



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 30 471 T2** 2008.06.12

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 311 818 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 30 471.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US01/22919**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 959 068.6**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/008713**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.07.2001**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **31.01.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **21.05.2003**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **12.09.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.06.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01L 19/04 (2006.01)**

**G01L 19/06 (2006.01)**

**G01L 19/14 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**620007 20.07.2000 US**

(73) Patentinhaber:

**Entegris, Inc., Chaska, Minn., US**

(74) Vertreter:

**GEYER, FEHNERS & PARTNER (G.b.R.), 80687  
München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB, IE, IT**

(72) Erfinder:

**PETERSON, Tom, Chanhassen, MN 55317, US;  
DIAZ DIAZ, Jorge Andres, San Diego de la Union,  
Cartago, CR; CUCCI, Gerald R., Minneapolis, MN  
55403, US**

(54) Bezeichnung: **SENSOR FÜR ULTRAREINE UND STARK KORROSIVE UMGEBUNGEN**

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

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

**Beschreibung****I. Gebiet der Erfindung**

**[0001]** Diese Erfindung bezieht sich allgemein auf Sensoren und insbesondere auf einen Druck- und/oder Temperatursensor, der bis 200°C eine außergewöhnliche Stabilität aufweist und wirksam bis 700°C arbeiten kann. Der Drucksensor der vorliegenden Erfindung arbeitet ohne Fluidbefüllung und hat keine außen liegenden, exponierten Metallbestandteile. Der Drucksensor weist eine nicht-poröse, undurchlässige Oberfläche auf, die in direktem Kontakt mit Fluiden in einer hochreinen Umgebung angeordnet werden kann. Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung besteht die nicht-poröse Oberfläche aus einer Schicht aus Saphir-Einkristall, die undurchdringlich für chemische Angriffe ist. Auf diese Weise können keine Chemikalien oder Verunreinigungen mit der Zeit aus dem Sensor in einen Prozeßstrom austreten. Ohne daß dies einschränkend zu verstehen wäre, ist der Drucksensor der vorliegenden Erfindung zur Verwendung in einem chemisch inerten Druckwandlermodul oder Durchflußmesser zum Erfassen von Drücken in Prozeßfluiden geeignet und kann direkt in dessen entsprechendes Hochtemperatur-Kunststoffgehäuse eingeformt werden.

**II. Hintergrund der Erfindung**

**[0002]** Drucksensoren werden in verschiedenen Anwendungen zum Messen eines Relativdrucks oder eines Absolutdrucks eingesetzt. Einige dieser Anwendungen umfassen die Druckmessung in ungünstigen Umgebungen. Der Drucksensor kann ein kapazitiver oder ein piezoresistiver Drucksensor sein. Beispielsweise kann ein kapazitiver Aluminiumoxid-Keramiksensoren eine dünne, meist nachgiebige Keramikfolie mit einem zwischen dieser und einer dickeren, unnachgiebigen Keramikfolie angeordneten, isolierenden Abstandsring umfassen. Die erste, dünne Keramikfolie oder Membran hat eine Dicke von etwa 0,005 bis 0,050 Zoll, wobei eine Dicke von 0,020 Zoll typisch ist. Die dickere Keramikfolie hat einen Dickenbereich von 0,100 bis 0,200 Zoll. Für den Fachmann versteht sich, daß vorzugsweise die Dicke der Membran von deren Durchmesser abhängt. Der Abstandshalter kann aus einem geeigneten Polymer gefertigt sein. Die einander gegenüberliegenden Flächen von Keramikscheiben werden mit Metallen, wie Gold, Nickel oder Chrom, metallisiert, um Platten eines Kondensators herzustellen. Ein ähnlicher kapazitiver Druckwandler wurde von Bell et al. im US-Patent 4,177,496 (dem '496-Patent) beschrieben. Weitere kapazitive Druckwandler, die dem im '496-Patent beschriebenen entsprechen, sind verfügbar und dem Fachmann bekannt. Ein piezoresistiver Sensor arbeitet typischerweise mit einer Wheatstone-Brücke, die Spannungsänderungen mißt und mit Änderungen des erfaßten Druckes korreliert. Diese Sensortypen

können jeweils zum Messen des Druckes von Fluiden in hochreinen Umgebungen verwendet werden, wobei jedoch ein nicht-kontaminierender Drucksensor benötigt wird.

