



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 008 959 A1** 2006.09.07

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 008 959.3**

(22) Anmeldetag: **28.02.2005**

(43) Offenlegungstag: **07.09.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01L 9/00** (2006.01)

G01L 15/00 (2006.01)

G01L 21/12 (2006.01)

G01L 9/12 (2006.01)

G01L 9/04 (2006.01)

(71) Anmelder:
Plöching, Heinz, Dipl.-Ing., 94036 Passau, DE

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE 197 29 785 C2

DE 199 03 010 B4

DE 101 15 715 B4

DE 198 60 500 A1

DE 196 40 960 A1

DE 40 31 791 A1

DE 40 11 901 A1

DE 18 08 656 A

DE 694 24 557 T2

WO 00/04 358 A1

Plöching, Heinz: Neuartiger

Vakuum-Kombi-Sensor

ermöglicht Feinstauflösung bei einem

Messbereich

über sechs Zehnerpotenzen. In: Tagungsband

OTTI 3.

Symposium Mikrosystemtechnik, 17./18. Februar

1993;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

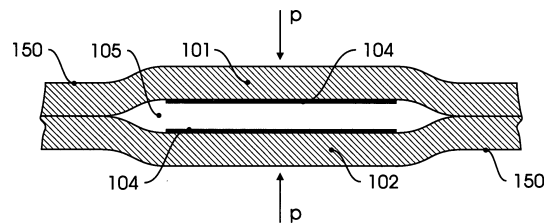
(54) Bezeichnung: **Drucksensoren und Kombinations-Druck-Sensoren sowie Verfahren zum Betrieb, zur Herstellung und zum Test derartiger Sensoren**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft Drucksensoren, insbesondere nach kapazitivem Prinzip, und Kombinations-Sensoren zur Druckmessung unter Einbeziehung derartiger Drucksensoren sowie Verfahren zum Betrieb, zur Herstellung und zum Test.

Im Gegensatz zum üblichen Aufbau derartiger Sensoren wird bei diesen erfindungsgemäßen Membran-Drucksensoren auf einen Trägerkörper verzichtet. Stattdessen bewegen sich zwei verformbare Membranen zusammen mit den darauf angebrachten elektrischen Erfassungselementen (z. B. Elektroden) aufeinander zu, wenn der anliegende Druck ansteigt.

Ein erfindungsgemäßer Doppelmembran-Sensor hat doppelten Signalhub und reduzierte Abhängigkeit von Montage- und Temperatur-Einflüssen.

Zum Aufbau von Kombinations-Sensoren, insbesondere zur Verwendung in Vakuum-Anwendungen, werden in geeigneter Weise angepasste Sensoren mit anderen Messprinzipien beschrieben, wie z. B. Pirani-Sensoren, Magnetron-Sensoren und Ionisations-Sensoren in spezieller Bauweise.



Beschreibung

[0001] Drucksensoren nach kapazitivem oder resistivem Prinzip bestehen meist aus einem Trägerkörper (in der Literatur "Grundkörper", "Sensorkörper", "Grundschrift", "Zellenkörper", "Trägerkörper", "base member", "counter structure", "support plate" etc.), dem eine elastische, durch den Messdruck verformbare Membrane zugeordnet ist.

Stand der Technik

[0002] Eine Auswahl an Schutzrechten für bekannte Drucksensoren dieser Art ist nachfolgend aufgelistet: WO 93/11415; WO 95/03534; WO 00/04358; EP 0 195 985 A2; GB 2 157 444 A; DE 100 36 433 A1; DE 101 31 688 A1; DE 100 65 390 A1; DE 100 36 474 A1; DE 101 54 867 A1. US 5,656,781; US 5,706,565; US 5,962,791.

[0003] In der EP 1 071 934 B1 (DE: 599 00 865.2-08) des Anmelders ist dagegen im Anspruch 6 bereits eine Druck- oder Kraftsensor beschrieben, bei dem sowohl die Membran, wie auch die Gegenstruktur auslenkbar ist.

[0004] Die darauf befindlichen Elektrodenflächen sind gemäß der dort angegebenen Regeln aufgeteilt in einzelne Bereiche, die miteinander verschaltet sind.

[0005] Wegen der hierzu nötigen Trennstege zwischen den einzelnen Elektrodenflächen könnten leitende Beläge auf der Membran- oder Gegenstruktur-Außenseite die Messung verfälschen, deshalb ist eine zusätzliche Abschirm-Lage notwendig. Die Verbindung von Membran und Gegenstruktur erfolgt z. B. durch Glaslot mit unterschiedlicher Wärmedehnung.

[0006] Bekannt sind auch Drucksensoren, z. B. aus der DE 101 32 269 A1, mit festem Grundkörper und auf Stegen angeordneter Membran, um verschiedene Messbereiche abdecken zu können.

[0007] Bereits seit 1990 werden Kombinations-Druck-Sensoren für Vakuum-Anwendung angeboten von Fa. Thyracont, Passau, Deutschland (veröffentlicht durch Prospekte VD 75, VSKP-45M; Vortrag Symposium Microsystemtechnik Regensburg 17./18.02.1993; Zeitschrift LABO 9/93, S. 114; Vortrag Achema Frankfurt 07.06.1994), die einen Absolutdruck-Membransensor mit einem Wärmeleitungs-Sensor (Pirani) vorteilhaft kombinieren.

[0008] Ein Gewichtungsverfahren sorgt dabei im

Überschneidungsbereich beider Sensor-Prinzipien für eine kontinuierliche Signalausgabe.

[0009] Zum Stand der Technik gehören auch Kombinations-Sensoren, wie in der WO 00/04358 beschrieben.

[0010] Ein Absolutdruck-Membransensor, hier bestehend aus Trägerplatte und Membran, jeweils mit Elektroden, ist mit einem Wärmeleitungs-Messelement auf einem gemeinsamen Grundkörper angeordnet.

[0011] Da von einer kontinuierlichen Leistungszufuhr für das Wärmeleitungs-Messelement ausgegangen wird, sind im Anspruch 3 (WO 00/04358) Maßnahmen zur thermischen Abschirmung vorgesehen.

[0012] Letztere dienen dazu, den kapazitiven Absolutdruck-Membransensor vor Erwärmung zu schützen, da dieser aus verschiedenen Materialien mit unterschiedlicher Wärmausdehnung besteht.

[0013] Diese Anordnung kann zudem mit weiteren Sensoren zur Vakuum-Messung (Magnetron, Triode, Bayard-Alpert-Element) kombiniert werden.

[0014] Die Heißkathoden von Triode oder Bayard-Alpert-Elementen bringen jedoch in der üblichen Betriebsweise weitere Heizleistung in die Messzelle ein, was zusätzliche Temperaturdrift des Absolutdruck-Membransensors dieser Bauart bewirken kann.

Aufgabenstellung

Aufgabe der Erfindung

[0015] Aufgabe dieser Erfindung ist es, Membran-Drucksensoren mit elektromechanischen Wandlern (z. B. kapazitiv oder resistiv), sowie Sensor-Kombinationen mit diesen Sensoren einschließlich Betriebs-, Herstell- und Test-Verfahren zu beschreiben, wobei die Membran-Drucksensoren im wesentlichen aus einem einzigen Material derart homogen und symmetrisch aufgebaut sein sollten, dass bereits durch das Aufbauprinzip thermische Drift, Bimetalleffekte und Montageeinflüsse vermieden oder verringert werden. Im jeweiligen Aufbau vorgesehene Abstandshalter oder Versteifungsrahmen sollen aus dem gleichen Material bzw. der gleichen Materialgruppe bestehen.

[0016] Zudem sollte die Empfindlichkeit, d. h. das Verhältnis Druck- zu Signal-Änderung möglichst groß sein.

[0017] Entsprechend einer weiteren Forderung muss das Aufbauprinzip geeignet sein, bei gleicher Baugröße mit einfachen Mitteln den Messbereich

(Absolutdruck und Relativdruck) verändern zu können.

[0018] Ferner soll das Aufbauprinzip den Einsatz in verschiedenen Kombinations-Sensor-Anordnungen zulassen, wobei eine möglichst kleine Messzelle erfindungsgemäße Membran-Sensoren und in geeigneter Weise angepasste Sensoren nach anderen Messprinzipien (Wärmeleitungs/Wärmekapazitäts-Sensoren, Magnetron, Ionisations-Sensoren etc.) aufnehmen kann.

[0019] Mit diesen Kombinations-Sensoren sollen hauptsächlich folgende Ziele erreicht werden:

A) Die unterschiedlichen Sensor-Prinzipien sind bezüglich ihrer Messbereiche derart gestaffelt, daß sie einen möglichst großen Gesamtmessbereich ergeben, wobei sie sich an Messbereichsanfang oder -ende überschneiden und in den Überschneidungsbereichen eine Wertangleichung vorgenommen werden kann, um ein stetiges Gesamt-Ausgangs-Signal zu erzeugen.

B) Zwei oder mehrere Sensor-Prinzipien werden mit gleichem Messbereich oder einer Überschneidung in einem großen Teil des Messbereiches kombiniert und aufeinander abgeglichen, wobei die unterschiedlichen Eigenschaften der jeweiligen Prinzipien Aussagen über den Zustand (z. B. Zusammensetzung) des Messmediums zulassen. Beispielsweise sollen ein Absolutdrucksensor und ein gasartabhängiger Sensor sich im Messbereich überschneiden und in einem großen Teil des Messbereiches jeweils hohe Auflösung haben, um Änderungen der Zusammensetzung des Messmediums zu erkennen. In einer bevorzugten Anwendung wird es dadurch möglich, das Vorhandensein von Wasserdampf-Partialdruck qualitativ und quantitativ und somit bei der Gefrier-trocknung die Restfeuchte im Produkt zu erfassen.

Erfindungsgemäße Lösung

[0020] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass ein homogener, symmetrischer Sensoraufbau, bei dem sich zwei elastisch verformbare Scheiben (Membranen) aufeinander zu oder voneinander weg bewegen, und bei dem ein Abstandshalter für beide Membranen oder ein Versteifungsrahmen aus gleichem oder artverwandtem Material wie die Membranen selbst bestehen, eine weitgehende Unabhängigkeit von Temperatur- und Montage-Einflüssen verspricht, da bei gleichmäßiger Ausdehnung in alle Richtungen mechanische Spannungen zwischen den Elementen nicht auftreten und Bimetall-Effekte vermieden werden.

[0021] Die notwendigen elektrischen Erfassungselemente (z. B. Elektrodenflächen aus leitender dünner Schicht) haben dabei einen zu vernachlässigen-

den Anteil an der Material-Menge bzw. sind so geformt, dass unterschiedliche Wärmeausdehnung keine wesentliche Rolle spielt.

[0022] Als Aufbauprinzip wird ein laminiertes Schichtaufbau aus Glaskeramik (LTCC = Low Temperature Cofired Ceramic oder HTCC = High Temperature Cofired Ceramic, o. ä.) vorgeschlagen.

[0023] Der Membran-Sensor, bestehend aus zwei Membranen, wird frei tragend aufgehängt, um die Einwirkung des Messdruckes von beiden Seiten zu ermöglichen.

[0024] Ein optional mit einlaminiertes Abstandshalter oder ein mit auflaminiertes Versteifungsrahmen besteht z. B. aus LTCC- oder HTCC-Glaskeramik-Folien, wobei die Dicke dieser Folien gleich oder unterschiedlich zur Dicke der Membranfolien sein kann.

[0025] Das Mitlaminiertes von bereits ausgehärteten HTCC-Folien in Anordnungen mit LTCC-Membranen kann vorteilhaft sein, um bessere Maßhaltigkeit zu erreichen.

[0026] Ein milaminiertes Abstandshalter ist in geeigneter Weise ausgeschnitten (ausgestanzt), um die Bewegung der Membranen aufeinander zu ermöglichen.

[0027] Ein außen angebrachter Versteifungsrahmen kann die Auslenkung der Membranen nach außen begrenzen und als mechanischer Schutz dienen.

[0028] Weiter kann in diesem Abstandshalter oder in einer oder beiden Membranen eine Ausparung angebracht sein, um die entstehende Kaverne mit dem Außenraum zu verbinden. Diese Ausparung kann so ausgeführt sein, dass sie nach Herstellung eines gewünschten Referenz-Druckes in der Kaverne gasdicht verschließbar ist.

[0029] Es wird ein Herstellverfahren beschrieben, bei dem der der Abstand der beiden Membranen (z. B. aus LTCC) während des Laminiervorganges, damit auch der Abstand der beiden Membranen im Ruhezustand, d. h. ohne einwirkende Druckdifferenz, von einem zunächst aufgebrachten Platzhalter bestimmt wird, der vor Fertigstellung thermisch ausgetrieben (ausgeschmolzen oder ausgegast) bzw. nach Oxidation ausgegast werden kann.

[0030] Die Dicke des Platzhalters wird so gewählt, dass nach Trocknen des Platzhaltermaterials und nach Anwendung des Laminiertdruckes der gewünschte Membranabstand (z. B. 20µ) vorliegt.

[0031] Die flächige Ausdehnung des Platzhalters wird so gewählt, dass der zur Auslenkung vorgesehene „aktive“ Bereich der Membranen überdeckt ist.

Der zur Verbindung der beiden Membranen bestimmte Randbereich wird nicht mit dem Platzhalter beschichtet.

[0032] Die Membranen werden durch den Laminierdruck vorgeformt.

[0033] Eine Wölbung nach außen entsteht bei direktem Aufeinander-Laminieren der Membranen. Nach innen gewölbt sind die Membranen, wenn ein Abstandshalter mit einlaminiert ist, dessen Dicke größer ist als die Dicke des Platzhalters.

[0034] Statt der vorzugsweise vorgeschlagenen Glaskeramik kann als Material für die Membranen auch entsprechend strukturiertes Glas Verwendung finden. Die Glasmembranen werden durch gezieltes thermisches Zusammenschmelzen, beispielsweise am äußeren Rand, gasdicht zu einem homogenen Sensor verbunden.

[0035] Gegenüber einer gleich großen Anordnung Trägerkörper-Membran ist bei der erfindungsgemäßen Anordnung mit zwei bewegten Membranen mit doppeltem Signalhub zu rechnen.

[0036] Dies gilt unabhängig davon, welche Art der Umsetzung der Auslenkung der beiden Membranen in ein elektrisches Signal gewählt wird.

[0037] Es ist lediglich dafür Sorge zu tragen, dass die elektromechanischen Wandlerelemente (Elektrodenflächen, Dehnungsmesselemente, piezo-resistive Messelemente) in Ruhelage stressfrei auf den Membranen angebracht sind und keine Bimetall-Effekte erzeugen. Für kapazitive Elektrodenflächen wird eine geeignete Geometrie vorgeschlagen.

[0038] Weitgehend stressfrei erfolgt erfindungsgemäß auch die Kontaktierung der Wandlerelemente.

[0039] Wegen des homogenen Aufbaus und des geringen Gewichtes des Doppelmembran-Sensors können die Kontaktierungsstellen vorzugsweise gleichzeitig als Haltevorrichtung dienen.

[0040] In erfindungsgemäßen Kombinations-Sensor-Anordnungen wird der Doppelmembran-Sensor zusammen mit anderen hierfür speziell angepassten Sensorausbauten (Pirani, Magnetron, Bayard-Alpert) in einer gemeinsamen Messzelle untergebracht.

[0041] Es werden Kombinations-Sensor-Anordnungen beschrieben, bei denen der Doppelmembran-Sensor gleichzeitig als Barriere gegen eindringende Partikel oder Strahlung dient.

[0042] Der Doppelmembran-Sensor kann bei gleicher flächiger Erstreckung einfach durch Mitlaminierten dickerer Membranfolien oder durch Aufeinander-

schichten und Mitlaminierten von zwei oder mehreren Membranfolien gleicher oder unterschiedlicher Dicke und gleichen Materials in weiten Bereichen bezüglich des Messbereiches angepasst werden.

[0043] Der Doppelmembransensor ist als Absolut-Druck-Sensor verwendbar, wenn die Kaverne zwischen den Membranen evakuiert und gasdicht verschlossen wird. Ein Verfahren hierzu ist ebenfalls beschrieben.

[0044] Um in der Kaverne den Referenzdruck auf lange Zeit unter einem kritischen Wert zu halten, kann in bekannter Weise ein Getter in den Sensor eingebracht sein. Vorzugsweise wird hierbei als Elektrodenbeschichtung ein Material verwendet, das Gettereigenschaften aufweist.

[0045] Es wird jedoch auch eine Ausführung und ein Verfahren beschrieben, den Referenzdruck in der Kaverne mittels Wärmeleitfähigkeit zu messen. Dies kann zyklisch oder beispielsweise bei jedem Einschalten geschehen.

[0046] Die Elektrode ist dafür so ausgelegt, dass sie einen temperaturabhängigen Widerstand bildet, der über einen zusätzlichen Anschluss mit Strom versorgt und ausgelesen werden kann.

[0047] Für den Einsatz des Doppelmembran-Sensors als Relativ-Druck-Sensor wird ein Verfahren angegeben, die Referenz-Druck-Kaverne zwischen den Membranen von der Referenz-Druck-Atmosphäre zu trennen, wobei der Referenz-Druck über einen verschiebbaren Flüssigkeits-Tropfen in der mäanderförmigen Verbindung angeköpelt bleibt.

[0048] Zur Herstellung dieser Medientrennung ist ebenfalls ein geeignetes Verfahren angegeben.

[0049] Die Fertigung der verschiedenen Varianten des Doppelmembran-Sensors kann im Mehrfach-Nutzen (größere Laminier-Folien und Aufteilung nach Einbrennen) erfolgen.

Vorteile der Erfindung

[0050] Der homogene Aufbau aus einem Material bedeutet gleichmäßige Ausdehnung bei Temperaturänderungen. Mechanische Spannungen, die bei Materialien unterschiedlicher Ausdehnung zur Verfälschung der Messung führen, werden dadurch vermieden.

[0051] Bei gleicher Sensorfläche ergibt sich durch die Doppelmembran der zweifache Signalhub im Vergleich zu üblichen Sensoren, was insbesondere bei engen Einbauverhältnissen in Kombi-Messzellen vorteilhaft ist.

[0052] Die Sensoren auf Glaskeramik-Basis lassen sich kostengünstig im Verbund herstellen.

[0053] Der Aufbau aus einem einzigen zusammengesintertem bzw. zusammengeschmolzenem Material verspricht hohe Dichtigkeit auf lange Sicht. Zudem kann die Dichtigkeit in einer erfindungsgemäßen Variante überprüft werden.

[0054] Kombinations-Sensoren mit einem derartigen Drucksensor können kleine Abmessungen haben, wodurch die unterschiedlichen Sensorprinzipien vorteilhaft wirklich gleichem Druck des Messmediums ausgesetzt sind.

[0055] Der Drucksensor kann gleichzeitig als Schutzblende wie auch als weiterer Elektrodenträger dienen.

Ausführungsbeispiel

Zeichnungen

[0056] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnungen erläutert.

[0057] Es zeigen

[0058] [Fig. 1a](#), [Fig. 1b](#), [Fig. 1c](#), [Fig. 1d](#): Erfindungsgemäße Sensoren im Schnitt mit einer ersten Membran **101** und einer zweiten Membran **102**, im Randbereich **150** miteinander verbunden, auf die jeweils der gleiche Druck p des Messmediums wirkt, sowie Darstellung einer geeigneten kapazitiven Elektrode.

