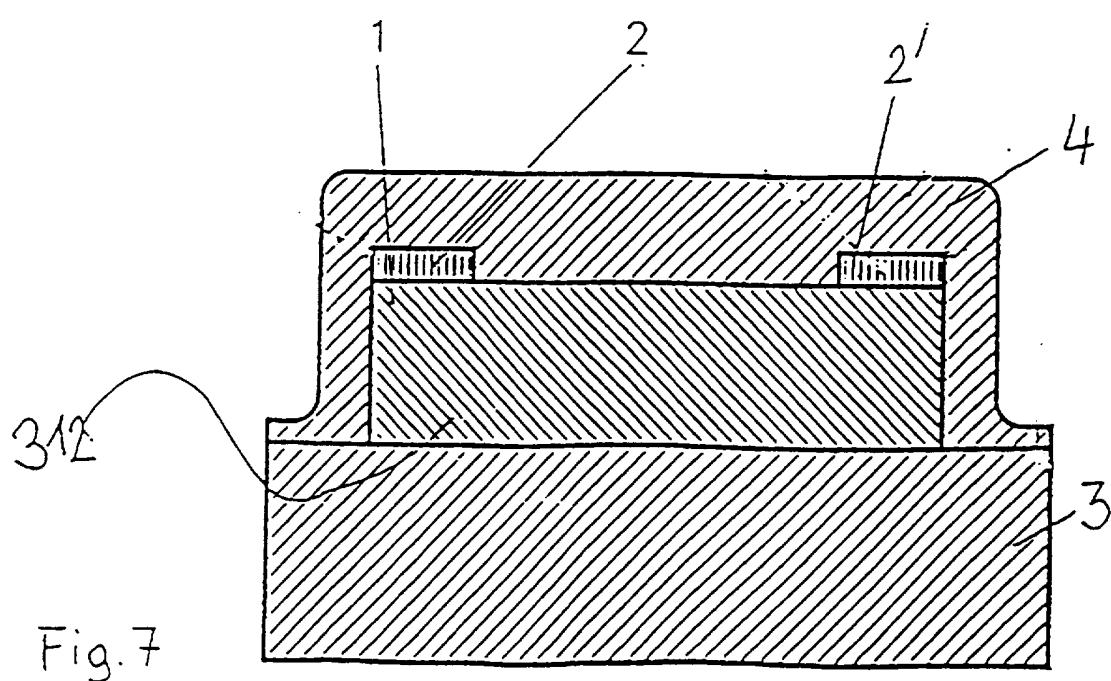


FIG. 6



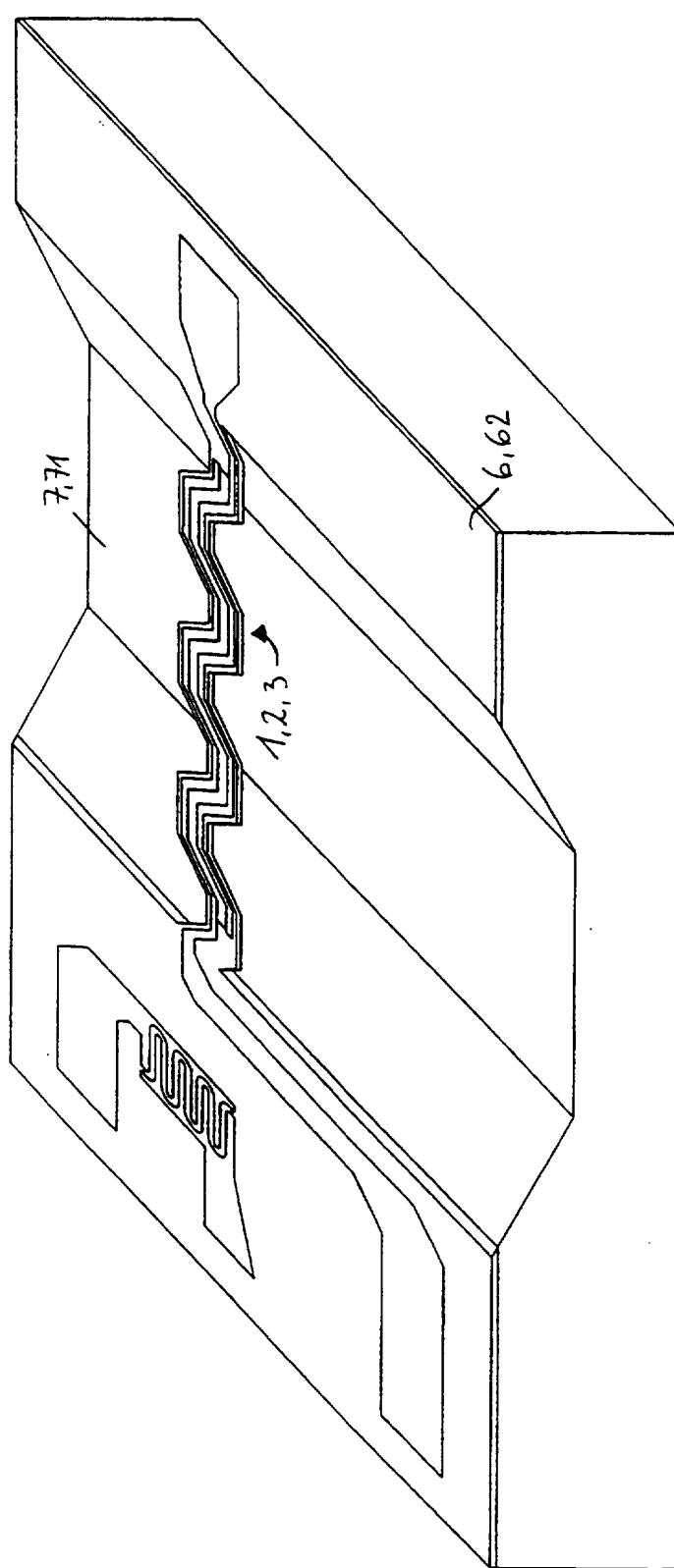


FIG. 8