**[0003]** Eine hochreine Verarbeitung empfindlicher Materialien erfordert meist die Verwendung ätzender Fluide. Die Anfälligkeit der empfindlichen Materialien für eine Verunreinigung während des Herstellverfahrens ist ein schwerwiegendes Problem für die Hersteller. Es wurden verschiedene Fertigungssysteme entwickelt, um die Verunreinigung der empfindlichen Materialien mit Fremdpartikeln, ionischen Verunreinigungen und während des Herstellungsprozesses erzeugten Dämpfen zu verringern. Die Verarbeitung der empfindlichen Materialien beinhaltet häufig einen direkten Kontakt mit ätzenden Fluiden. Daher ist es entscheidend, die ätzenden Fluide dem Verarbeitungsort in unkontaminiertem Zustand und frei von Fremdpartikeln zuzuführen. Verschiedene Bauteile der Verarbeitungsanlage sind üblicherweise dazu ausgelegt, die Menge an erzeugten Partikeln und in den Prozeßfluiden gelösten Ionen zu verringern, sowie die Verarbeitungsschemikalien gegenüber kontaminierenden Einflüssen zu isolieren.

**[0004]** Die Verarbeitungsanlage umfaßt typischerweise Flüssigkeitstransportsysteme, welche die ätzenden Chemikalien von Vorrattanks durch Pump- und Regulierstationen und durch die Verarbeitungsanlage selbst fördern. Die Flüssigchemikalien-Transportsysteme, welche Rohre, Pumpen, Schläuche, Überwachungsvorrichtungen, Fühlervorrichtungen, Ventile, Armaturen und ähnliche Vorrichtungen umfassen, sind häufig aus Kunststoffen gefertigt, die den schädlichen Wirkungen der ätzenden Chemikalien standhalten. Metalle, die üblicherweise in solchen Überwachungsvorrichtungen verwendet werden, können die korrosive Umgebung nicht über lange Zeiträume zuverlässig aushalten. Daher müssen die Überwachungs- und Erfassungsvorrichtungen Ersatzmaterialien umfassen oder von den ätzenden Fluiden getrennt bleiben.

**[0005]** Obwohl die Prozesse sehr sauber sein müssen, beinhalten sie häufig Chemikalien, die sehr aggressiv sind. Diese können z. B. starke Säuren, Basen und Lösungsmittel umfassen. Die Halbleiterindustrie führte vor kurzem Verfahren ein, die aggressive Schleifmittel nutzen. Sowohl die Verfahrenseinrichtungen als auch die Überwachungsinstrumente müssen für die mechanische Wirkung dieser Schleifmittel undurchdringbar sein.

**[0006]** Ferner ist eine hohe Zuverlässigkeit für Instrumente der Verfahrensanlage unverzichtbar. Das Abschalten einer Halbleiter- oder Pharmazeutika-Fertigungsstraße, aus welchem Grunde auch immer, ist kostspielig. Früher setzten Druckwandler üblicherweise Füllfluide ein, um Druck vom Prozeß zum

Sensor selbst zu übertragen. Die Füllfluide sind durch eine Isoliermembran beliebiger Art von dem Verfahren getrennt. Ein Versagen dieser Isoliermembran und eine anschließende Leckage von Füllfluid in den Prozeß kann einen Produktverlust bewirken und eine Systemreinigung erfordern, bevor der Betrieb wieder aufgenommen wird. Eine Konstruktion, die auf die Isoliermembran und das Füllfluid verzichtet, ist vorteilhaft.

**[0007]** Zudem weist die Verarbeitungsanlage, die üblicherweise in der Halbleiterfertigung verwendet wird, eine oder mehrere Überwachungs-, Ventil- und Fühlervorrichtungen auf. Diese Vorrichtungen sind typischerweise in einer Regelung miteinander verbunden und werden zum Überwachen und Steuern der Anlage verwendet. Diese Überwachungs- und Erfassungsvorrichtungen müssen auch dazu eingerichtet sein, jedwede Kontamination, die eingebracht werden könnte, zu vermeiden. Die Erfassungsvorrichtungen können Druckwandlermodule und Durchflußmesser mit Drucksensoren umfassen. Es kann erwünscht sein, daß ein Abschnitt des Drucksensors des Druckwandlers oder des Durchflußmessers in direktem Kontakt mit den ätzenden Fluiden steht. Daher sollten die in direktem Kontakt mit den ätzenden Fluiden stehenden Flächen des Drucksensors nicht-kontaminierend sein. Es wurde festgestellt, daß poröse Materialien das Einströmen und Ausströmen von ätzenden Fluiden durch diese Materialien zulassen. Beispielsweise werden keramische Materialien mit verschiedenen glasartigen Materialien verbunden, die ihrerseits leicht von den aggressiveren, korrosiven Materialien angegriffen werden. Somit ist es bevorzugt, die in direktem Kontakt mit ätzenden Fluiden stehenden Abschnitte des Drucksensors aus nicht-porösen Materialien zu fertigen.