[0059] [Fig. 1a](#): Einen erfindungsgemäßen Sensor, bei dem die beiden Membranen **101**, **102**, beispielsweise aus vor bearbeiteter Glaskeramik-Folie, ausgehend vom Verbindungsbereich **150** leicht nach außen gewölbt sind und somit eine Kaverne **105** bilden, in der sich die Elektrodenbeläge **104** in geringem Abstand gegenüberstehen.

[0060] [Fig. 1b](#): Einen erfindungsgemäßen Sensor, bei dem die beiden Membranen **101**, **102**, beispielsweise aus vor bearbeiteter Glaskeramik-Folie, ausgehend vom Verbindungsbereich **150** leicht nach innen gewölbt sind, da zwischen den beiden Membranen im Verbindungsbereich ein Abstandshalter **103** aus gleichem oder artverwandtem Material eingefügt und mit diesen fest verbunden ist. Die Dicke des Abstandshalters **103** kann vorzugsweise der Dicke der Membranen entsprechen. Der Abstandshalter **103** kann jedoch auch dünner oder dicker sein.

[0061] Zwischen den Membranen ist die Kaverne **105** eingeschlossen, in der sich die Elektrodenbeläge **104** in geringem Abstand gegenüberstehen.

[0062] Vor geformte Befestigungs-Löcher **106** können zugleich zur elektrischen Verbindung genutzt werden, wenn die Elektrodenbeläge **104** bis in den Verbindungsbereich **150** herausgeführt sind.

[0063] [Fig. 1c](#): Eine beispielhafte Befestigung und Kontaktierung eines Sensors nach [Fig. 1b](#) (Schnitt A, s. [Fig. 1d](#)) auf einem üblichen Sockel **190**, wobei die Kontaktstifte **191** mit einer Glaspressdurchführung **192** isoliert sind. Der Sensor ist mit geeignetem Lot **110** befestigt und kontaktiert.

[0064] [Fig. 1d](#): Ein Beispiel für eine Membran-Elektrode **102** eines erfindungsgemäßen Sensors (Schnitt B, s. [Fig. 1c](#)), wobei die Metallisierung **104** sowohl zur Kontaktzuführung, wie auch als Elektrodenfläche dient.

[0065] Die Elektrodenfläche selbst ist dabei mit schmalen Trennstegen **107** teilweise unterbrochen, um einen Bimetall-Effekt mit der Trägermembran zu vermeiden, wobei durch die verbleibenden Verbindungsstege ein einheitliches Potential beibehalten wird.

[0066] [Fig. 2a](#): Einen erfindungsgemäßen Doppelmembransensor nach [Fig. 1a](#) (Draufsicht, Ansicht A von unten, sowie Montagebeispiel mit Schnitt B) mit einer ersten Membran **201**, einer zweiten Membran **202**, Evakuierungskanal **208**, gasdichter Verschluss **209**, sowie Aussparungen zur Befestigung und Kontaktierung **211**.

[0067] Die gestrichelt angedeutete Kaverne mit Elektrodenflächen **205** ist hier rechteckig ausgeführt.

[0068] Das Montagebeispiel zeigt eine Lotmontage im rechten Winkel zum Sockel **290** mit Glaspressdurchführungen für die Kontaktstifte **291**.

[0069] Der Doppelmembransensor ist auf den Befestigungs-Stiften **291** mit einem geeigneten Lot **210** aufgelötet.

[0070] Die Membran **201** und die Membran **202** haben dazu im Bereich der Kontaktstelle eine rechteckige Ausnehmung **211**, die bis zum (unteren) Membranrand reicht.

[0071] Alternativ sind die beiden Ausnehmungen nur in einer Membran, z. B. **202**.

[0072] Die Elektrode der Membran **201** ist dann mit einer üblichen Durchkontaktierung im Randbereich auf eine Kontaktfläche auf der Membran **202** durch verbunden.

[0073] [Fig. 2b](#): Einen erfindungsgemäßen Doppelmembransensor ähnlich [Fig. 1b](#) (Draufsicht, Ansicht A von oben, sowie Montagebeispiel mit Schnitt B) mit

einer ersten Membran **201**, einer zweiten Membran **202**, einem Abstandshalter **203**, sowie Aussparungen zur Befestigung und Kontaktierung **211**.

[0074] Auf die Darstellung von Evakuierungskanal und gasdichten Verschluss wurde hier verzichtet.

[0075] Die gestrichelt angedeutete Kaverne mit Elektrodenflächen **205** ist hier kreisrund.

[0076] Das Montagebeispiel zeigt eine Lotmontage im rechten Winkel zum Sockel **290** mit Glaspressdurchführungen für die Kontaktstifte **291**.

[0077] Der Doppelmembransensor ist mit einem geeigneten Lot **210** auf den Kontaktstiften **291** aufgelötet.

[0078] Eine der Kontaktierungs-Aussparungen **211** öffnet direkt den Zugang zu einer Elektrodenfläche, die andere ist über eine Durchkontaktierung abgeschlossen.

[0079] [Fig. 2c](#): Einen erfindungsgemäßen Doppelmembransensor nach [Fig. 2a](#) in einer Kombinations-Sensor-Anordnung.

[0080] Der Doppelmembransensor **201**, **202** ist mit geeignetem Lot **210** auf Kontaktstiften **291** aufgelötet, die mittels Glaspressdurchführungen im Sockel **290** befestigt sind.

[0081] Auf dem Sockel **290** befinden sich weitere Glaspressdurchführungen **292** mit Kontaktstiften **291**, die eine Pirani-Messwendel **220** tragen bzw. über Bonddrähte mit einem mikrosystemtechnisch hergestellten Wärmeleitungs/Wärmekapazitäts-Messelement verbunden sind.

[0082] Gestrichelt angedeutet ist ein zweiter Doppelmembransensor **280**, beispielsweise mit anderem Messbereich als der erste.

[0083] Es ist ein Montageflansch **250** angedeutet, in den der Sockel **290** metallisch gedichtet eingesetzt ist, mit einer Eindrehung **251**, die Schutz und Abschirmung für die durch Flansch und Sockel gebildete Messzelle darstellt.

[0084] Es ist davon auszugehen, dass innerhalb dieser Messzelle die beiden bzw. die drei Sensoren (erster Doppelmembransensor, optional zweiter Doppelmembransensor, Pirani) dem gleichen Messdruck p ausgesetzt sind.

[0085] Dieser Messdruck p entspricht dem Druck des Messmediums **253** bzw. folgt diesem mit geringer Verzögerung, wenn die Eindrehung **251** ausreichend dimensioniert ist.

[0086] Die Tatsache, dass Sensoren mit unterschiedlichen Messprinzipien gleichzeitig dem gleichen Messdruck p ausgesetzt sind, lässt sich vorteilhaft für verschiedene Zwecke nutzen:

A) Messbereichserweiterung

[0087] Werden verschiedene oder gleiche Sensorprinzipien kombiniert, die unterschiedliche Messbereiche, jedoch einen gemeinsamen Überschneidungsbereich haben, kann ein Kombinations-Sensor ein durchgängiges Signal über die Summe der Messbereiche der betreffenden Sensorprinzipien liefern.

[0088] Beispiel: Der Doppelmembransensor wird für einen Maximaldruck (Anlagedruck) von etwas über Atmosphärendruck ausgelegt mit einem Messbereich, der bis zu einigen Millibar reicht und das Pirani-Messelement so dimensioniert, dass dessen Messbereich mit guter Auflösung von ca. 20 mbar bis zu 0.0001 mbar reicht.

[0089] Der entsprechende Kombinations-Sensor kann dann sieben Druck-Zehnerpotenzen mit guter Auflösung darstellen.

[0090] Ähnliches gilt, wenn man Sensoren mit gleichem Sensorprinzip, jedoch unterschiedlichen Messbereichen kombiniert (beispielsweise Doppelmembransensoren mit gleichen Abmessungen, jedoch unterschiedlicher Membrandicke bzw. Anzahl der Glaskeramikfolien-Lagen).

B) Zustands-Diagnose für das Messmedium

[0091] Wenn verschiedene Sensorprinzipien, die sich in ihren Eigenschaften (beispielsweise bezüglich ihrer Abhängigkeit von der Art des Messmediums) grundsätzlich unterscheiden, einen gemeinsamen Messbereich haben oder sich in weiten Bereichen ihrer Messbereiche mit guter Auflösung überschneiden, in der Messzelle dem gleichen Messdruck des Messmediums ausgesetzt und die einzelnen Sensoren aufeinander abgeglichen sind, kann ein derartiger Kombinations-Sensor neben den Druck-Messwerten auch Messwerte über die Zusammensetzung des Messmediums liefern.

Vorteilhafte Anwendung:

[0092] Ein Doppelmembran-Sensor (oder ein erster und ein zweiter Doppelmembransensor) und ein Pirani-Messelement (z. B. Messwendel oder mikrosystemtechnisch hergestelltes Messelement für Wärmeleitung und/oder Wärmekapazität) werden so ausgelegt, dass sie in dem für die Gefriertrocknung relevanten Bereich von ca. 6 mbar bis 0,01 mbar gute Auflösung und Genauigkeit zeigen.

[0093] In einem vorbestimmten Bereich, zumindest

an zwei Messwerten, werden die beiden (bzw. drei) Ausgangssignale von Doppelmembransensor und Pirani so aufeinander abgeglichen, dass sie gleiche Signale liefern, wenn der Wasserdampf-Partialdruck im gemeinsamen Messdruck p gleich oder annähernd gleich Null ist.

[0094] Während des Gefriertrocknungs-Prozesses weichen die Ausgangssignale von Doppelmembransensor(en) und Pirani entsprechend der Restfeuchte im zu trocknenden Produkt voneinander ab. Gleiche Signale zeigen sich erst bei einem Trocknungsgrad, bei dem ein Wasserdampfpartialdruck im Rahmen der Auflösung des Messprinzips nicht mehr messbar ist.

[0095] Vorzugsweise wird das Pirani-Messelement mit dem Rampen-Impuls-Verfahren nach DE 101 15 715 B4 betrieben, da mit diesem Verfahren neben der Wärmeleitfähigkeit auch die bei Wasserdampf hohe Wärmekapazität des Messgases für das Signal nutzbar ist. Zudem wird der gemeinsame Messdruck in der Messzelle durch den Energieeintrag der Messung selbst nicht oder unwesentlich beeinträchtigt.

[0096] Im Vergleich dazu führt die übliche Betriebsweise mit konstanter hoher Temperatur des Pirani-Messelementes zu einem hohen Wasserdampf-Partialdruck-Gradienten vom Produkt zur Messzelle und ist damit fehlerbehaftet und unzureichend bezüglich des Endwertes.

[0097] [Fig. 2d](#): Eine Draufsicht auf eine Kombinations-Sensor-Anordnung nach [Fig. 2c](#), mit Doppelmembransensor **201**, **202** und Pirani-Messelement **220** auf dem Sockel **290**.

[0098] Gestrichelt angedeutet ist ein weiterer Doppelmembransensor **280** mit anderem Messbereich.

[0099] [Fig. 3a](#): Eine Kombinations-Sensor-Anordnung mit drei verschiedenen Messprinzipien.

[0100] Die Kombinations-Sensor-Anordnung aus Doppelmembransensor **301**, **302** mit Abstandshalter **303** (z. B. nach [Fig. 2b](#)) und einem Pirani-Messelement **320** wird ergänzt durch eine weitere runde Magnetron-Elektrode **330**, als Kontaktstift in einer Glaspressdurchführung ausgeführt.

[0101] Die Elektrode **330** ragt in den oberen Teil der Messzelle mit dem Brennraum **353** für ein Magnetron.

[0102] In üblicher Weise ist um diesen oberen Teil der Messzelle mit dem Brennraum **353** ein ringförmiger Magnet angeordnet, auf dessen Darstellung hier verzichtet wurde.

[0103] [Fig. 3b](#): Eine Draufsicht auf Sockel **390** aus

[Fig. 3a](#) mit dem Doppelmembran-Sensor **301/302/303** mit Lot-Befestigung, gleichzeitig Kontaktierung **310**, dem Pirani-Sensor **320** mit Befestigungs-Stiften **391** mit Glaspress-Durchführung **392** und der Magnetron-Elektrode **330**.

[0104] [Fig. 3c](#): Einen ähnlichen Kombinations-Sensor wie [Fig. 3a](#) in der Seitenansicht, jedoch ist der Doppelmembran-Sensor **301** parallel zur Sockelplatte **390** angeordnet und auf Halte- und Kontaktstiften **391** montiert und mit geeignetem Lot oder Leitkleber **310** kontaktiert.

[0105] Der Pirani-Sensor **320** ist durch den Doppelmembran-Sensor **301** vor direkten Einwirkungen aus dem Messmedium geschützt.

[0106] Vorzugsweise wird erfindungsgemäß der Pirani-Sensor hier und in allen beschriebenen Kombinations-Sensor-Anordnungen nach dem Verfahren in der DE 101 15 715 B4 des Anmelders betrieben, wodurch eine kleinstmögliche Aufheizung des Messraumes und minimaler Leistungsverbrauch gegeben ist.

[0107] Der Druck des Messmediums kann, wie in der Zeichnung mit "p" dargestellt, von beiden Seiten auf den Doppelmembran-Sensor wirken.

[0108] Optional ist weiter eine Magnetron-Elektrode **330** angeordnet.

[0109] [Fig. 3d](#): Die Draufsicht der Anordnung aus [Fig. 3c](#), wobei gestrichelt die Kaverne **305** des Doppelmembran-Sensors **301** angedeutet ist.

[0110] Die Kaverne öffnet sich nach außen zum Sensorrand mit dem Kanal **308**, der beispielsweise zur Evakuierung der Kaverne dient. Nach der Evakuierung ist dieser Kanal gasdicht mit dem Lotpfropfen **309** verschlossen.

[0111] Wenn optional eine Magnetron-Elektrode **330** vorhanden ist, hat der Sensor **301** eine Durchlass-Öffnung **331**. Zwischen dieser und einem inneren Ring **311** ist der Abstandshalter mit einlaminiert, so dass sich in diesem Fall eine kreisringförmige Mess-Kaverne **305** ergibt.

[0112] [Fig. 4a–Fig. 4f](#) Kombinations-Sensoren mit drei verschiedenen Messprinzipien: Doppelmembran-Sensor, Pirani-Messelement und Ionisations-Sensoren ähnlich Bayard-Alpert (B/A), letztere mit Heißkathode oder Feldüberhöhungs-Elektronenquelle.

[0113] Die spezielle Ausführungsform dieser Ionisations-Anordnung ist dem Stand der Technik nicht zu entnehmen und stellt insofern eine eigene erfindungsgemäße Lösung dar, wobei Anordnung der einzelnen Elemente sowie die Geometrie den Vorgaben

durch den Doppelmembransensor folgen.

[0114] Der Stand der Technik geht z. B. aus der WO 00/04358, **Fig. 6** hervor. Dort ist der übliche zylindrische Aufbau ("Glühkathoden-Messelement Bayard-Alpert **28**") mit einer außen liegenden Heißkathode, zylinderförmigem Anodengitter und einem zentralen Ionenfänger dargestellt.

[0115] Im Gegensatz dazu sind erfindungsgemäß die B/A-Elemente flächig parallel zur Sockelplatte angeordnet. Die Messzelle wird durch den ebenfalls parallel zur Sockelplatte befestigten Doppelmembransensor abgedeckt.

[0116] **Fig. 4a**: Eine Seitenansicht des erfindungsgemäßen Kombinations-Sensors mit der Sockelplatte **490**, Durchführungs- und Haltestiften **491**, Doppelmembran-Sensor **401** mit Vakuum-Verschluß **409** und Befestigungs- bzw. Kontakt-Lötstellen **410**.

[0117] Zwischen Sockelplatte und Doppelmembran-Sensor sind Teile der B/A-Anordnung dargestellt: Ionenfänger **442** und zwei Anodenwendeln **441** (anstelle der üblichen einen zylinderförmigen Wendel).

[0118] **Fig. 4b**: Eine Draufsicht der Anordnung nach **Fig. 4a** mit Kaverne **405** und Kanal **408** (gestrichelt) zur Evakuierung des Doppelmembran-Sensors **401**.

[0119] **Fig. 4c**: Einen Schnitt (A) durch den Kombinations-Sensor, der hier zusammen mit einem Trägerteil (Flansch) **450** dargestellt ist.

[0120] Die Messzelle, die durch den Sockel **490** und den Doppelmembran-Sensor **401** begrenzt wird, ist durch eine Eindrehung (Steg) **451** vor mechanischen Einwirkungen aus dem Messraum **453** geschützt.

[0121] Auf zwei Kontaktstiften angeordnet ist die Pirani-Messwendel **420**.

[0122] Drei Kontaktstifte tragen zwei Heißkathoden **440**, z. B. Wendeln, wobei eine als Reserve dient.

[0123] **Fig. 4d**: Einen Schnitt (B) durch den Kombinations-Sensor mit der Pirani-Messwendel **420**, Ionenfänger **442**, zwei Heißkathoden **440** und zwei Anodenwendeln **441**.

[0124] **Fig. 4e**: Eine Kombinations-Sensor-Anordnung ähnlich **Fig. 4c**, jedoch sind die verschleißanfälligen Heißkathodenwendeln ersetzt durch eine mikrosystemtechnisch hergestellte Feldüberhöhungs-Elektronenquelle („Feldüberhöhungs-Kathode“, „Feldüberhöhungs-Emitter“) **446**, die mittels Bonddrähten an den Kontaktstellen **445** angeschlossen wird.

[0125] Auch die Pirani-Messwendel **420** kann durch

ein mikrosystemtechnisch hergestelltes Wärmeleitungs/Wärmekapazitäts-Messelement ersetzt sein.

[0126] Ergänzend zu den Anodenwendeln **441** wird eine weitere Anoden-Ebene **447** auf einer mit dem Doppelmembransensor verbundenen weiteren Lage Glaskeramik vorgesehen, um den Raum gleichen Potentials zu vergrößern und somit die Ionenausbeute zu erhöhen.

[0127] **Fig. 5a–Fig. 5d**: Einen Kombinations-Sensor mit Doppelmembran-Sensor, zwei Pirani-Messwendeln und einer üblichen Kaltkathoden-Anordnung (Magnetron), wobei für letztere eine zusätzlich auf den Doppelmembran-Sensor mit auflaminierte Zündhilfe-Scheibe vorgesehen ist.

[0128] **Fig. 5a**: Eine Seitenansicht des Kombinations-Sensors mit der Sockelplatte **590**, Durchführungs- und Haltestiften **591**, Doppelmembran-Sensor mit auflaminiertes Zündhilfe **501** und zwei Pirani-Messwendeln **520**.

[0129] Die doppelte Anordnung der Pirani-Messwendel dient der Verlängerung der Lebensdauer des Kombinations-Sensors und ist mit Patent DE 199 03 010 B4 für den Anmelder geschützt.

[0130] Die Ansicht zeigt zudem die Magnetron-Elektrode **530**.

[0131] **Fig. 5b**: Eine Draufsicht auf den Kombinations-Sensor lt. **Fig. 5a**.

[0132] Die Magnetron-Zündhilfe ist als leitender Ring **535** mit dem elektrischen Anschluß **536** dargestellt.

[0133] Der Doppelmembran-Sensor mit der ringförmigen Kaverne **505**, dem Evakuierungs-Kanal **508** und dem Vakuum-Verschluß **509** wird über die Kontakt-Lötstellen **510** angeschlossen.