**[0008]** Das Ghiselin et al. erteilte US-Patent 4,774,843 beschreibt einen Dehnungsmesser mit einer Saphir-Einkristallmembran, die an einer Aluminiumoxidbasis haftet. Ghiselin et al. geben an, daß der Saphir mittels eines Glas-Bondingmaterials, Epoxidharzes oder anderen Klebverfahren haftet. Eine nähere Beschreibung des Glas-Bondingmaterials oder wie der Glasverbund an der Saphir- und Aluminiumoxidbasis haftet, geben Ghiselin et al. nicht. Allerdings beschreibt Ghiselin den Glasverbund als Material geringer Festigkeit, das sich an beanspruchten Bereichen ablöst. Ghiselin beschreibt eine Änderung der Geometrie, um die beanspruchten Bereiche zu verringern und dadurch die Mängel der geringen Festigkeit des Glases zu vermeiden. Das Hegner et al. erteilte US-Patent 5,954,900 beschreibt Probleme bei der Verwendung eines Glases zum Bonden an ein Aluminiumoxid-Keramiktteil. Hegner et al. beschreiben die Verwendung von Aluminiumoxid als Dichtstoff für Aluminiumoxidkeramik. Für die von Hegner et al. und von Ghiselin et al. beschriebenen Vorrichtungen nimmt man an, daß sie effektiv auf Be-

triebstemperaturen unterhalb 400°C beschränkt sind. Damit verringert sich die Zuverlässigkeit der von Hegner et al. und von Ghiselin et al. beschriebenen Sensoren, sobald die Temperatur 400°C überschreitet. Die ätzenden Fluide der Verarbeitungsanlage können häufig 400°C überschreiten. Daher wird ein Drucksensor benötigt, der eine nicht-poröse Oberfläche aufweist, die mittels einer hochfesten Verbindung an die Basis gebondet ist, wobei die Verbindung zwischen dem nicht-porösen Material und der Basis bei Temperaturen von mehr als 400°C stabil ist.

**[0009]** Aus der US-A-4127840 ist ein Sensor mit einer nicht-porösen Außenfläche bekannt, der umfaßt: eine Grundplatte, eine nicht-poröse Membran, die aus einem chemisch inerten Material besteht, ein Fühlerelement, das über der Außenfläche der Membran angeordnet ist, eine Glasschicht, die durch Verglasen an die Innenfläche der Grundplatte und an die Außenfläche der Membran, nahe deren Außenumfang, gebondet ist, wodurch die Grundplatte und die Membran gebondet werden, wobei ein Druck nahe der Membran durch das Fühlerelement detektierbar ist und die Glasschicht sowohl eine hohe Bond-Festigkeit als auch eine hohe Schmelztemperatur von über 700°C aufweist.

**[0010]** Zudem wurde festgestellt, daß elektromagnetische Interferenz und Hochfrequenzinterferenz (EMI bzw. RFI) die Leistung piezoresistiver Sensoren mindern. Aufgrund des epitaxialen Aufbaus von Silizium auf Saphir kann eine leitfähige Abschirmschicht nicht direkt zwischen einer Siliziumschicht (auf der die Wheatstone-Brücke ausgebildet wird) und dem Saphir angeordnet werden. Eine leitfähige Abschirmschicht auf der Außenseite des Saphirs ist nicht bevorzugt, wenn die Außenseite des Saphirs in Kontakt mit den ätzenden Fluiden angeordnet ist. Daher wird ein nicht-kontaminierender Drucksensor benötigt, der verhindert, daß EMI und RFI das Fühlerelement beeinflussen, das auf einer nicht-exponierten Fläche des Drucksensors gebildet ist. Die vorliegende Erfindung erfüllt diese Anforderung und andere Anforderungen, wie eine Durchsicht der Beschreibung der vorliegenden Erfindung zeigt.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0011]** Die vorliegende Erfindung sieht einen Sensor gemäß Anspruch 1 und ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Sensors gemäß Anspruch 19 vor. Die nicht-poröse Oberfläche ist durch eine geringe Diffusionsfähigkeit und Oberflächenadsorption gekennzeichnet. Bei der bevorzugten Ausführungsform umfaßt der Drucksensor eine Grundplatte, eine nicht-poröse Membran, ein Fühlerelement benachbart einer Innenfläche der Membran, und eine Glasschicht aus einem hochfesten Material, das durch Verglasen mit der Grundplatte und der nicht-porösen Membran verbunden ist. Die Grundplatte verleiht der

Struktur Steifigkeit. Die Steifigkeit der Grundplatte hält Beanspruchungen stand, die vom (nicht gezeigten) Gehäuse an die Fühlerelemente auf der Sensor-membran übertragen werden. Obwohl die Grundplatte sich nicht in direktem Kontakt mit dem Prozeßmedium befindet, muß sie mechanisch stabil und für Hochtemperaturverfahren geeignet sein. Die Wärmedehnungsrate der Grundplatte sollte eng an die der Fühlermembran angenähert sein. Zwar ist es möglich, thermische Effekte auszugleichen, doch eine große Abweichung erzeugt Spannungen bei der Herstellung, die bewirken können, daß die Verbindung zwischen den beiden Teilen mit der Zeit nachläßt. Für den Fachmann ist ersichtlich, daß die nicht-poröse Membran eine Wheatstone-Brücke oder eine darauf ausgebildete leitfähige Schicht als Teil eines piezoresistiven bzw. kapazitiven Sensors umfassen kann.

**[0012]** Zum Beispiel wird bei der bevorzugten Ausführungsform eine Siliziumschicht auf einer Innenfläche der nicht-porösen Membran gebildet, auf der ein Dehnungsmesser, wie eine Wheatstone-Brücke, ausgebildet ist. Die Grundplatte umfaßt durch sie hindurchlaufende Öffnungen, die dazu ausgelegt sind, mit dem Fühlerelement verbundene elektrische Leitungen aufzunehmen. Eine Druckveränderung nahe der nicht-porösen Membran ist durch das Fühlerelement detektierbar. Eine Zu- bzw. Abnahme des Drucks auf die Membran bewirkt deren Durchbiegung, was wiederum den Widerstand des Dehnungsmessers verändert. Die Änderung des Widerstandes korreliert mit dem Druck in der Umgebung der Membran.

**[0013]** Beispielsweise besteht die Membran bevorzugt aus einem chemisch inerten Material, wie Saphir. Die Glasschicht zwischen dem Saphir und der Grundplatte ist vorzugsweise aus Borosilikatglas hoher Bond-Festigkeit oder anderem Glas mit geeignetem, bekanntem Aufbau gefertigt, das eine hohe Bond-Festigkeit und eine Schmelztemperatur von über 700°C und vorzugsweise über 1000°C aufweist. Das Maß, um das sich die Membran durchbiegt, wird durch die Dicke und den Durchmesser der Glasschicht eingestellt. Die Glasschicht kann eine Dicke im Bereich von 0,002 bis 0,030 Zoll haben, wobei 0,010 Zoll bevorzugt sind, und einen Außendurchmesser im Bereich von 0,100 bis 2,0 Zoll haben, wobei 0,700 Zoll bevorzugt sind. Der aktive Fühlerbereich der Membran kann im Bereich von 0,050 bis 2,0 Zoll liegen, wobei 0,400 Zoll bevorzugt sind. Für den Fachmann ist ersichtlich, daß der Bereich der Dicke und des Durchmessers der Membran nicht als einschränkend ausgelegt werden soll; vielmehr können Dicke und Durchmesser bei bestimmten Anwendungen auf Wunsch weiter verkleinert oder vergrößert werden. Dabei gerät ein Abschnitt der Innenfläche der Membran mit einer Innenfläche der Grundplatte in Anlage, wenn sich die nicht-poröse Membran maximal durchbiegt. Für den Fachmann ist ersichtlich,

daß die Grundplatte und die nicht-poröse Membran aus Materialien mit ähnlichen Wärmedehnungsraten gefertigt sind, um unnötige Beanspruchungen durch einen weiten Temperaturbereich zu vermeiden. Wie nachfolgend näher beschrieben ist, kann der Drucksensor so gebaut sein, daß das Fühlerelement einen Absolutdruck oder einen Relativdruck erfassen kann.

**[0014]** Der Drucksensor kann ferner eine Siliziumnitridschicht und eine Metallisierungs- oder Leerschicht umfassen, die zwischen der Siliziumschicht und der Grundplatte angeordnet ist (vgl. [Fig. 11](#)). Auf diese Weise wirkt die Siliziumnitridschicht als elektrischer Isolator, und die Metallisierungsschicht verhindert eine Beeinträchtigung des Fühlerelementes **20** durch EMI/RFI. Der Drucksensor kann ferner eine Beschichtung, eine Dichtung oder ein Dichtelement benachbart mindestens einem Abschnitt eines äußeren Randes der Schichten der nicht-porösen Membran, der Siliziumnitridschicht, der Metallisierungsschicht und der Grundplatte umfassen. Zum Beispiel können säurebeständiges Epoxidharz oder korrosionsbeständige Polymere, wie PTFE (Polytetrafluorethylen), PVDF (Polyvinylidenfluorid), PEEK (Polyetheretherketon), Urethan oder Parylen, eingesetzt werden, wobei säurebeständiges Epoxidharz bevorzugt ist.