[0134] **Fig. 5c**: Einen Schnitt (A) durch den Kombinations-Sensor, der hier zusammen mit einem Trägerteil (Flansch) **550** dargestellt ist.

[0135] Die Messzelle, die durch den Sockel **590** und den Doppelmembran-Sensor **501** (mit Zündhilfe) begrenzt wird, ist durch eine Eindrehung (Steg) **551** vor mechanischen Einwirkungen aus dem Messraum **553** geschützt.

[0136] Auf je zwei Kontaktstiften angeordnet sind die beiden Pirani-Messwendeln **520**.

[0137] Die Magnetron-Elektrode **530** wird durch ein Isolier-Rohr **532** innerhalb der Messzelle abgegrenzt, um ein Überspringen der Hochspannung auf die Pirani-Wendeln zu verhindern.

[0138] An den Zündhilfe-Ring **535** kann über die Kontaktierung **536** eine geeignete Zündspannung von außen angelegt werden.

[0139] Der Verbund Doppelmembran-Sensor und Zündhilfe verfügt über entsprechend isolierte Durchkontaktierung.

[0140] [Fig. 5d](#): Einen Schnitt (B) des Kombinations-Sensors nach [Fig. 5c](#) mit der Magneton-Elektrode **530**, dem Isolier-Rohr **532**, den beiden Pirani-Messwendeln **520** auf dem Sockel **590**.

[0141] [Fig. 6a–Fig. 8b](#): Weitere Ausführungsformen des Doppelmembransensors ([Fig. 6d](#), [Fig. 6e](#), [Fig. 6f](#)) sowie geeignete Herstellverfahren, beispielhaft dargestellt mittels Sensoren nach [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6f](#)

[0142] [Fig. 6a](#): Einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Doppelmembran-Sensor nach [Fig. 1a](#), mit einer ersten Membran **601**, einer zweiten Membran **602**, einem Abstandshalter **603**, leitenden Elektrodenflächen **604**, einer Kaverne **605** und Platzhalter **660**.

[0143] [Fig. 6b](#): Seitenansicht und eines Sensors nach [Fig. 6a](#) mit Evakuierungskanal **608** und Metallisierung **619**.

[0144] [Fig. 6c](#): Eine Draufsicht eines Sensors lt. [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) mit der Membran **601**, gestrichelt angedeutet Kaverne **605** und Platzhalter **660**, sowie Evakuierungskanal **608**.

[0145] Die lötbare Metallisierung **619** besteht aus einem der Länge nach aufgetrennten Durchkontaktierungsloch (s. [Fig. 7](#)).

[0146] [Fig. 6d](#), [Fig. 6e](#), [Fig. 6f](#) Einen erfindungsgemäßen Doppelmembran-Sensor ohne Abstandshalter, jedoch mit äußeren Versteifungsrahmen.

[0147] [Fig. 6d](#): Einen erfindungsgemäßen Doppelmembran-Sensor im Schnitt mit einer ersten Membran **601**, einer zweiten Membran **602**, leitenden Elektrodenflächen **604** und dem Platzhalter **660**.

[0148] Auf einen Abstandshalter wurde hier verzichtet.

[0149] Zur mechanischen Versteifung sind die Versteifungsrahmen **681** und **682** aus Material der gleichen Art (z. B. Glaskeramik LTCC oder HTCC) vorgesehen.

[0150] Die Versteifungsrahmen **681** und **682** können die Membranen **601** und **602** zu deren mechanischen Schutz teilweise überdecken. Diese Überdeckung kann auch eine Ausdenkung der Membranen

nach außen begrenzen.

[0151] Die Versteifungsrahmen müssen eine ausreichend große Zuführung des Messmediums **661** frei lassen.

[0152] [Fig. 6e](#), [Fig. 6f](#): Eine Seitenansicht und eine Draufsicht eines Doppelmembran-Sensors nach [Fig. 6d](#) mit der Zuführung für das Messmedium **661**, der gestrichelt angedeuteten Ausdehnung des Platzhalters **660**, der auch den Evakuierungskanal **608** überdeckt und somit offen hält.

[0153] Die Metallisierungs-Inseln **683** und **684** dienen zum späteren Verschließen des Evakuierungskanals **608**.

[0154] Verfahren zur Herstellung und zum vakuumdichten Verschließen von Doppelmembran-Sensoren, wie unter [Fig. 1a](#) bis [Fig. 6f](#) beschrieben: Das Verfahren zur Herstellung eines derartigen Sensors weist folgende Schritte auf:

1. In die ungesinterten, noch flexiblen Glaskeramik-Membranfolien **601** und **602** werden (vorzugsweise im Verbund s. [Fig. 7](#)) Befestigungs- und Durchkontaktierungs-Löcher gestanzt, sowie leitende Beschichtungen **604** aufgebracht, z. B. durch Siebdrucken, Aufspütern, Aufdampfen etc., und soweit nötig getrocknet. Optional kann die leitende Beschichtung aus Getter-Material bestehen.

2. Ein Platzhalter **660** aus einem Material, das sich thermisch schmelzen, verdampfen oder oxidieren und somit austreiben lässt, wird z. B. per Siebdruck auf eine Membran **602** oder auf beide Membranen **601** und **602** aufgetragen und getrocknet.

Die Dicke wird dabei so dimensioniert, dass sie dem gewünschten Abstand der beiden Membranen im Fertigungszustand bei anliegendem Laminierdruck entspricht. Um eine gewünschte Vorprägung der Membranen beim Laminieren zu unterstützen, kann eine der Membranen oder beide Membranen auch rückseitig mit einer Platzhalterschicht geeigneter Dicke (**661**) beschichtet sein.

3. Der (optionale) Abstandshalter **603** wird mit entsprechenden Aussparungen für die Kaverne **605** und für Befestigungs- und Durchkontaktierungs-Löcher etc. versehen.

Wenn dieser Abstandshalter aus HTCC besteht, kann er ebenfalls noch ungesintert oder optional vorgesintert sein.

4. Membran **602**, Abstandshalter **603** (optional) und Membran **601** oder Membranen **602**, **601** und optionale Versteifungsrahmen **681**, **682** werden zusammengefügt und dem für Glaskeramik üblichen Laminierdruck ausgesetzt.

Durch den hohen Laminierdruck ergibt sich die in der Zeichnung angedeutete Vorprägung der Membranen, z. B. die Krümmung in Richtung der

Kaverne, wenn der Platzhalter **660** im komprimierten Zustand eine geringere Dicke aufweist als der Abstandshalter **603**.

Eine Krümmung nach außen liegt vor, wenn kein Abstandshalter eingefügt ist.

5. In einer Heizvorrichtung, z. B. Sinterofen, erfolgt bei geeignetem Temperaturverlauf das Austreiben bzw. Oxidieren und Austreiben der Platzhalter-Schicht **660**, sowie das Zusammensintern der Glaskeramik-Folien **602**, **603** (optional), **601**.

[0155] Es ist in einer ersten Variante möglich, das Platzhaltermaterial durch offene Poren der Glaskeramik in noch ungesintertem Zustand auszutreiben, wenn der gasförmige Zustand des Platzhaltermaterials bereits bei Temperaturen erreicht wird, die unter der Sintertemperatur der Glaskeramik liegt.

[0156] In einer zweiten Variante erfolgt das Austreiben des Platzhaltermaterials wie in der ersten Variante, jedoch in einer vakuumdichten Heizvorrichtung.

[0157] Nach Austreiben des Materials senkt man mittels Vakuumpumpen den Druck weiter ab, während z. B. durch Infrarotheizung die Temperatur bis zur Sintertemperatur der Glaskeramik weiter erhöht wird und sich somit ein Vakuum-Einschluß der Kaverne **605** ergibt.

[0158] Eine dritte Variante setzt einen Evakuierungskanal **608** (s. [Fig. 6b](#), [Fig. 6c](#), [Fig. 6e](#), [Fig. 6f](#)) voraus. Dieser Evakuierungskanal **608** wird ebenfalls mit dem Platzhalter **660** beschichtet. Das Platzhaltermaterial wird flüssig oder gasförmig durch den Evakuierungskanal ausgetrieben. Dies kann je nach Platzhaltermaterial vor oder nach Erreichen der Sintertemperatur erfolgen.

[0159] [Fig. 7](#): Einen "Nutzen" (bzw. "Wafer") aus Glaskeramik-Folie mit handels-üblicher quadratischer Abmessung, der eine Vielzahl von Doppel-Membran-Sensoren **701** mit angedeuteten Kavernen **705** aufweist.

[0160] Im Verbund werden in üblicher Weise Durchkontaktierungslöcher **718** mit lötfähiger Metallisierung hergestellt.

[0161] Nach Austreiben des Platzhaltermaterials und Sintern (s. Verfahren lt. [Fig. 6ff](#)) können die Sensoren bereits im Verbund vermessen bzw. getestet werden und falls geeignete leitende Schichten oder Widerstandsschichten auch aussen angebracht sind, beispielsweise mit Laser abgeglichen werden.

[0162] Dann wird der Nutzen an den Trennlinien (Beispiel **717**) eingeritzt und gebrochen oder mit anderen Verfahren (Laser, Säge etc.) getrennt und somit die Sensoren vereinzelt.

[0163] Die einzelnen Sensoren weisen dann halbe Durchkontaktierungslöcher **719** (der Länge nach aufgetrennt) auf.

[0164] [Fig. 8a](#): Ein Verfahren zum vakuumdichten Verschließen eines Kanals **808**, der sowohl zum Austreiben eines Platzhalters, als auch zum Evakuieren der Kaverne **805** dienen kann.

[0165] Die vereinzelt Sensoren **801** mit lötlbarer Metallisierung **819** (bzw. **683/684**) werden dazu in einen Träger **850** senkrecht eingestellt.

[0166] Danach legt man in die halbkreisförmige Rinne (Aneinanderfügung von halben Durchkontaktierungslöchern) einen geeigneten Lotdraht **870** ein.

[0167] Nach Einbringen der Anordnung in eine vakuumdichte Heizvorrichtung wird diese zunächst auf den gewünschten Druck evakuiert.

[0168] Dann werden die Sensoren und der Lotdraht entsprechend erhitzt, um ein Einziehen des Lotes in die halbkreisförmige Metallisierung **819** (bzw. in die metallisierte Kanal-Öffnung **683/684** nach [Fig. 6e](#)) zu bewerkstelligen.

[0169] [Fig. 8b](#): Detailansichten (Draufsicht bzw. Querschnitte des Abstandhalters **803**) der Anordnung lt. [Fig. 8a](#) mit dem zu verschließenden Kanal **808**, der Metallisierung **819** und dem Lotdraht **870**.

[0170] Die Querschnitte zeigen den Kanal während des Evakuierens. Gas kann am Lotdraht **870** vorbei entweichen.

[0171] Nach Temperaturerhöhung und dem Verfließen des Lotdrahtes in die Form des Verschluss-Pfropfens **809** kann dieser in dieser Form abkühlen und so den Kanal luftdicht verschließen.

[0172] [Fig. 9](#): Eine weitere Variante einer Membran-Elektrode (ähnlich [Fig. 1d](#)) auf einer Membran **902**, mit leitendem oder halbleitendem Material **904** und Kontaktstellen **914** und **915**.

[0173] Wenn der Abstand **907** klein dimensioniert ist, kann die gesamte Elektrodenfläche (wie in [Fig. 1d](#)) als kapazitive Elektrode mit einheitlichem Potential dienen, ist jedoch auch zugleich entsprechend mechanisch entkoppelt, um Bimetall-Effekte zu vermeiden.

[0174] Im Gegensatz zu [Fig. 1d](#) ist die Fläche jedoch aus aneinandergereihten Segmenten zusammengesetzt, so dass sich zwischen **914** und **915** ein elektrischer Widerstand abhängig von Art und Dicke des Materials **904** messen läßt. Wählt man ein Material, das einen temperaturabhängigen Widerstand aufweist, kann man den zwischen **914** und **915** zu

messenden Widerstand als Maß für die Membrantemperatur verwenden.

[0175] Somit ergibt sich die Möglichkeit, aus der Membranelektrode zusätzlich zum Druck ein Temperatursignal zu erhalten.

[0176] Wenn die Membrane **902** Teil eines Drucksensors ist, der zur Absolut-Druckmessung dienen soll und dessen Kaverne evakuiert ist, kann der temperaturabhängige Widerstand zwischen **914** und **915** dazu dienen, den tatsächlichen Absolutdruck innerhalb der Kaverne zumindest näherungsweise zu ermitteln.

[0177] Durch einen derartigen Selbsttest wird die korrekte Funktion des Sensors vorteilhaft bestätigt.

[0178] Für diesen Selbsttest wird vorzugsweise das Verfahren einer rampenartigen Aufheizung zur Erfassung der Wärmeleitfähigkeit angewendet, wie es in der DE 101 15 715 B4 für den Anmelder geschützt ist: Der Widerstand **914–915** wird an eine stetig ansteigende Spannung gelegt, bis ein vorgegebenes Temperaturniveau, einem bestimmten Widerstand entsprechend, erreicht ist. Dieses Temperaturniveau wird bereits nach kurzer Zeit erreicht, wenn das Referenzvakuum in der Kaverne stabil ist.

[0179] Hat sich das Referenzvakuum durch ein Leck verschlechtert, muss zusätzlich das eingeströmte Gas aufgeheizt werden und die Zieltemperatur wird später erreicht.

[0180] Wird hingegen nach üblichem Pirani-Verfahren der Widerstand auf einer Membrane oder auf beiden Membranen und somit die Temperatur auf einen konstanten Wert geregelt, wird sich die zugeführte Leistung als Maß für die Wärmeleitfähigkeit der gesamten Anordnung durch ein Leck geringfügig erhöhen.

[0181] Es ist auch möglich, die Wärmeleitfähigkeit in der Kaverne und damit den Zustand des Referenz-Vakuums zu überprüfen, indem der Widerstand auf einer Membran aufgeheizt und das Erwärmungs-Signal auf der gegenüberliegenden Membran durch Messung des elektrischen Widerstandes erfasst wird.

[0182] Sowohl das Verfahren zur Temperaturerfassung der Membran, wie auch die beschriebenen Methoden zum Selbsttest der Vakuum-Referenz sind dem Stand der Technik nicht zu entnehmen.

[0183] [Fig. 10a](#): Eine Seitenansicht und eine Draufsicht eines Doppelmembran-Sensors, bestehend aus einer ersten Membran **1001**, einer zweiten Membran **1002** und einem Abstandshalter **1003**.

[0184] Dieser Sensor soll zur Relativ-Druckmessung dienen.

[0185] In der Draufsicht ist deshalb eine Anschlussöffnung **1006** und ein beispielsweise lötfähiger Anschlussring **1010** für den Referenzdruck zu erkennen.

[0186] Die Kaverne **1005** ist gestrichelt angedeutet, ebenso ein Kanal **1008**, der mäanderförmig zur Anschlussöffnung **1006** führt.

[0187] [Fig. 10b](#): Eine Draufsicht auf den Abstandshalter **1003** aus [Fig. 10a](#) mit der Ausnehmung für die Kaverne **1005**, dem mäanderförmigen Kanal **1008** und der Anschlussöffnung **1006**.

[0188] Innerhalb des Kanals **1008** ist ein Flüssigkeitstropfen (z. B. Silikonöl) **1009** zu erkennen. Dieser "verschiebbare Pfropfen" dient dazu, das Eindringen von Wasserdampf oder anderen Dämpfen in die Kaverne **1005** zu verhindern.

[0189] Derartige Dämpfe könnten die Dielektrizitätskonstante innerhalb der Kaverne verändern und somit zu Fehlmessungen führen.

[0190] Das Verfahren zur Herstellung dieser Dampfsperre für Relativdruck-Sensoren umfasst folgende Schritte:

1. Aufheizen der Sensoren zum Austreiben vorhandener Dämpfe aus der Kaverne und Aufrechterhaltung eines bestimmten Temperaturniveaus.
2. Dosieren einer bestimmten Flüssigkeitsmenge, der gewünschten Pfropfen-Abmessung entsprechend, in die Anschlussöffnung **1006**.
3. Abkühlen. Das Gas in der Kaverne zieht sich durch die Abkühlung zusammen. Es entsteht ein Unterdruck, der die Flüssigkeit als Pfropfen in den mäanderförmigen Kanal **1008** zieht.

[0191] Bei richtiger Dimensionierung und Temperaturwahl sollte sich der Flüssigkeitspfropfen in der Mitte des Kanals **1008** befinden, wenn Druckgleichgewicht zwischen dem Druck an den Membranen und dem Referenzdruck an der Anschlussöffnung **1006** herrscht.

[0192] Auch diese Sensorauslegung für Relativ- bzw. Differenzdrucksensoren und das entsprechende Verfahren konnten bislang im Stand der Technik nicht vorgefunden werden.

Patentansprüche

1. Drucksensor mit einer ersten Membran und einer zweiten Membran, die in Form und Abmessung der ersten gleich und die übereinander liegend miteinander fest verbunden sind und mindestens einem elektromechani-

schen Wandler, der eine durch einen auf die beiden Membranen einwirkenden Druck bedingte Auslenkung der Membranen in ein elektrisches Signal umwandelt.

2. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und zweite Membran spiegelsymmetrisch vorgeformt sind (**Fig. 1, Fig. 6d**), um eine Kaverne vordefinierter Größe einzuschließen.

3. Drucksensor nach Anspruch 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und zweite Membran aus gleichem Material bestehen, das vorzugsweise aus einer Gruppe von Glaskeramik-Materialien ausgewählt ist (Fachbezeichnung für Glaskeramiken: LTCC und HTCC) oder dass die erste und zweite Membran aus Glas bestehen, wobei optional die spiegelsymmetrische Vor-Formung durch Strukturieren (Ätzen) entsteht.

4. Drucksensor nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die spiegelbildlich vorgeformten Membranen und/oder die eingeschlossenen Kavernen Kreisform oder die Form von Kreisringen oder von Quadraten oder von Rechtecken oder quadratische oder rechteckige Ringform aufweisen.

5. Drucksensor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und/oder die zweite Membran aus einer oder aus mehreren Lagen handelsüblicher Glaskeramik-Folien (LTCC, HTCC) bestehen und durch die Lagenanzahl bei gleicher Grundfläche unterschiedliche Messbereiche bestimmt werden.

6. Drucksensor nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Abstandshalter aus Material der gleichen Gruppe wie die erste und zweite Membran zwischen beiden Membranen angeordnet und mit diesen fest verbunden ist, wobei die Verbindung je nach Material durch Laminieren oder Zusammenschmelzen erfolgen kann.

7. Drucksensor nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein äußerer Versteifungsrahmen aus Material der gleichen Gruppe wie die erste und zweite Membran am Rand der ersten oder der zweiten Membran oder beider Membranen angeordnet und mit dieser oder diesen fest verbunden ist.

8. Drucksensor nach Anspruch 6 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass Abstandshalter oder Versteifungsrahmen aus bereits vorgehärteter Glaskeramik HTCC bestehen.

9. Drucksensor nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass in der ersten und/oder zweiten Membran und/oder in einem verbundenen Abstandshalter oder

in einem oder mehreren verbundenen Versteifungsrahmen Aussparungen und/oder Löcher und/oder leitende Durchführungen und/oder ein Kanal oder Kanäle zum Evakuieren der Kaverne oder als Referenzdruckzuleitung zur Kaverne angeordnet sind, wobei optional ein derartiger Kanal in ein Loch mit Durchkontaktierungs-Metallisierung münden kann (s. **Fig. 6b, Fig. 6c**).

10. Drucksensor nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine elektromechanische Wandler auf der ersten Membran und/oder auf der zweiten Membran aus einer der folgenden Gruppen ausgewählt ist:
Kapazitive Elektroden, aufgedruckt oder aufgedampft oder aufgesputtert, Dünnschicht-Dehnungselemente resistiv, Widerstandspasten, Piezo-Elemente bzw. piezoelektrische Schichten.

11. Drucksensor nach Anspruch 10 mit kapazitiven Elektroden, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrodenfläche auf der ersten und/oder zweiten Membran durch Trennstege (**107**) teilweise unterbrochen ist, wobei Verbindungsstege zwischen den Teilflächen erhalten bleiben.

12. Drucksensor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass Elektrodenflächen aus leitendem Material mit definierter Temperaturabhängigkeit Verwendung finden (z. B. Nickel, Platin) und dass die verbleibenden Verbindungsstege angeordnet sind, um eine Reihenschaltung der Teil-Elektrodenflächen (Segmente) zu bilden.

13. Drucksensor nach Anspruch 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass elektromechanische Wandler auf der ersten und zweiten Membran angeordnet sind, um gegenüber einem Sensor mit Grundkörper und nur einer Membran einen doppelten Signalhub zu erhalten.

14. Drucksensor nach Anspruch 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass Aussparungen und/oder Löcher angepasst sind an die Abmessungen von Halte- und Kontaktierungs-Stiften einer abgedichteten elektrischen Durchführung (Sockel).

15. Kombinations-Sensor zur Druckmessung im Vakuumbereich mit einer Messkammer, in der der Messdruck auf einen Drucksensor oder auf mehrere Drucksensoren nach den Ansprüchen 1 bis 13 von allen Seiten einwirken kann, dadurch gekennzeichnet, dass die Messkammer ein Wärmeleitungs-Messelement (Piranisensorelement), optional ein weiteres Wärmeleitungs-Messelement entsprechend der DE 199 03 010 B4 enthält, das bzw. die dem gleichen Messdruck ausgesetzt ist bzw. sind.

16. Kombinations-Sensor zur Druckmessung im

Vakuumbereich nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Piranisensoelement (oder die zwei Piranisensoelemente gemäß DE 199 03 010 B4) entsprechend der DE 101 15 715 B4 ausgeführt und/oder betrieben werden, wobei neben der Wärmeleitfähigkeit auch die Wärmekapazität des Messgases in das Mess-Signal eingeht, da das Gas zyklisch angewärmt und wieder abgekühlt wird.

17. Kombinations-Sensor zur Druckmessung im Vakuumbereich mit einer Messkammer, in der der Messdruck auf einen Drucksensor oder auf mehrere Drucksensoren nach den Ansprüchen 1–14 von allen Seiten einwirken kann oder Kombinations-Sensor nach einem der Ansprüche 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Messkammer zusätzlich einen Sensor zur Druckmessung mittels einer Gasentladung nach dem Magnetron-Prinzip enthält, der dem gleichen Messdruck ausgesetzt ist, wobei ein Drucksensor nach Ansprüchen 1–14 optional als Träger für eine Magnetron-Zündhilfe dienen kann.

18. Sensor zur Druckmessung im Vakuumbereich nach dem bekannten Prinzip der Gas-Ionisation (ähnlich „Bayard Alpert“), dadurch gekennzeichnet, dass Kathode(n), Anode(n) und Ionenfänger in einer Ebene angeordnet sind.

19. Sensor nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass eine weitere Anode bzw. Anodenfläche in einer zweiten von der ersten Ebene beabstandeten Ebene angebracht ist.

20. Sensor nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass als die Träger für die zweite Anoden-Ebene ein Drucksensor nach den Ansprüchen 1–13 Verwendung findet.

21. Sensor nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass als Elektronen-Emitter eine mikrosystemtechnisch hergestellte Feldüberhöhung-Kathode in der ersten Ebene oder in geringem Abstand zur ersten Ebene angeordnet ist.

22. Kombinations-Sensor zur Druckmessung im Vakuumbereich mit einer Messkammer, in der der Messdruck auf einen Drucksensor oder auf mehrere Drucksensoren nach den Ansprüchen 1–14 von allen Seiten einwirken kann oder Kombinations-Sensor nach einem der Ansprüche 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Messkammer zusätzlich einen Sensor zur Druckmessung nach den Ansprüchen 18 bis 21 ent-

hält, der dem gleichen Messdruck ausgesetzt ist.

23. Kombinations-Sensor zur Druckmessung im Vakuumbereich nach den Ansprüchen 15 bis 17 und 22, dadurch gekennzeichnet, dass ein Doppelmembransensor nach den Ansprüchen 1–14 als Schutz vor mechanischen Einwirkungen oder Strahlung innerhalb der Messkammer ganz oder größtenteils über den anderen Sensorelementen in Richtung Vakuum-Kammer, für die der Prozessdruck bestimmt werden soll, angeordnet ist.

24. Kombinations-Sensor zur Druckmessung im Vakuumbereich nach den Ansprüchen 15 bis 17 und 22 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Messbereiche der einzelnen Sensoren derart gestaffelt sind, dass sie einen möglichst großen Gesamtmessbereich ergeben, wobei die einzelnen Sensoren an den Enden ihres Messbereiches mit dem im Messbereich jeweils benachbarten Sensor einen Überschneidungsbereich aufweisen.

25. Kombinations-Sensor zur Druckmessung im Vakuumbereich nach den Ansprüchen 15 bis 17 und 22 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Sensoren unterschiedliche physikalische Wirkprinzipien aufweisen und für den gleichen oder annähernd gleichen Messbereich ausgelegt sind.

26. Kombinations-Sensor nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass zwei oder mehrere Sensoren in ihrem Messbereich oder in einem Teil ihrer Messbereiche, zumindest an zwei unterschiedlichen Messpunkten, unter einer vordefinierten Bedingung oder unter vordefinierten Bedingungen aufeinander abgeglichen sind, d. h., dass sie unter den genannten Bedingungen im Rahmen ihrer maximalen Auflösung im abgeglichenen Bereich bzw. an den abgeglichenen Messpunkten gleiche Ausgangssignale liefern.

27. Kombinations-Sensor nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einer der Sensoren ein gasartunabhängiger Sensor ist, beispielsweise ein Doppelmembransensor nach Ansprüchen 1 bis 14, zumindest ein anderer Sensor ein gasartabhängiger Sensor ist, dessen Ausgangssignal von Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität des Messgases abhängt, vorzugsweise ein Pirani-Messelement, betrieben mit Rampen-Impuls-Verfahren nach DE 101 15 715 B4, und dass die Sensoren ausgelegt sind für eine gute Auflösung in einem gemeinsamen Messbereichsabschnitt.

28. Kombinations-Sensor nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass der gemeinsame Messbereichsabschnitt einen Druckbereich umfasst, in dem Gefrieretrocknung möglich ist (z. B. 6 mbar bis 0,01 mbar), und dass der Abgleich der beiden oder mehreren Sensoren aufeinander an zumindest zwei Punkten in diesem Bereich mit trockenem Gas (z. B.

Luft oder Stickstoff) erfolgt, wobei der Wasserdampf-Partialdruck im Messmedium Null oder annähernd gleich Null ist.

29. Kombinations-Sensor nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Signale der beiden oder mehreren Sensoren genutzt werden, um auf die Restfeuchte in dem zu trocknenden Produkt zu schließen, wobei auch die hohe Wärmekapazität von Wasserdampf für eine gute Signalunterscheidung genutzt wird.

30. Kombinations-Sensor nach Ansprüchen 25 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass der Gleichstand der verschiedenen Sensorsignale im Rahmen der Auflösung genutzt wird, um das Ende eines Trocknungsprozesses anzuzeigen.

31. Verfahren zum Betrieb von Kombinations-Sensoren nach Ansprüchen 15 bis 17 und 22 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertung der Signale aus den einzelnen Sensorsystemen nach der DE 198 60500 A1 („Vorrichtung und Verfahren zur Druckmessung“) erfolgt.

32. Verfahren zum Betrieb von Kombinations-Sensoren nach Ansprüchen 15 bis 17 und 22 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass zwecks Ausgabe eines kontinuierlichen Gesamt-Mess-Signals die Mess-Signale der einzelnen Sensorsysteme im Überschneidungsbereich bzw. in den Überschneidungsbereichen nach einem Verfahren zur Wertangleichung gewichtet werden, wie es im Vortrag des Anmelders vom 18.02.1993 anlässlich des „Symposiums Microsystemtechnik“ in Regensburg (s. Anlage) beschrieben wurde, oder nach einem Verfahren zur Wertangleichung gewichtet werden, wie es in der parallelen Anmeldung DE (wird nachgereicht) beschrieben wird.

33. Verfahren zur Herstellung von Drucksensoren nach Ansprüchen 1 bis 14, mit folgenden Schritten:

1. Glaskeramikfolien, einzeln oder mehrfach übereinander gestapelt, werden in geeigneter Weise nach bekannten Verfahren mit elektromechanischen Wandlern, beispielsweise leitenden Belägen als kapazitive Elektroden, optional aus Getter-Material, sowie mit Löchern oder Aussparungen versehen.

2. Auf die Bereiche der Glaskeramikfolien oder -folienstapel, die zur Ausbildung einer Kavertne vorgesehen sind, wird ein Platzhalter schichtförmig aufgetragen, beispielsweise durch Siebdruck. Die Dicke dieser Platzhalter-Schicht ist bestimmt, um einen vordefinierten Abstand der Glaskeramikfolien oder -folienstapel im Bereich der vorgesehenen Kavertnen zu gewährleisten.

Optional schließt sich eine Trocknung der Platzhalter-Schicht(-en) an. Um eine gewünschte Vorprä-

gung zu unterstützen, kann auch auf der Rückseite der jeweiligen Folie eine Platzhalterschicht aufgetragen sein.

34. Zwei der Glaskeramikfolien oder -folienstapel werden so aufeinander gelegt, dass eine Platzhalter-Schicht oder die Platzhalter-Schichten zwischen den Glaskeramikfolien bzw. -stapeln eingeschlossen sind. Optional wird eine Abstandshalterfolie oder mehrere Abstandshalterfolien mit Aussparungen im Bereich der vorgesehenen Kavertne mit eingefügt oder es werden weitere Folien als Versteifungsrahmen außen angefügt. In einer weiteren Option werden auf den Stapel von beiden Seiten ungesinterte HTTC-Folien zur Aufnahme der später auszutreibenden Platzhalter-Partikel angefügt.

35. Der so entstandene Folienstapel wird unter hohem Druck zusammen laminiert, wodurch im Bereich der eingebrachten Platzhalter eine Verformung der als Membranen bestimmten Folien entsteht.

36. Der laminierte Stapel wird in einer geeigneten Heizvorrichtung rampenförmig oder in geeigneten Stufen aufgeheizt, wobei vorzugsweise zunächst das Austreiben bzw. das Oxidieren und Austreiben des Platzhalters und anschließend das Zusammensintern der Glaskeramik erfolgt.

37. Kontrolliertes Abkühlen.

38. Verfahren zur Herstellung von Drucksensoren nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass das Austreiben des Platzhalters durch eine vorbestimmte Öffnung bzw. einen vorbestimmten Kanal erfolgt, wobei diese Öffnung bzw. dieser Kanal gleichzeitig als Evakuierungsöffnung dienen kann.

39. Verfahren zur Herstellung von Drucksensoren nach Anspruch 33 und 34, dadurch gekennzeichnet, dass das Austreiben des Platzhalters in einem Behälter erfolgt, der in geeigneter Weise evakuiert werden kann, um nach dem Sintervorgang zwischen den als Membranen vorgesehenen Glaskeramikfolien ein geeignetes Referenzvakuum einschließen zu können.

40. Verfahren zur Herstellung von Drucksensoren nach Ansprüchen 33 bis 35, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von Sensoren im Nutzen auf Glaskeramikfolien mit z. B. handelsüblichen Abmessungen gleichzeitig hergestellt werden, die Sensoren im Verbund vorgetestet oder auch kalibriert werden und eine Trennung der einzelnen Sensoren durch Sägen, Laserschneiden oder Ritzen und Brechen erfolgt.

41. Verfahren zur Herstellung von Drucksensoren nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, dass die Trennung an einer Linie erfolgt, auf der die

Mittelpunkte von Durchkontaktierungs-Löchern liegen, wobei in diese Löcher frei gehaltene Austreibungs- bzw. Evakuierungs-Kanäle münden.

42. Verfahren zum gasdichten Verschließen von Drucksensoren nach Ansprüchen 1 bis 14 und/oder von Drucksensoren, die mittels Verfahren nach Ansprüchen 33 bis 37 hergestellt sind, mit folgenden Schritten:

1. Die Drucksensoren werden in einer Vorrichtung (**850**) senkrecht so aufgestellt, dass die Evakuierungskanäle (**808**) nach oben zeigen.
2. Ein geeigneter Lot-Draht (**870**) wird quer über die Evakuierungsöffnungen der Drucksensoren gelegt.
3. Die Vorrichtung mit Drucksensoren und Lot-Draht wird in eine evakuierbare Heizvorrichtung eingebracht.
4. Die Vorrichtung wird zunächst evakuiert, wobei die in den Kavernen (**805**) vorhandenen Gasmengen durch die Kanäle (**808**) am Lot-Draht (**870**) vorbei entweichen können.
5. Durch eine geeignete Heizung wird der Lot-Draht zum Schmelzen gebracht und das geschmolzene Lot verschließt die Kanäle (**808**).
6. Die Vorrichtung mit den Drucksensoren wird abgekühlt, wobei das Lot erstarrt und sich fest mit Teilbereichen der Metallisierung (**819**) verbindet und somit einen gasdichten Verschluss bildet.

43. Drucksensor nach Ansprüchen 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass als elektromechanische Wandler kapazitive Elektroden verwendet werden, die aus einer Aneinanderreihung von Stegen oder Kreissegmenten (**904**) eines leitenden Materials mit temperaturabhängigem elektrischen Widerstand bestehen, wobei die einzelnen Elektroden jeweils zwei Kontaktstellen (**914**, **915**) aufweisen.

44. Drucksensor nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass der zwischen- den- beiden-Kontaktstellen einer-Elektrode messbare elektrische Widerstand (oder der Widerstand der Reihenschaltung beider Elektroden) als Maß für die Temperatur der jeweiligen Membran bzw. des Doppelmembransensors dient.

45. Verfahren zum Test des Referenz-Vakuums in der Kaverne von Absolut-Drucksensoren nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Widerstand einer Elektrode (zwischen den Kontaktstellen **914** und **915**) oder beider Elektroden von einem Heizstrom nach dem Impulsverfahren lt. DE 101 15 715 B4 durchflossen wird, wobei die Zeit bis zum Erreichen einer vorbestimmten Temperaturschwelle als Maß für den Referenzdruck in der Kaverne dient.

46. Verfahren zum Test des Referenz-Vakuums in der Kaverne von Absolut-Drucksensoren nach An-

spruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Widerstand einer Elektrode oder beider Elektroden auf einen konstanten Wert geregelt wird und aus der Leistungszufuhr für diese Regelung auf den Zustand des Referenzdruckes in der Kaverne geschlossen wird.

47. Verfahren zum Test des Referenz-Druckes in der Kaverne von Druck-Sensoren nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass der Widerstand auf der Elektrode der ersten Membran in bestimmter Weise aufgeheizt und der Temperaturanstieg auf der gegenüberliegenden zweiten Membran durch Messung des Widerstandes der Elektrode der zweiten Membran als Maß für den Referenzdruck in der Kaverne dient.

48. Drucksensor nach Ansprüchen 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Kaverne (**1005**) mittels eines mäanderförmigen oder schlangenförmigen Kanals (**1008**) mit einer Öffnung zum Außenraum (**1006**) oder zu einem lötfähigen Referenzdruck-Anschluss (**1010**) verbunden ist, wobei der Kanal (**1008**) zur Aufnahme einer Flüssigkeit dient, die zur Medientrennung von Außenraum bzw. Referenzmedium und Kaverne ausgewählt ist.

49. Verfahren zum Einbringen der Trennflüssigkeit in Drucksensoren nach Anspruch 44, mit folgenden Schritten:

1. Aufheizen der Sensoren zum Austreiben vorhandener Flüssigkeiten und Dämpfe aus der Kaverne und Aufrechterhalten eines bestimmten Temperaturniveaus.
2. Dosieren einer bestimmten Flüssigkeitsmenge der Trennflüssigkeit, der gewünschten Pfropfenabmessung entsprechend, in die Anschlussöffnung (**1006**).
3. Kontrolliertes Abkühlen, wobei sich das Gas in der Kaverne zusammenzieht und ein Unterdruck entsteht, der die Trennflüssigkeit als Pfropfen in den Kanal (**1008**) zieht.