**[0015]** Der Drucksensor umfaßt Bondpads, die auf der Membran zwischen der Glasschicht und der nicht-porösen Membran gebildet sind. Beispielsweise umfaßt die bevorzugte Ausführungsform der Bondpads eine Titanschicht und eine Diffusionsbarriere. Der dotierte Silizium-Dünnschichtfilm verbindet die Bondpads in bekannter, geeigneter Weise, um die Wheatstone-Brücke zu bilden. In der Glasschicht und in der Grundplatte ist ein Fenster gebildet, durch das ein Zugang zu den Bondpads geschaffen wird. Durch die in der Glasschicht und in der Grundplatte gebildeten Fenster laufen elektrische Leitungen, die an die Bondpads gelötet sind. Dabei sind die elektrischen Leitungen an die Bondpads gelötet, und die Glasschicht ist mit der Membran und der Grundplatte verglast.

**[0016]** Bei einer alternativen Ausführungsform sind die Membran und das Fühlerelement zur Ausbildung eines kapazitiven, aber nicht piezoresistiven Sensors modifiziert. Die dünne Fühlermembran, die sich durchbiegt, wenn Druck aufgebracht wird, weist eine an der Innenfläche der Fühlermembran ausgebildete Kondensator-Platte auf, während eine andere Kondensator-Platte an der Innenfläche der Grundplatte ausgebildet ist. Eine elektrische Leitung ist mit der an der Innenfläche der Fühlermembran ausgebildeten Kondensator-Platte verbunden, und eine andere Leitung ist elektrisch an die Innenfläche der Grundplatte angeschlossen. In dem Maße, wie sich der Abstand zwischen der Membran und der Platte mit dem Druck verändert, ändert sich die Kapazität der Platten. Die-

se Kapazitätsänderung wird von einem elektrisch angeschlossenen Fühlerelement einer bekannten, geeigneten Bauweise erfaßt.

[0017] Die Vorteile der vorliegenden Erfindung erschließen sich dem Fachmann ohne weiteres bei einer Durchsicht der nachfolgenden, detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform, insbesondere in Zusammenschau mit den Ansprüchen und den beigegeführten Zeichnungen, in denen gleiche Bezugsziffern sich in den verschiedenen Darstellungen auf gleiche Teile beziehen.

#### Beschreibung der Zeichnungen

[0018] [Fig. 1](#) ist eine Perspektivdarstellung des Drucksensors der vorliegenden Erfindung;

[0019] [Fig. 2](#) zeigt eine geschnittene Teilseitenansicht einer Ausführungsform des Drucksensors der vorliegenden Erfindung;

[0020] [Fig. 3](#) ist eine geschnittene Teilseitenansicht einer Ausführungsform des Drucksensors der vorliegenden Erfindung;

[0021] [Fig. 4](#) zeigt eine geschnittene Teilseitenansicht einer Ausführungsform des Drucksensors der vorliegenden Erfindung;

[0022] [Fig. 5](#) ist eine geschnittene Teilseitenansicht einer Ausführungsform des Drucksensors der vorliegenden Erfindung;

[0023] [Fig. 6](#) zeigt eine Draufsicht auf die erfindungsgemäße Membran, auf der eine Wheatstone-Brücke gebildet ist;

[0024] [Fig. 7](#) ist eine teilweise geschnittene Draufsicht auf eine Ausführungsform der Membran der vorliegenden Erfindung;

[0025] [Fig. 8](#) zeigt eine teilweise geschnittene Draufsicht auf eine Ausführungsform der Bondpads der vorliegenden Erfindung;

[0026] [Fig. 9](#) ist eine geschnittene Teilseitenansicht einer Ausführungsform der Bondpads der vorliegenden Erfindung;

[0027] [Fig. 10](#) zeigt eine geschnittene Teilseitenansicht einer Ausführungsform der Bondpads der vorliegenden Erfindung;

[0028] [Fig. 11](#) ist eine geschnittene Teilseitenansicht einer Ausführungsform des Drucksensors der vorliegenden Erfindung;

[0029] [Fig. 12](#) zeigt eine geschnittene Teilseitenansicht einer Ausführungsform des Drucksensors der

vorliegenden Erfindung;