Es folgen 18 Blatt Zeichnungen

Fig. 1a

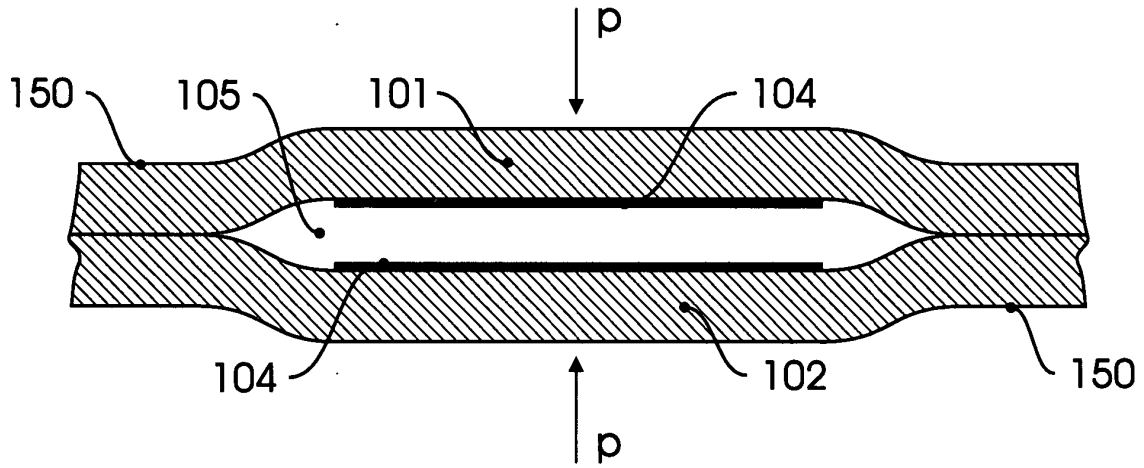


Fig. 1b

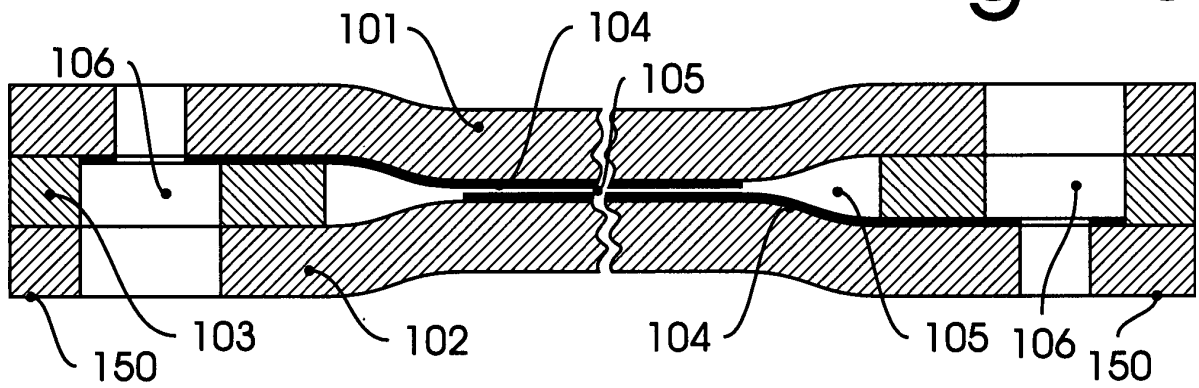


Fig. 1c

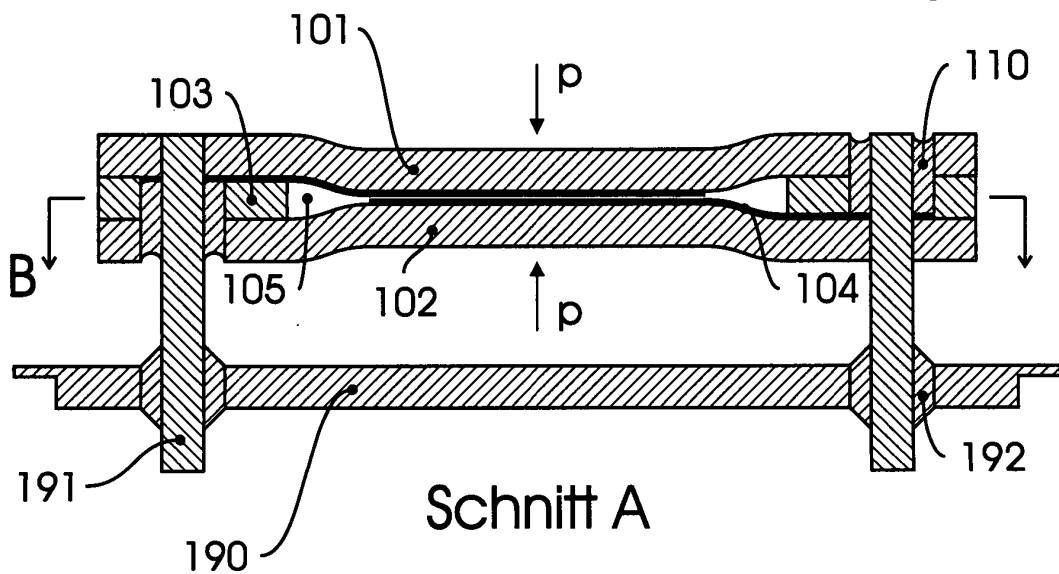
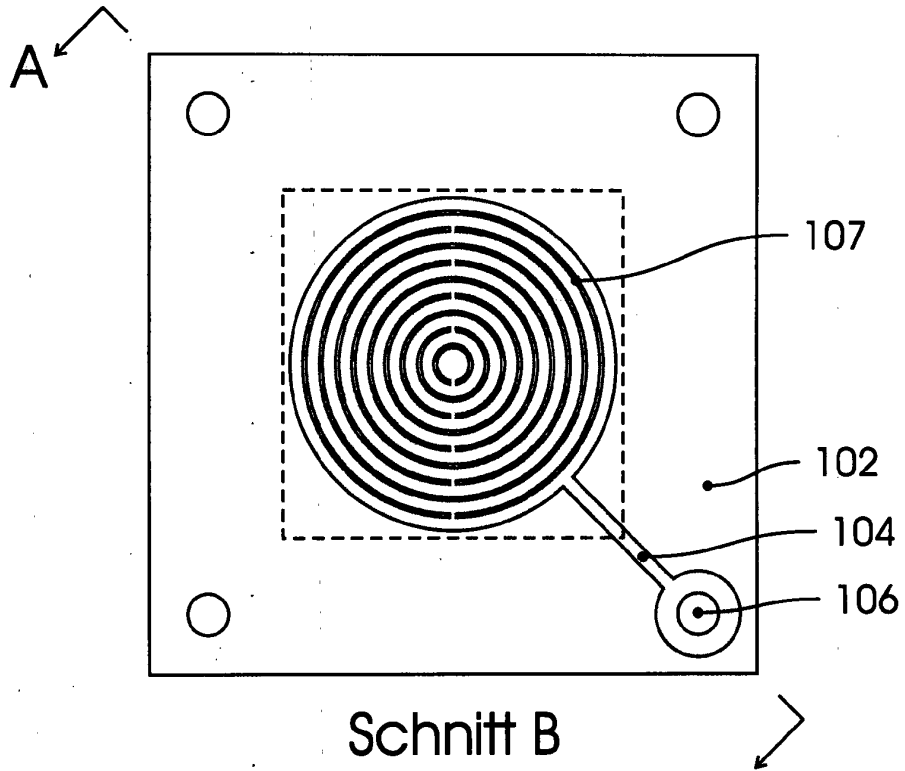


Fig. 1d



Detailvergrößerung

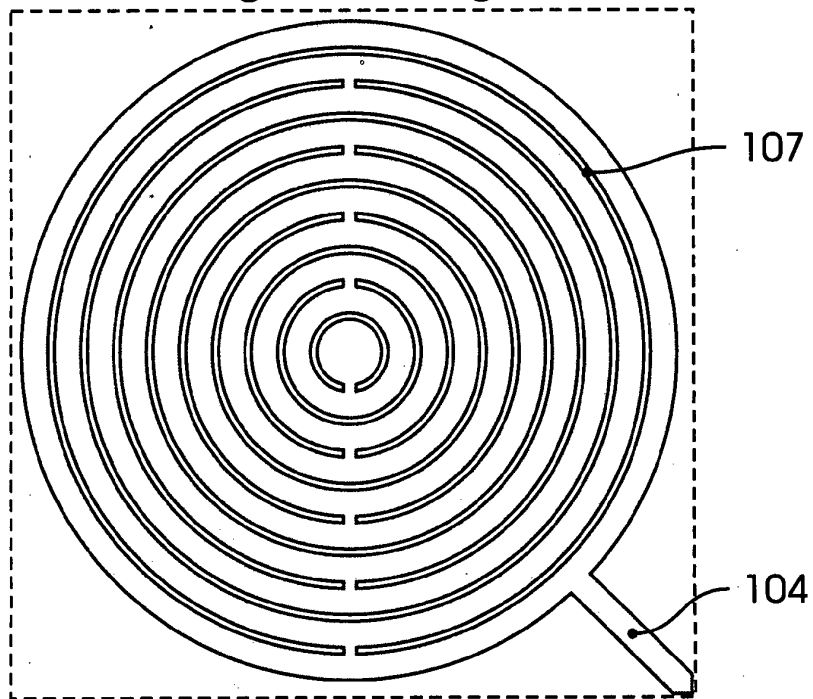


Fig. 2a

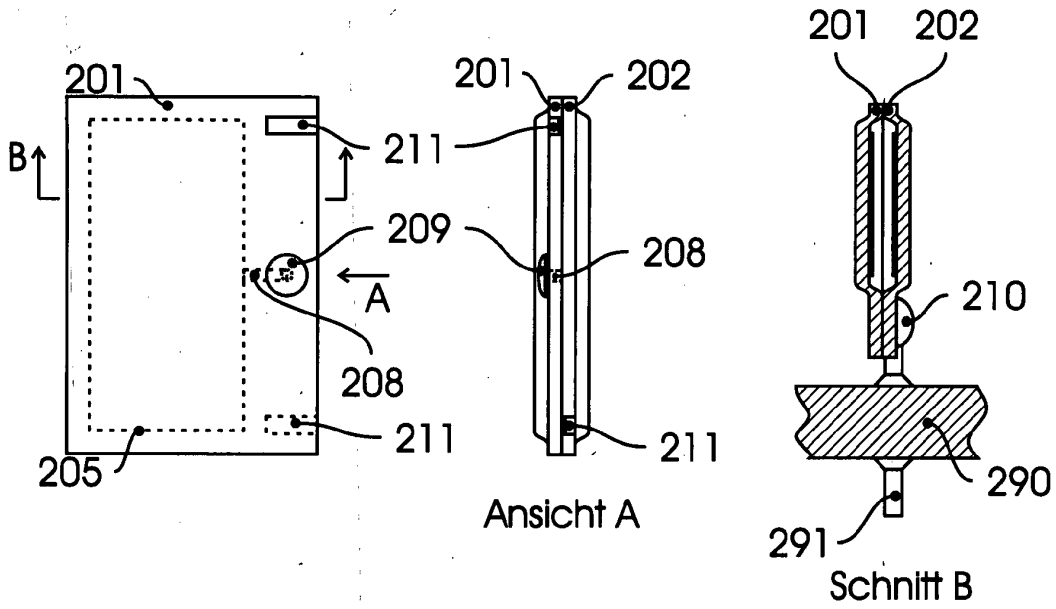


Fig. 2b

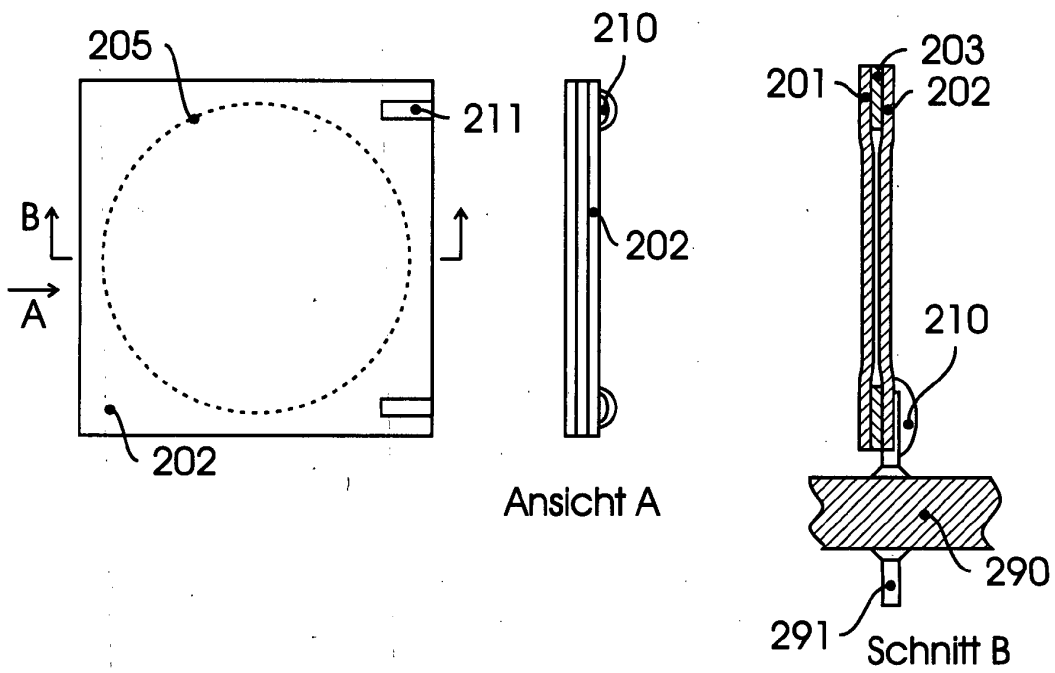


Fig. 2c

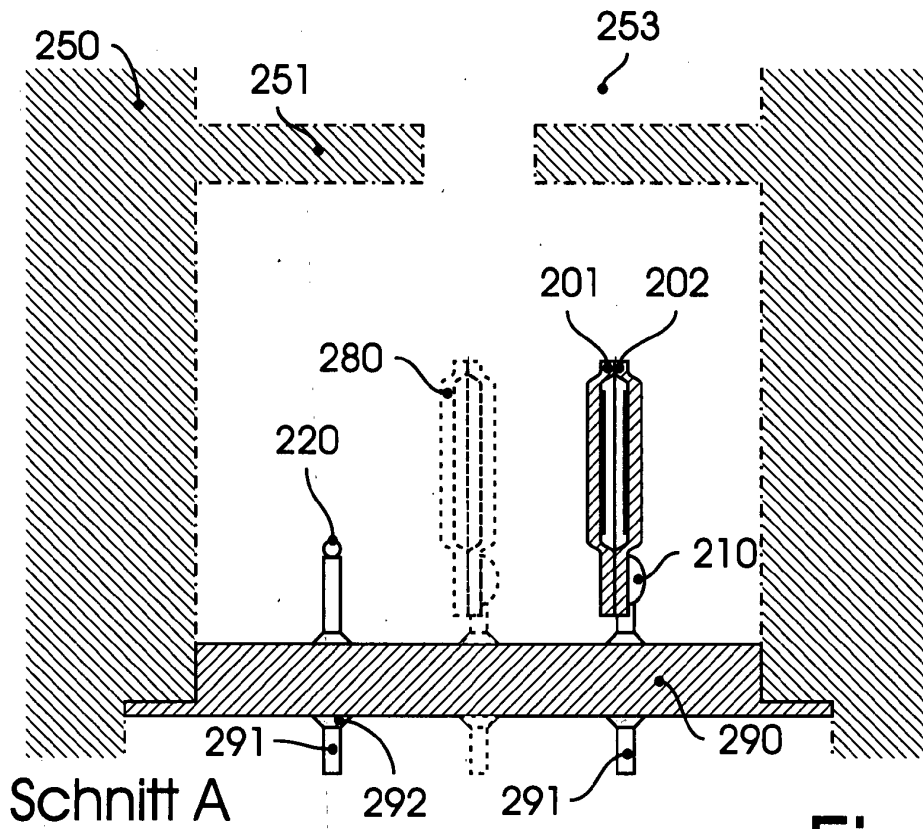


Fig. 2d

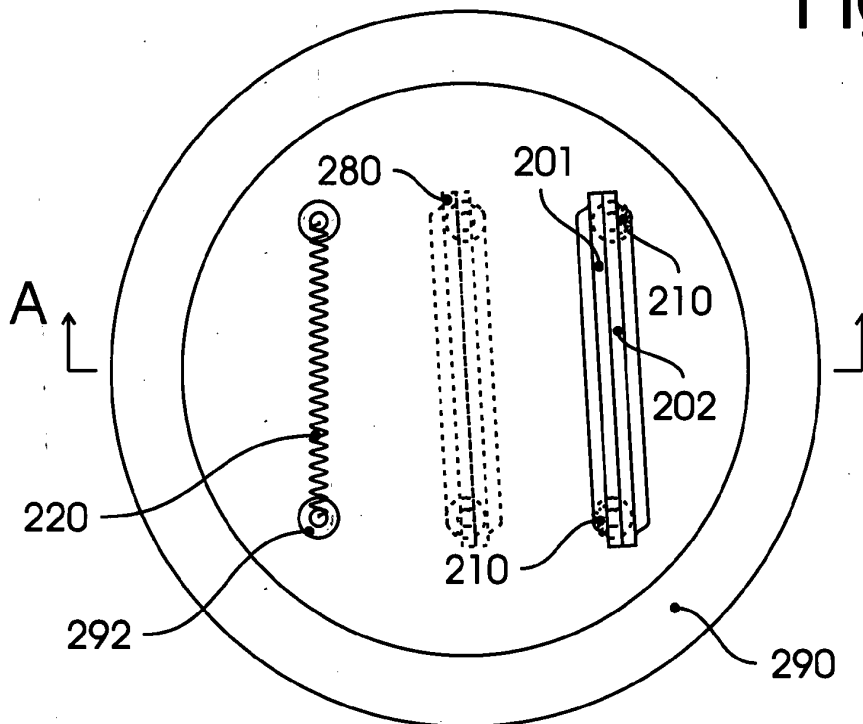


Fig. 3a

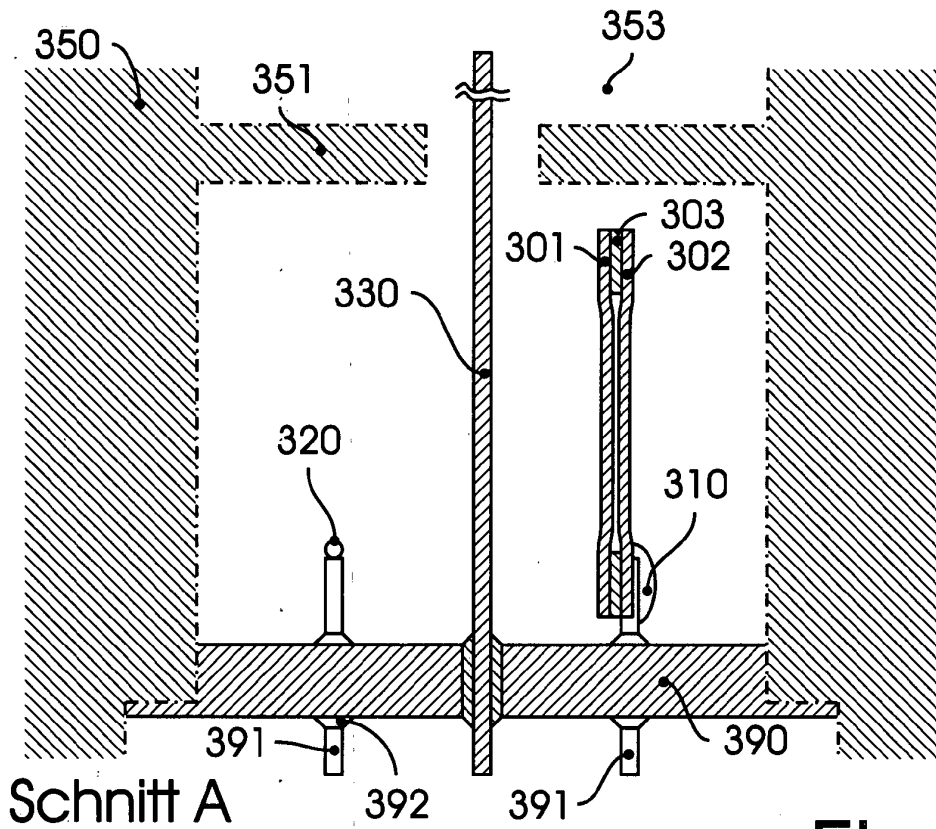


Fig. 3b

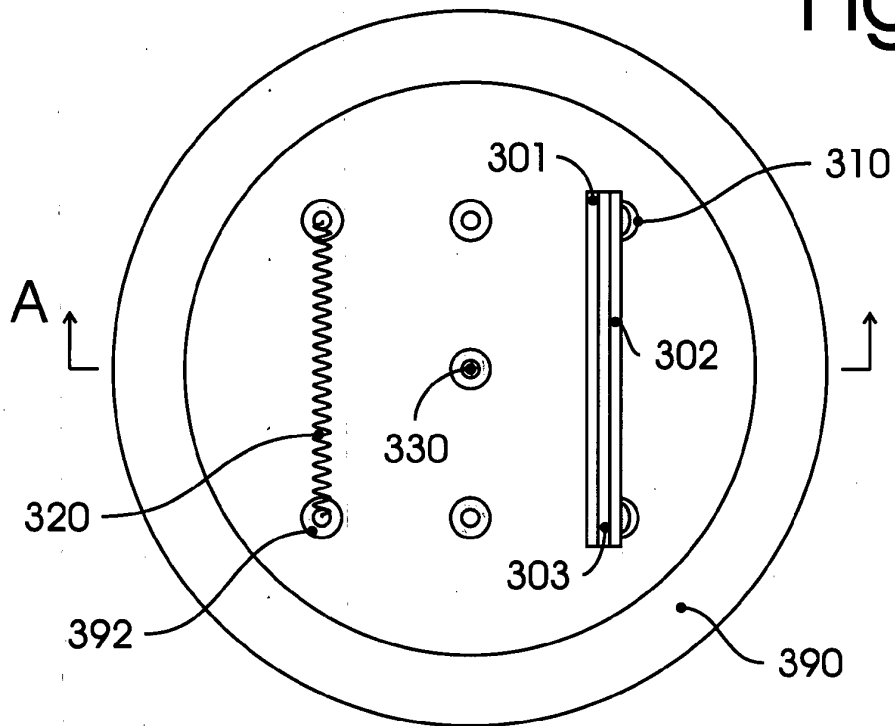


Fig. 3c

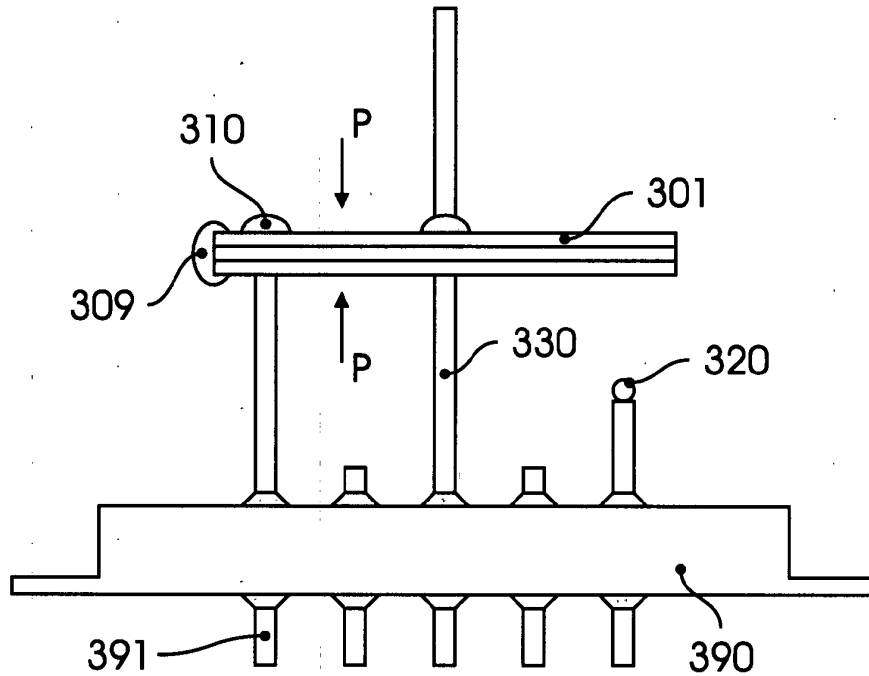


Fig. 3d

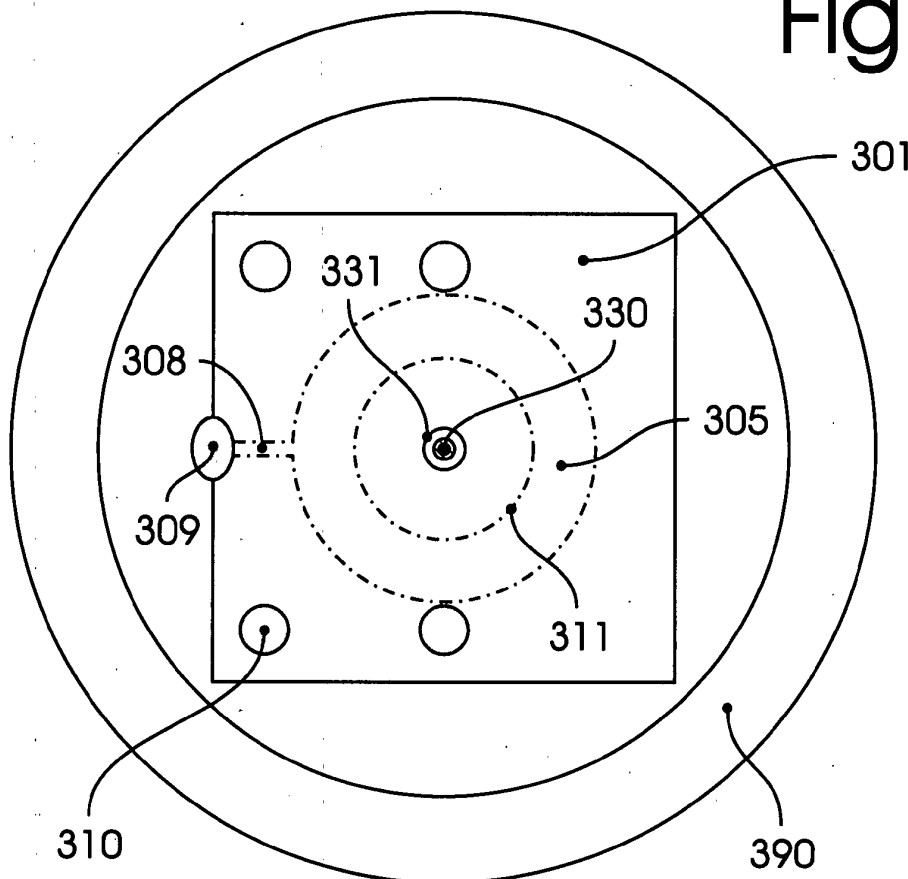


Fig. 4a

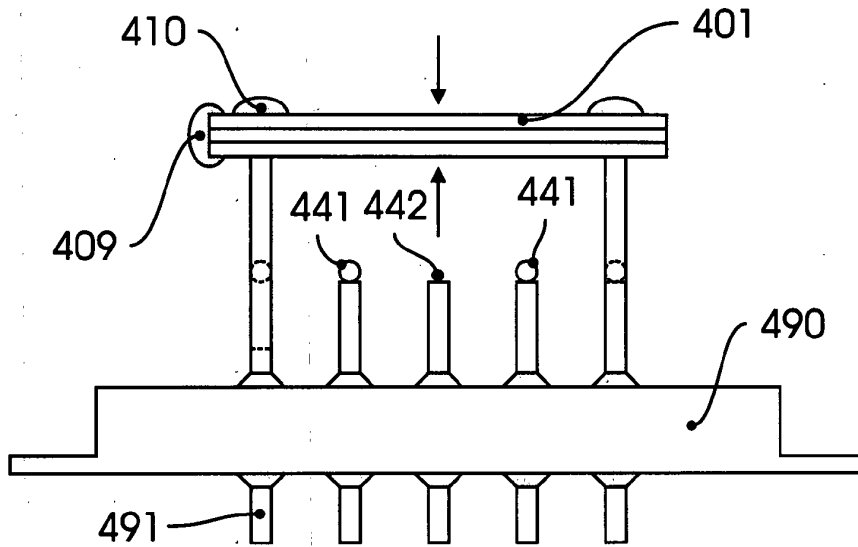


Fig. 4b

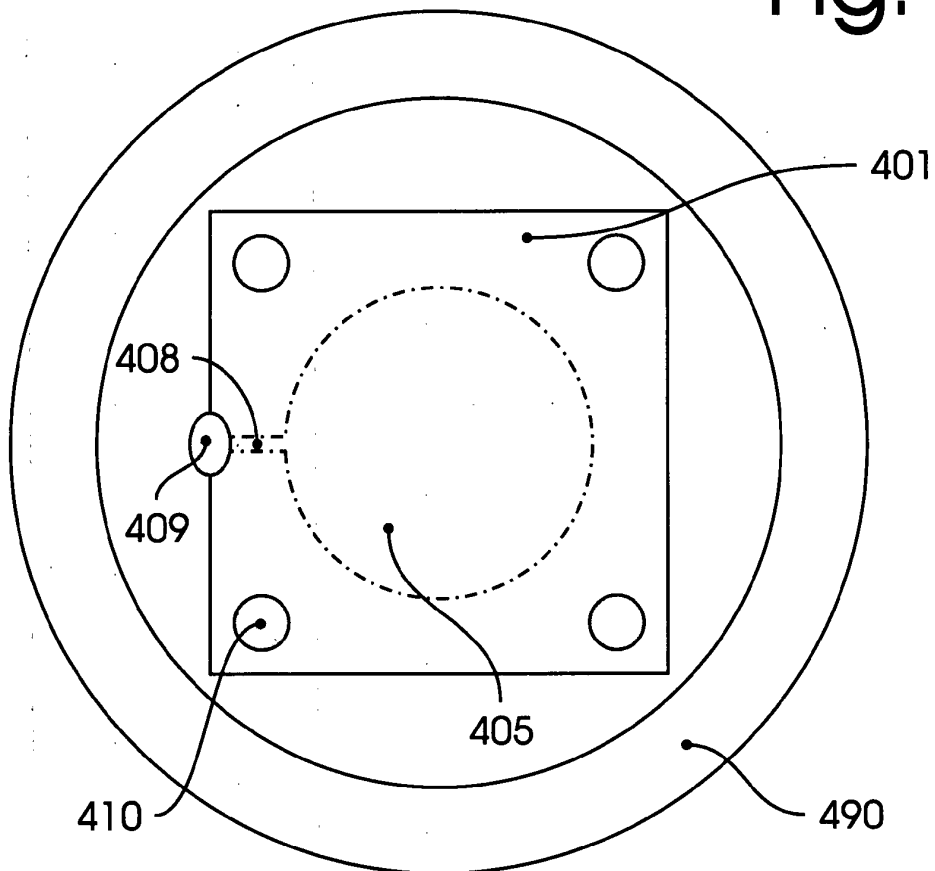


Fig. 4c