[0030] [Fig. 13](#) ist eine geschnittene Teilseitenansicht einer Ausführungsform des Drucksensors der vorliegenden Erfindung, der in einem Druckwandlergehäuse angeordnet gezeigt ist;

[0031] [Fig. 14](#) zeigt eine geschnittene Teilseitenansicht einer Ausführungsform des Drucksensors der vorliegenden Erfindung, der in ein Druckwandlergehäuse eingeformt dargestellt ist;

[0032] [Fig. 15](#) ist eine teilweise geschnittene Draufsicht auf eine Ausführungsform der Membran der vorliegenden Erfindung;

[0033] [Fig. 16](#) zeigt eine teilweise Draufsicht auf eine Ausführungsform der Membran der vorliegenden Erfindung;

[0034] [Fig. 17](#) ist eine geschnittene Teilseitenansicht einer Ausführungsform des Drucksensors der vorliegenden Erfindung, und

[0035] [Fig. 18](#) zeigt eine geschnittene Teilseitenansicht einer Ausführungsform des Drucksensors der vorliegenden Erfindung, der eine Dichtung oder Packung benachbart einem Rand des Sensors aufweist.

#### Detaillierte Beschreibung

[0036] Die vorliegende Erfindung stellt breit anwendbare Verbesserungen bei Drucksensoren dar. Die hier näher beschriebenen Ausführungsformen sind als stellvertretend oder beispielhaft für Anwendungen, in welche die Verbesserungen der Erfindung aufgenommen werden können, und nicht als einschränkend zu verstehen. Der Drucksensor der vorliegenden Erfindung kann als piezoresistiver oder kapazitiver Sensor mit einer Fühlermembran ausgestaltet sein. Die Fühlermembran ist aus einem Stück Saphir-Einkristall gefertigt. Alternativ dazu kann die Fühlermembran aus einem Diamant-Einkristall gefertigt sein. Der Sensor **10** der vorliegenden Erfindung umfaßt allgemein eine Grundplatte **12**, eine Fühlermembran **14**, einen Silikaglasverbund zwischen der Grundplatte **14** und der Membran **16** und elektrische Leitungen **18** (siehe [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#)). Bei der Herstellung der Fühlermembran **14** wird ein großer Wafer des Saphir-Einkristalls verwendet, so daß mit den bekannten Schichtverfahren der Halbleitertechnologie viele Sensoren gleichzeitig hergestellt werden können.

[0037] Dem Fachmann ist bekannt, daß Saphir ein elektrischer Isolator ist. Wenn der Saphir entlang der R-Ebene geschnitten wird, ist es möglich, einen epitaktischen Einkristall-Film aus Silizium mit geeigneter Dicke auf dem Saphir wachsen zu lassen. Die Silizi-

umschicht kann durch Diffusion, Ionenimplantation oder andere Mittel mit atomaren Spezies, wie Bor oder Phosphor, dotiert werden, um dem Film Halbleitereigenschaften zu verleihen. Durch Verändern der Implantationsenergie und der Dotiermittelkonzentration kann der Flächenwiderstandswert des Films eingestellt werden. Der Film hat nicht nur einen elektrischen Widerstand, sondern dieser ändert sich auch dehnungsabhängig. Diese Eigenschaft ist als Piezoresistivität bekannt. Wie zuvor beschrieben, dehnt eine Durchbiegung der Fühlermembran **14** den Film und erzeugt eine Änderung des Widerstandes. Das Druckfühlsignal ist von dieser Änderung des Widerstandes abgeleitet.

**[0038]** Wenn eine Ionenimplantation zum Dotieren des Silizium gewählt wird, ist nach dem Dotieren ein Temper-Schritt erwünscht, um Spannungen zu entfernen, die sich im Film während des Implantationsvorgangs aufbauen. Der Temper-Schritt unterstützt auch die gleichmäßigere Verteilung der Dotieratome in der gesamten Siliziumschicht. Die Siliziumstrukturen **20** bilden eine Wheatstone-Brücke **22** (siehe [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#)). Für den Fachmann ist ersichtlich, daß mehrere verschiedene Strukturen die Wheatstone-Brücke **22** erzeugen können. Die Siliziumwiderstände **20** können mittels üblicher Photolithographie-techniken strukturiert werden. Eine isolierende Schicht aus Siliziumnitrid **24** (siehe [Fig. 8](#) und [Fig. 10](#)) wird auf die gesamte Oberfläche des Saphir-Wafers durch chemische Dampfabscheidung aufgebracht. Ein Photolithographielack wird verwendet, um zu verhindern, daß die Siliziumnitridschicht **24** im Bereich des Bondpads **26** abgeschieden wird. Durch das Wegätzen des Lacks wird ein Fenster **28** über und benachbart jedem der Verbindungspunkte oder Bondpads **26** zur Wheatstone-Brücke geöffnet (siehe [Fig. 8](#)). Die Siliziumnitridschicht **24** ist eine beständige isolierende Schicht und schützt die empfindliche Siliziumschicht zusätzlich.