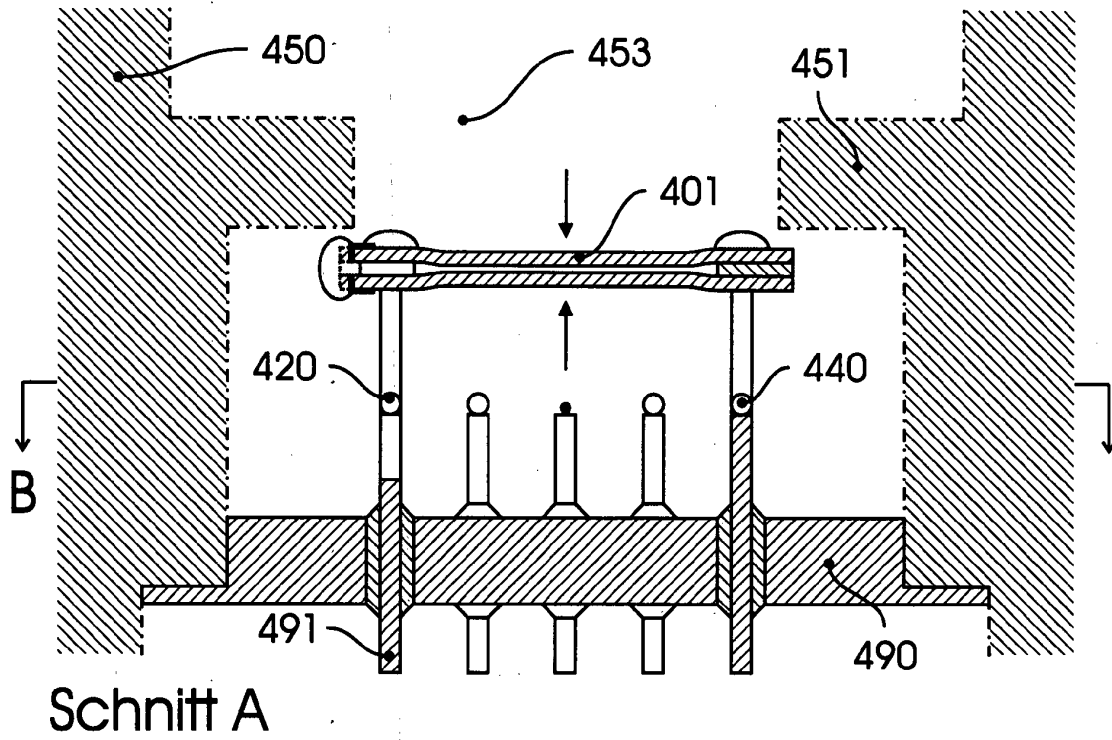


Fig. 4d

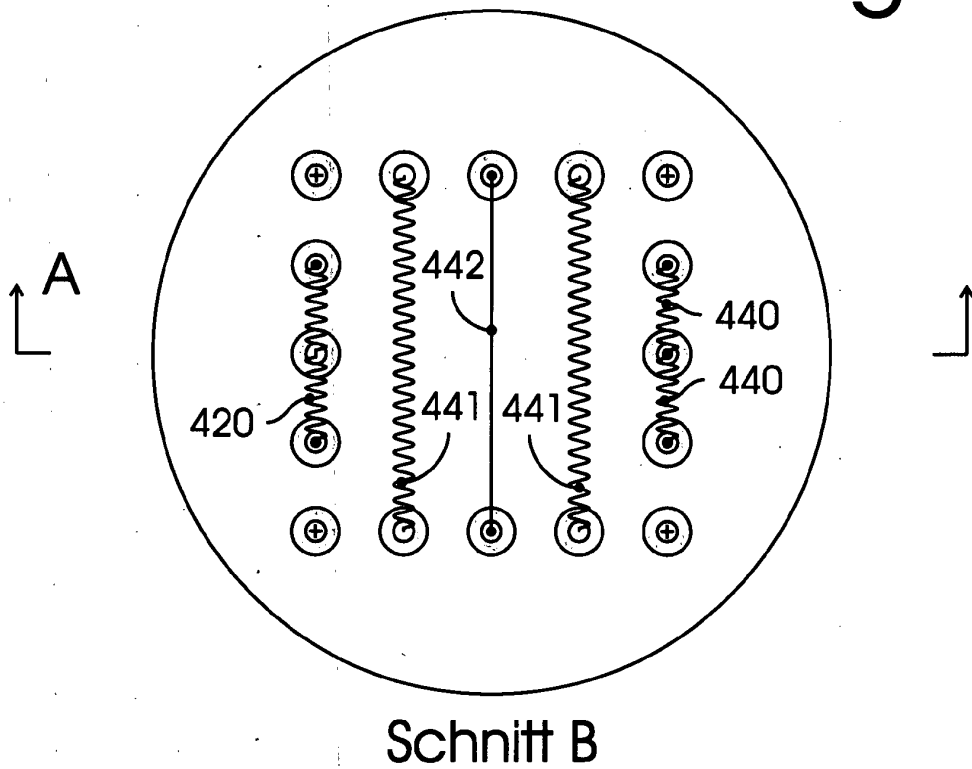


Fig. 4e

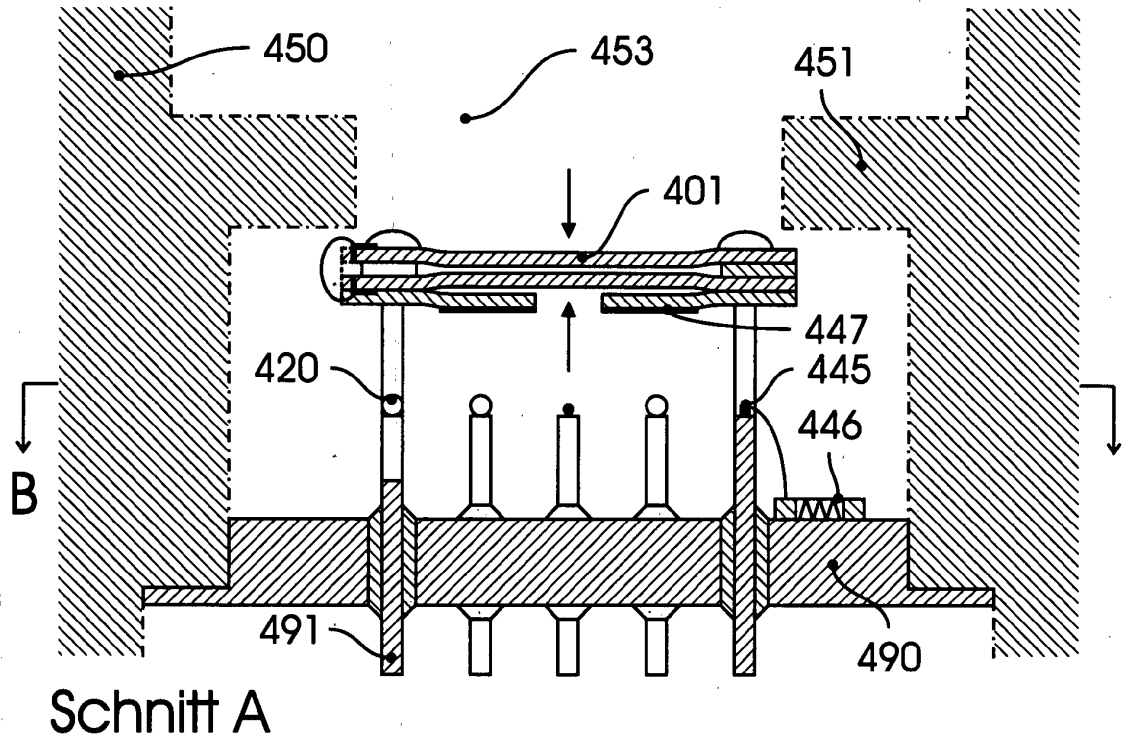


Fig. 4f

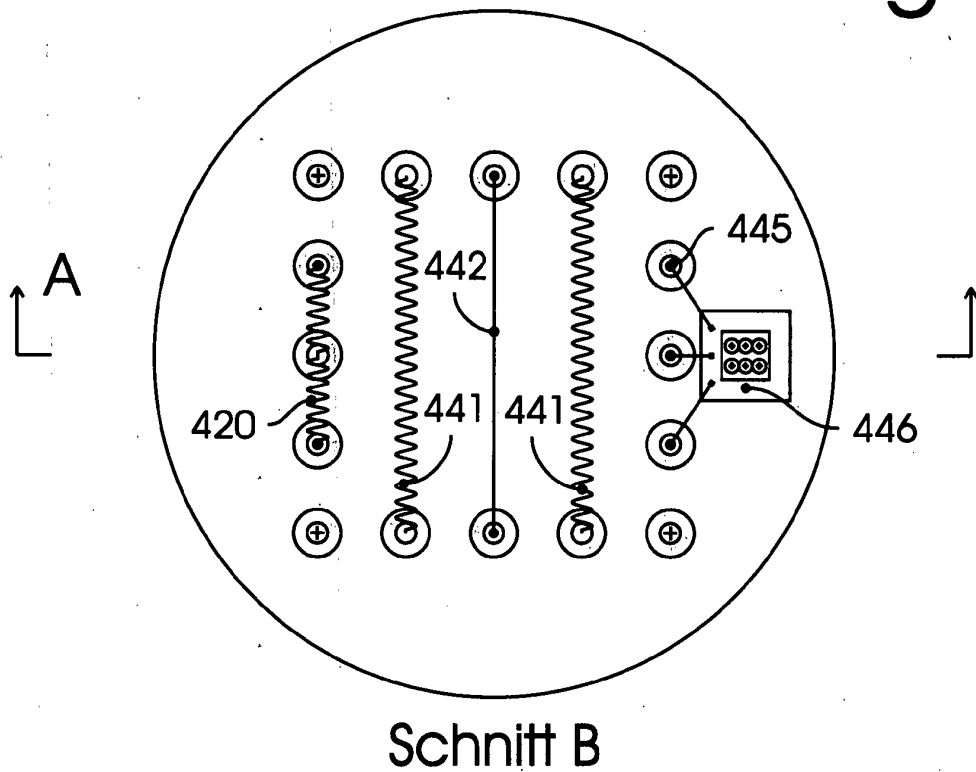


Fig. 5a

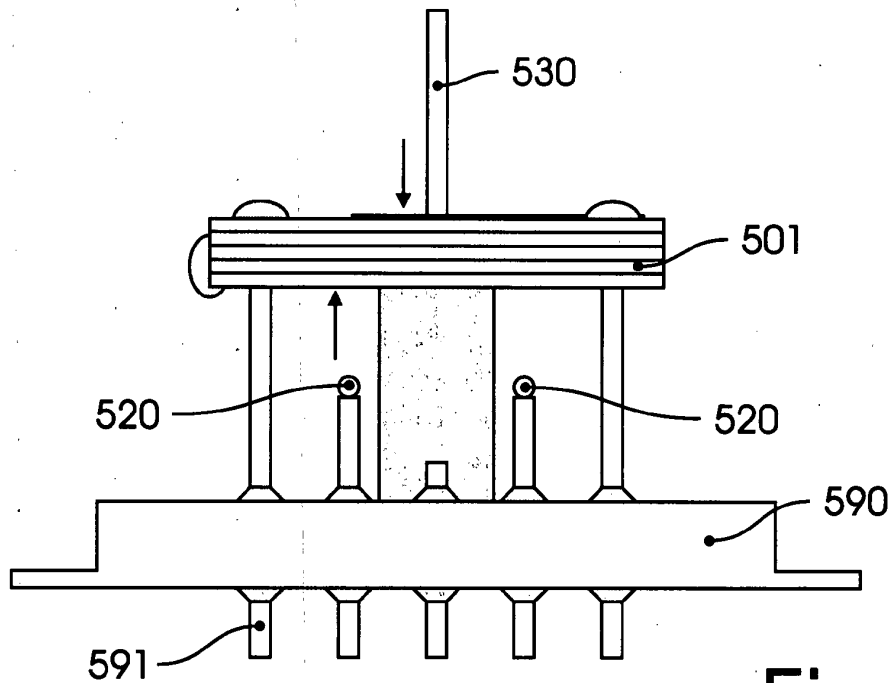


Fig. 5b

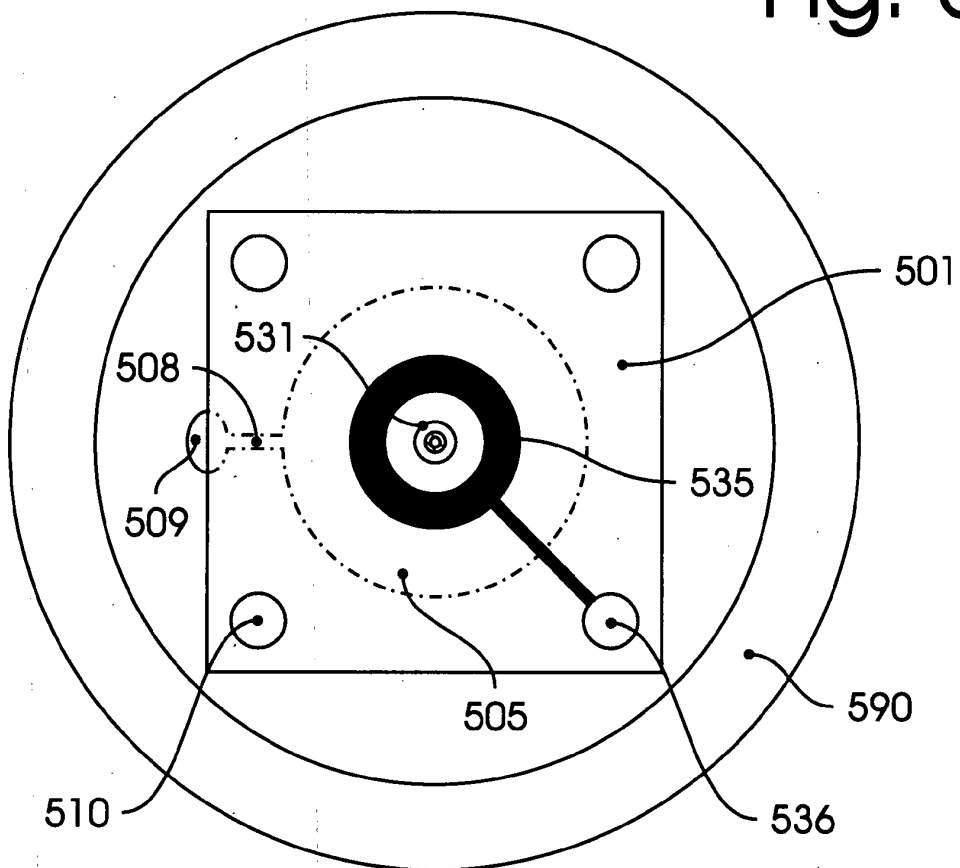
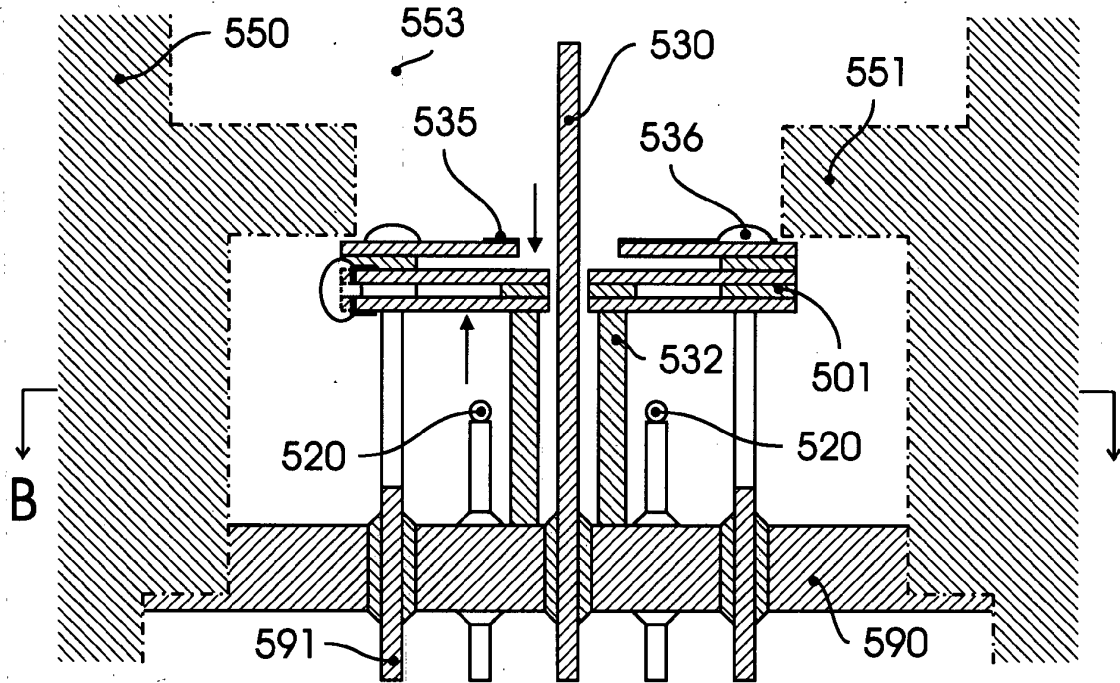
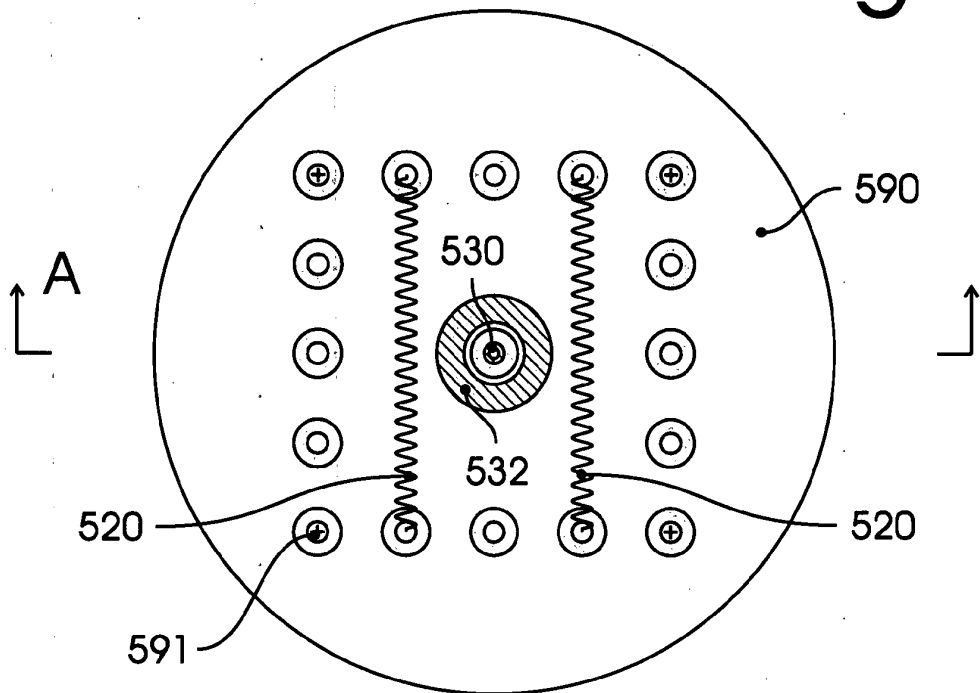


Fig. 5c



Schnitt A

Fig. 5d



Schnitt B

Fig. 6a

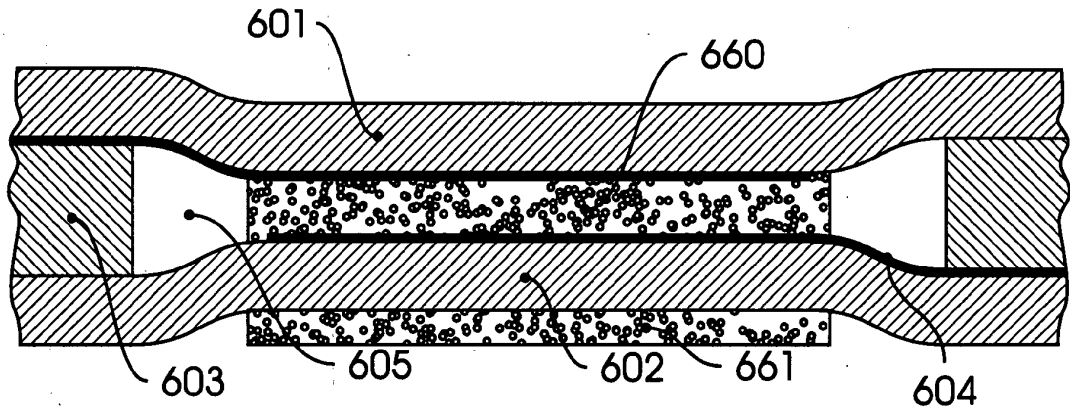


Fig. 6b

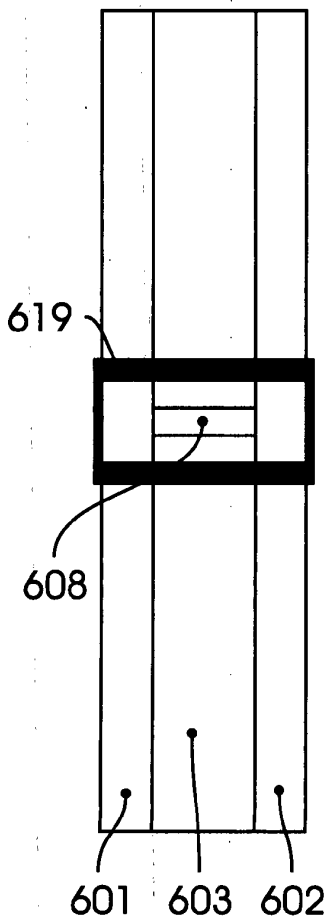


Fig. 6c

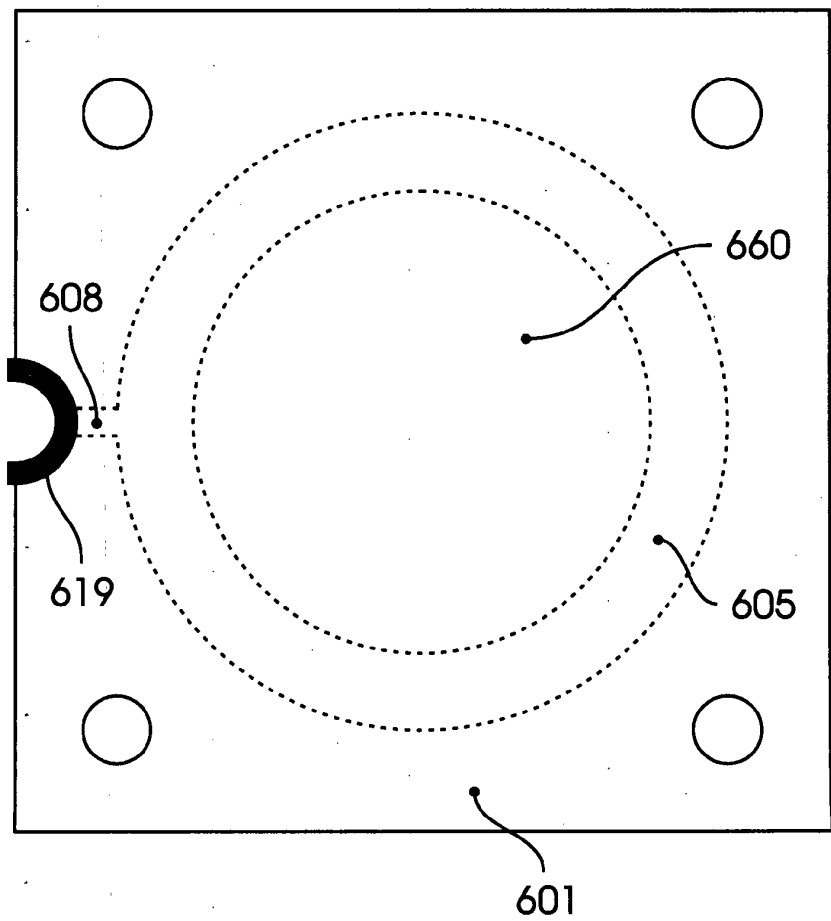
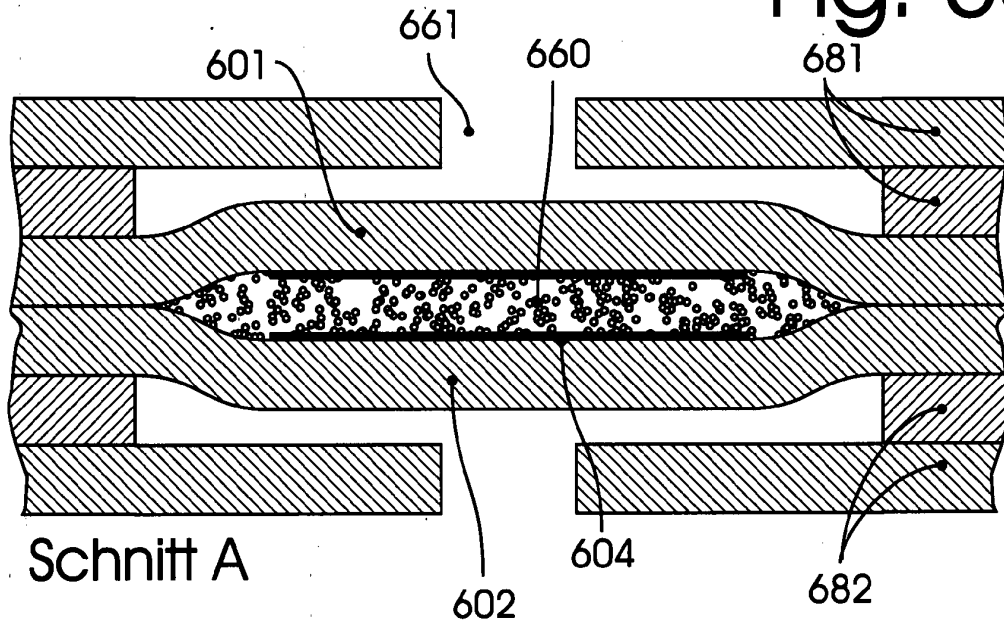


Fig. 6d



Schnitt A

Fig. 6e

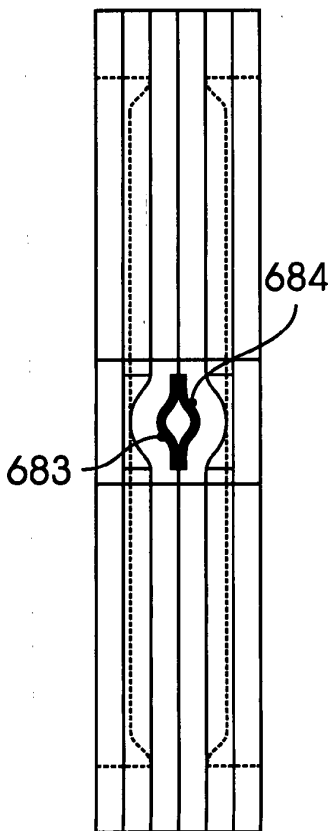


Fig. 6f

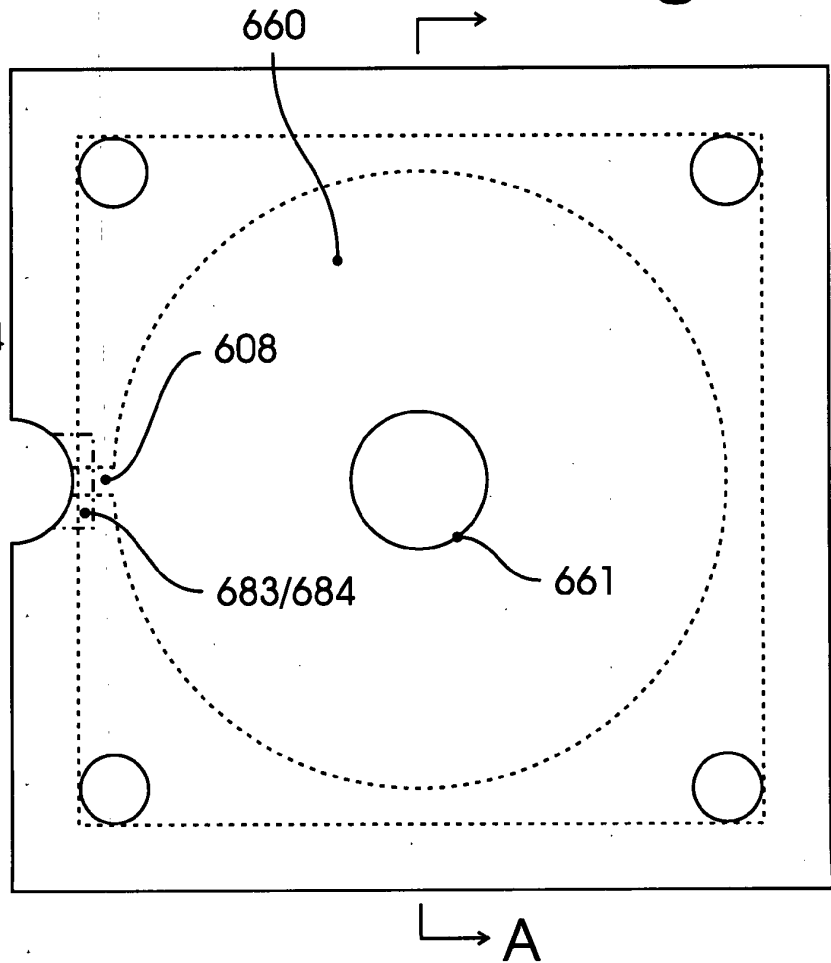


Fig. 7

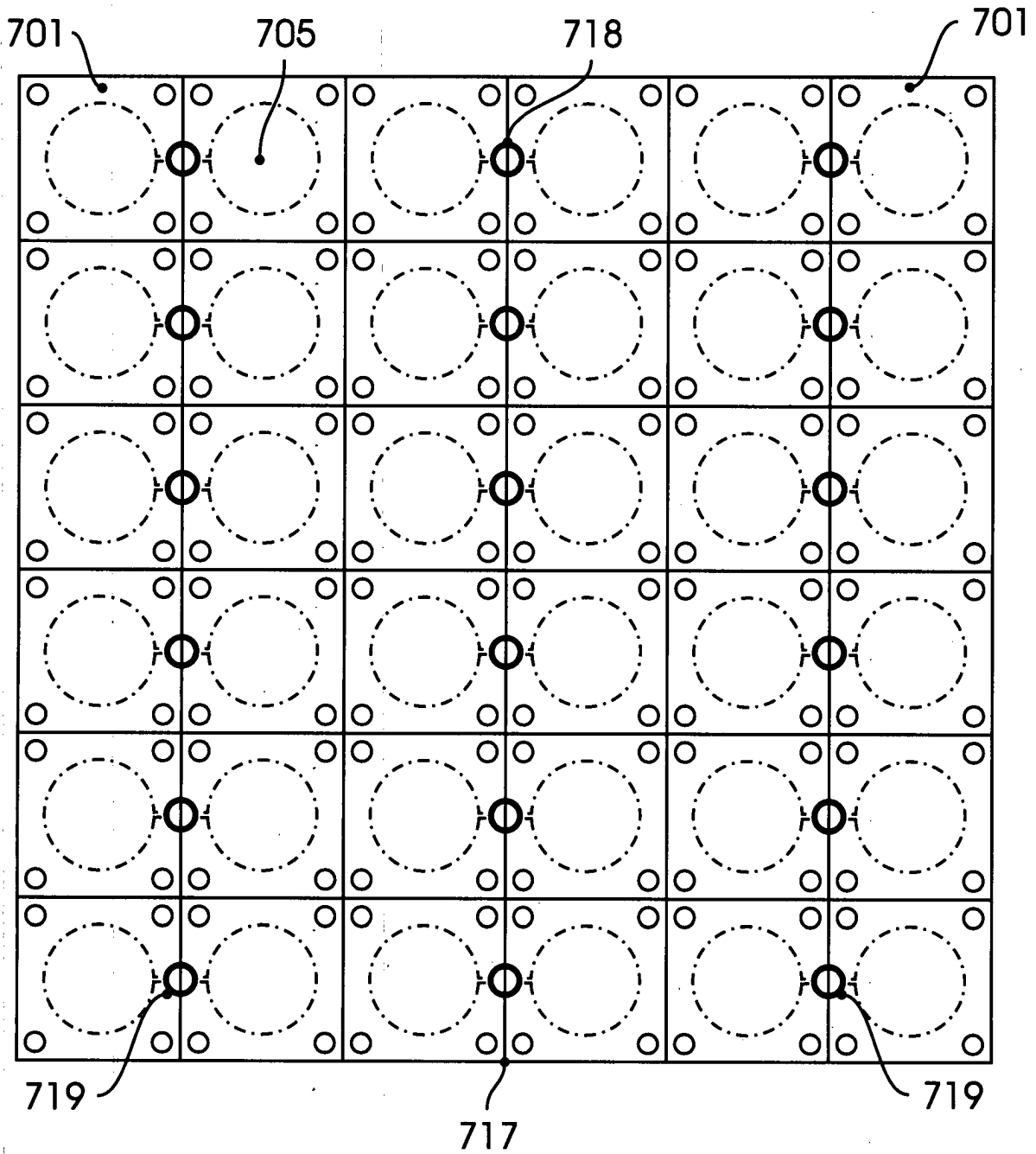


Fig. 8a

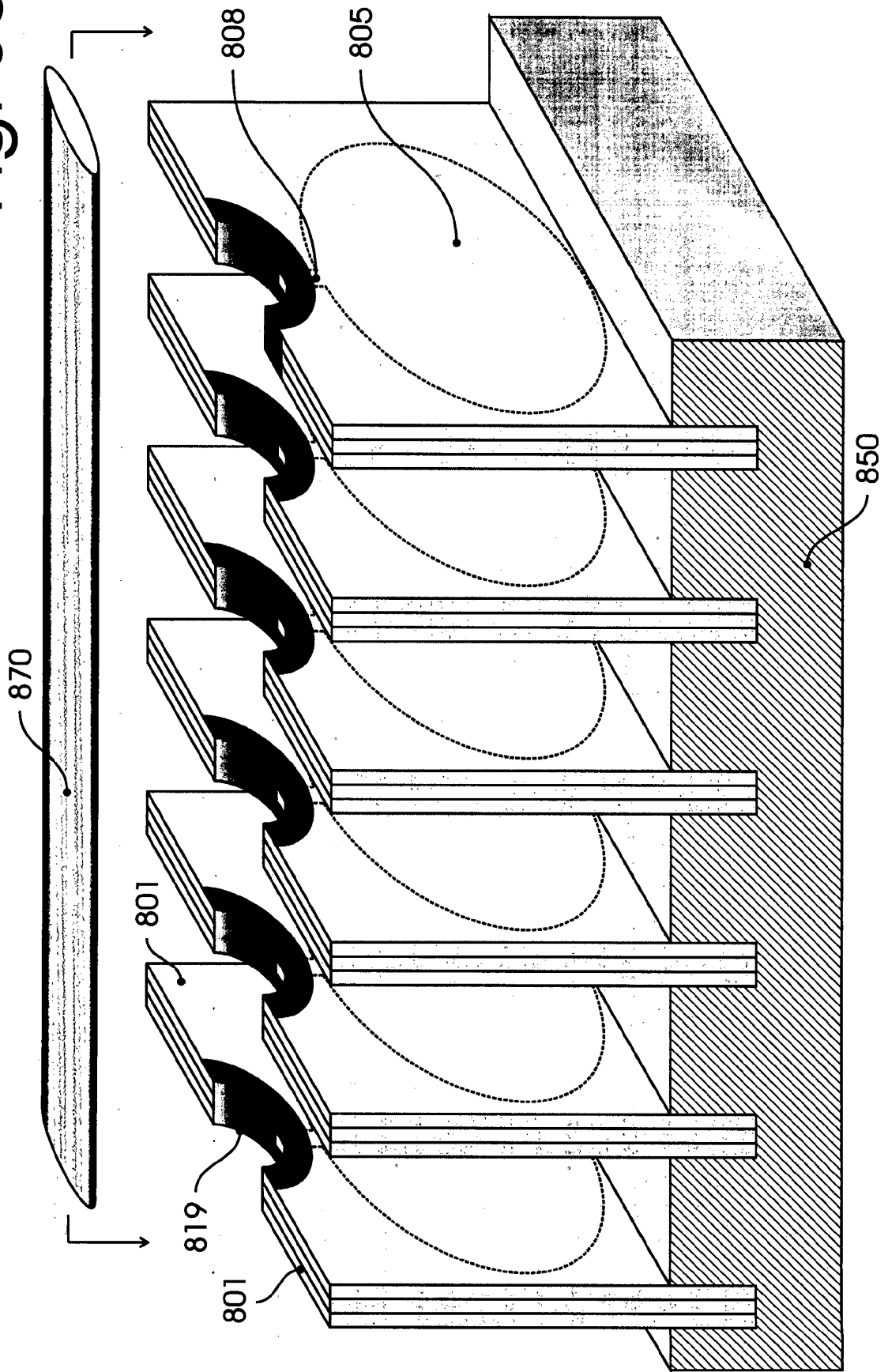


Fig. 8b

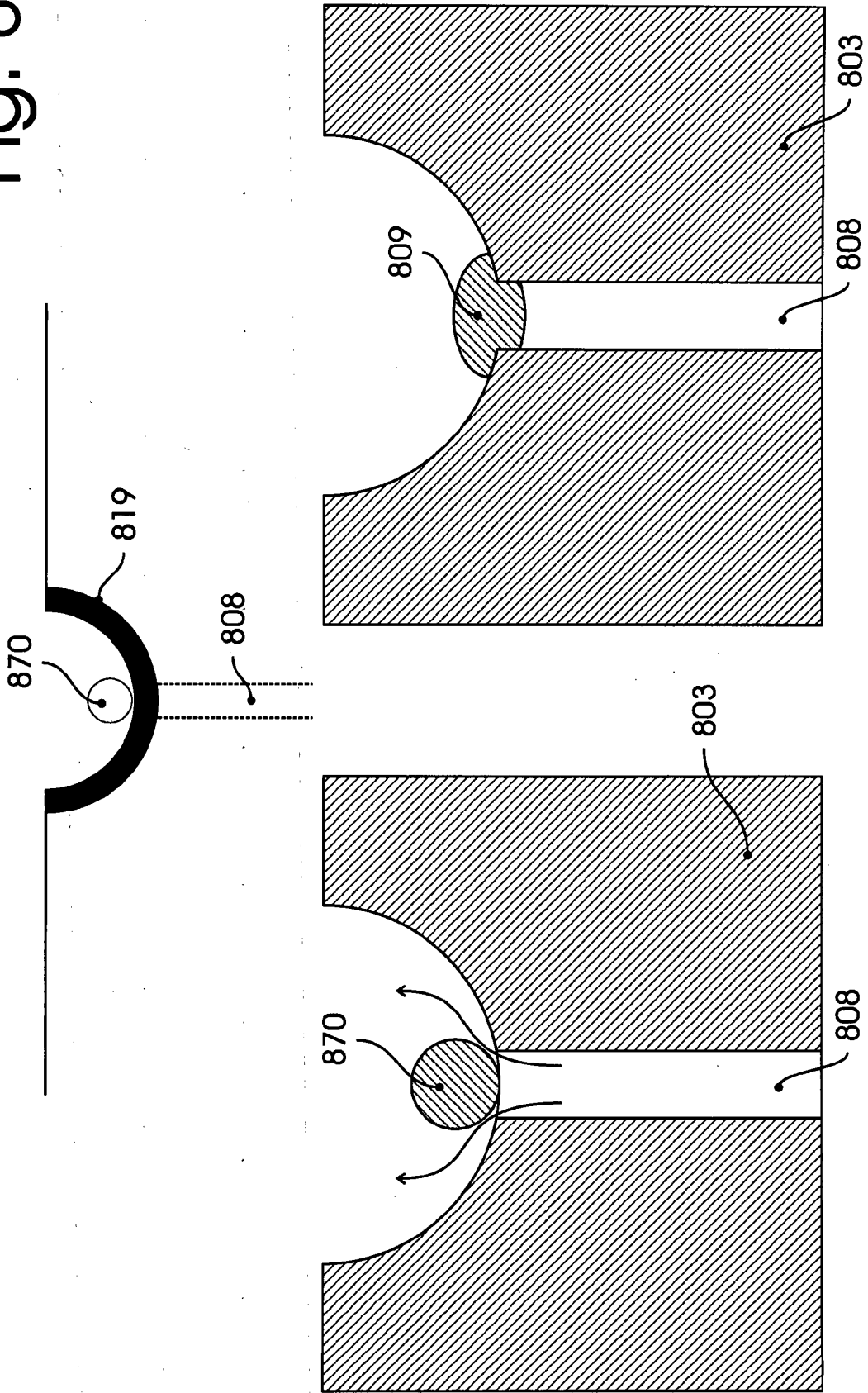


Fig. 9

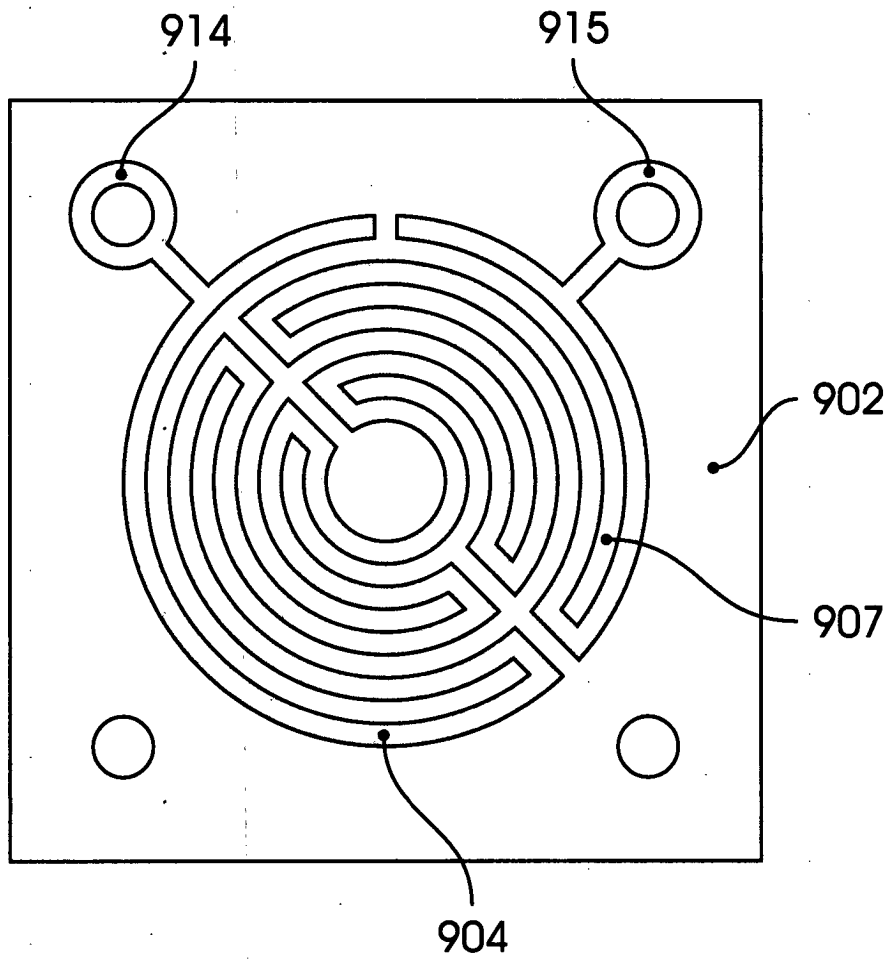


Fig. 10a

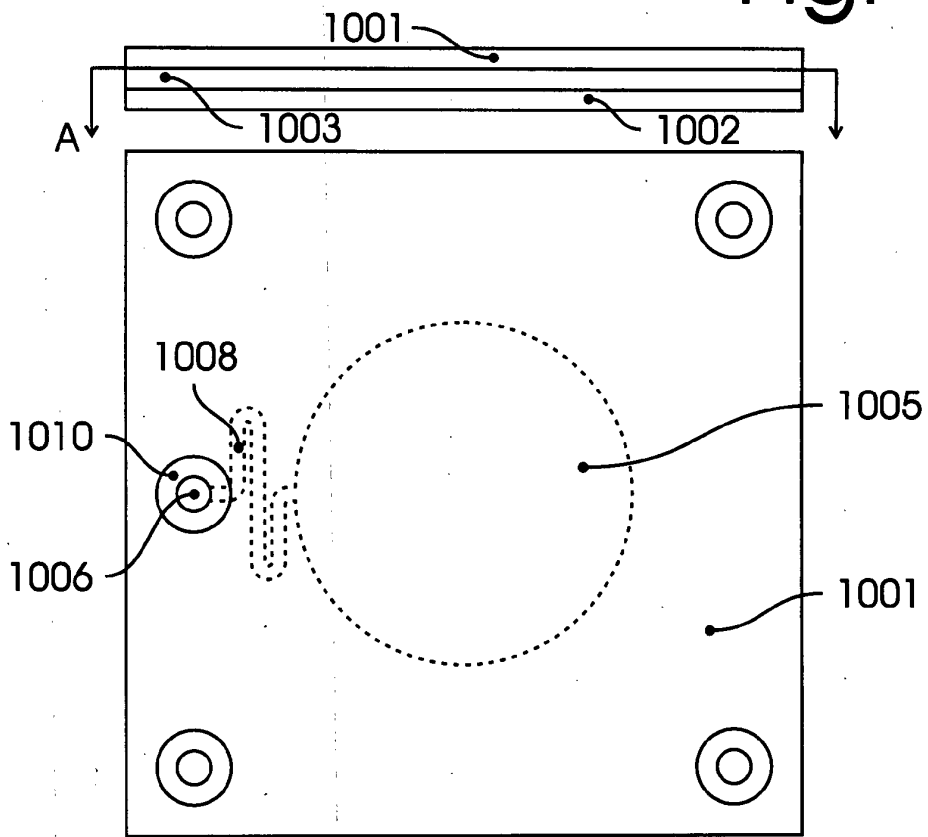
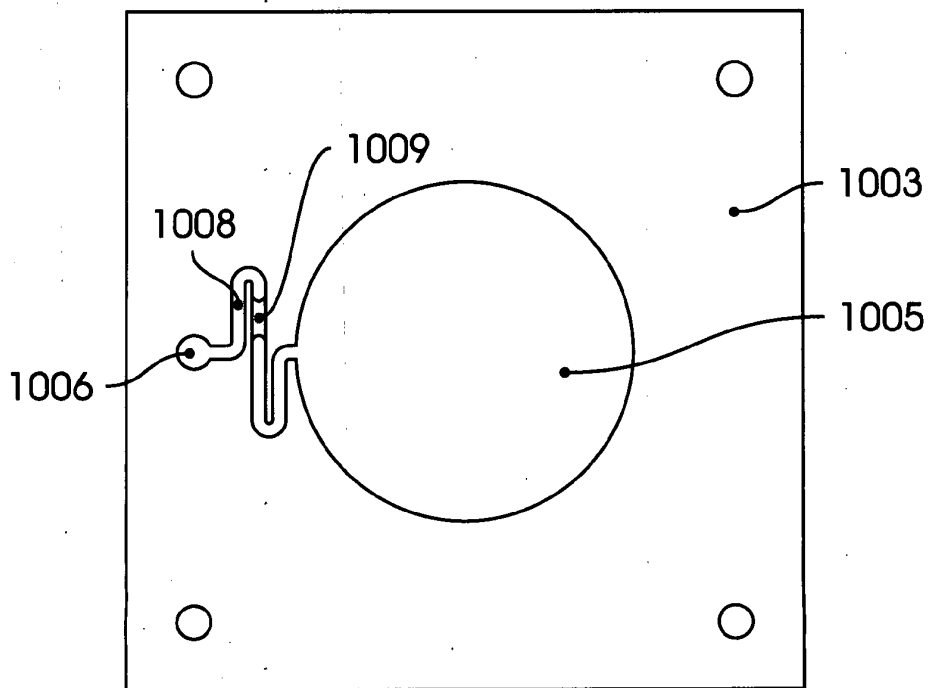


Fig. 10b



Schnitt A