**[0039]** Metall-Bondpads **26** werden benötigt, um die elektrischen Leitungen **18** mit der Wheatstone-Brücke **22** zu verbinden. Metalle, die üblicherweise als Bondpads **26** in Halbleitervorrichtungen verwendet werden, wie Gold und Aluminium, sind ungeeignet, da sie bei den Verglasungstemperaturen mit dem Silizium verschmelzen. Bei der bevorzugten Ausführungsform wird ein Bondpad mit zwei Metallschichten aufgebaut (siehe [Fig. 10](#)). Mit einem als Hochfrequenz(RF)-Sputtern bezeichneten Verfahren wird eine Titanschicht **30** auf den gesamten Wafer abgeschieden. Titan ist ein sehr aktives Metall und hat hervorragende Bindungseigenschaften. Allerdings benötigt Titan eine Diffusionsbarriere **32** zum Lötmaterial **34**. Die Lötlegierung **34** verbindet das Bondpad **26** mit Stiften **18**. Ohne Diffusionsbarriere **32** würde das Hartlot **34** sowohl mit der Titanschicht **30** als auch mit der dünnen Siliziumschicht **20** verschmelzen. Nach dem Abkühlen würde diese Legierung durch Oberflä-

chenspannungskräfte zusammengezogen und den Siliziumfilm lokal zerstören. Die Diffusionsbarriere **32** muß ein feuerfestes Metall sein, das bei den Löttemperaturen (etwa 1.000°C) keine Legierungen bildet. Ohne Einschränkung sind Niob, Wolfram, Iridium, Molybdän, Tantal, Platin und Palladium für diesen Zweck geeignet. Das Barrierematerial **32** muß einen Film bilden können, der eine geringe Anzahl von durch den Film verlaufenden, kleinen Nadellöchern aufweist. Etwaige Oxide müssen bei den Löttemperaturen dissoziieren. Es wurde festgestellt, daß Niob gut als Diffusionsbarriere arbeitet. Niob wird über den gesamten Saphir-Wafer **14** auf der Titanschicht **30** RF-gesputtert. Dann wird die Niobschicht unter Verwendung bekannter Lithographietechniken strukturiert.

**[0040]** Bei der bevorzugten Ausführungsform wird das Metall für die Bondpads **26** mittels dem Fachmann bekannter Verfahren abgeschieden und strukturiert, einschließlich z. B. Verdampfen und Sputtern. Das Bondpad **26** ist so strukturiert, daß das Metall einen Teil der Siliziumschicht **20** überdeckt (siehe [Fig. 8](#)), aber vorwiegend in direktem Kontakt mit der Saphirmembran **14** steht. Der Grund hierfür ist, daß Metallisierungsschichten kleine Nadellöcher aufweisen können. Es wurde festgestellt, daß das Lötmaterial **34**, wenn es in die Diffusionsbarriere **32** eindringen kann, eine Legierung mit dem Silizium mit daraus folgendem Versagen des Films bilden kann. Während des Verglasens und Lötens kann das Silikatglas **16** dazu dienen, den Durchfluß des Lötzinns **34** vom Stift zu dem Bereich, in dem das Metall des Bondpads **26** die Siliziumstruktur **20** überlagert, zu hemmen. Das Hartlot **34** darf die Siliziumstruktur **20** nicht überdecken.

**[0041]** Sobald die Saphirmembran **14** strukturiert ist, wird der Saphir-Wafer in Rohchips vereinzelt, wobei bekannte Verfahren zum Vereinzeln eingesetzt werden, um die Vielzahl von Saphir-Membranen vom Saphir-Wafer zu trennen. Beispielsweise können mehrere Verfahren, einschließlich Ritzen und Brechen entlang den Kristallebenen, Ultraschallbearbeitung oder Laserschneiden eingesetzt werden. Die Anwendung bekannter Verfahren ermöglicht das Schneiden runder Membranen **14**, die für die Drucksensorfertigung erwünscht sind.

**[0042]** Die elektrischen Leitungen **18** werden an die Bondpads **26** gelötet, und die Grundplatte **12** wird mit der Membran **14** verglast. Die dicke Grundplatte **12** oder der Wafer ist aus einem keramischen Werkstoff gefertigt, der Löcher oder Sacklöcher **36** aufweist (siehe [Fig. 2](#)). Die Sacklöcher **36** sind in der Grundplatte **12** zu den Bondpads **26** ausgerichtet ausgebildet und ermöglichen die Durchführung elektrischer Leitungen **18** von der Sensormembran **14** zur Elektronik, welche die Druckinformationen verwertet. Wenn eine Relativdruckerfassung gewünscht wird,



ist ein Belüftungsloch **38** durch die Grundplatte **12** ausgebildet. Keramische Werkstoffe bestehen meist aus Metalloxidpulvern, die bei hoher Temperatur zusammen gesintert werden, typischerweise unter Verwendung einer geringen Menge an Glas, das als Bindemittel wirkt. Ein üblicher keramischer Werkstoff ist Aluminiumoxid, das viele ähnliche Eigenschaften wie Saphir-Einkristall hat. Solange der Glasgehalt der Aluminiumoxidkeramik unter wenigen Prozent gehalten wird, werden sich die Dehnungseigenschaften vernachlässigbar unterscheiden.

**[0043]** Ein Glas **16**, das sowohl an Saphir als auch an Aluminiumoxidkeramik gut bondet, muß ähnliche Wärmedehnungseigenschaften haben. Es wurde festgestellt, daß Borosilikatgläser für diesen Zweck gut geeignet sind. Diese Gläser haben deutlich höhere Schmelztemperaturen als die Gläser, die zum Fritbonden von Materialien verwendet werden. Wie festgestellt wurde, erfolgt bei Sensoren, die aus Bulkware-Silizium gefertigt sind, eine übermäßige Diffusion von Dotierungsatomen in benachbarte Bereiche. Somit sind diese Bulkware-Siliziumsensoren typischerweise auf Arbeitstemperaturen von nicht mehr als 450°C beschränkt, und dies auch nur für kurze Abweichungen, beschränkt. Wie von Ghiselin et al. im US-Patent Nr. 4,774,843 angegeben, war das verlässliche Bonden einer Saphirmembran an eine Keramikgrundplatte bisher ein großes Problem. Die vorgeschlagenen Borosilikatgläser mit hoher Bondfestigkeit, die beim Verglasen verwendet werden, unterscheiden sich von Lötglas oder Glasfritte niedriger Temperatur und Festigkeit. Das Lötglas hat eine Schmelztemperatur um 450°C und eine geringere Festigkeit.

**[0044]** Um den Saphir mehr durch „Verglasen“ als durch Löten an die Aluminiumoxidkeramik zu bonden, kann ein Silikatglas **16** auf der Oberfläche der Grundplatte **12** vorgeformt oder durch ein Sieb aufgebracht werden. In beiden Fällen ist es wichtig, daß das Silikatglas nicht weit von seinem Ausgangspunkt fließt. Wenn der Innendurchmesser der Glasstruktur sich merklich ändert, können sich die Druckcharakteristiken des Sensors **10** drastisch verändern. Wenn das Glas **16** ferner während des Verglasungsprozesses über das metallisierte Bondpad **26** fließt, bevor das Lot **34** auf dem Bondpad **26** schmilzt, werden die Stifte **18** nicht mit den Bondpads **26** verlötet. Das Brennen des Glases sollte bei konstanten Temperaturen erfolgen, um das Verbleiben von Spannungen in dem Glasverbund zu vermeiden, die zu einer Instabilität oder zu einem Glasbruch führen könnten. Ferner muß das Silikatglas **16** Öffnungen oder Fenster für die elektrischen Stifte **18** aufweisen. Zusätzlich erreicht die Fühlermembran **14** auf der Grundplatte **12** bei Überdruck den Boden, indem die Dicke des Silikatglasverbundes **16** zwischen der Membran **14** und der Grundplatte **12** passend eingestellt wird (vgl. [Fig. 4](#)). Somit erhöht dieser Überdruckanschlag die

Überdruckkapazität des Sensors **10** um Faktor 100 oder mehr.

**[0045]** Die zum Bonden der elektrischen Leitung **18** mit dem Bondpad **26** verwendete Lötlegierung **34** muß bei einer Temperatur schmelzen, die etwas niedriger als die des Silikatglases **16** ist. Ferner muß das Lötzinn **34** bei seiner Schmelztemperatur aggressiv genug sein, um etwaige Oxide auf den Metallschichten **26** zu entfernen. Ohne Einschränkung wurde festgestellt, daß verschiedene Kupfer-Lötlegierungen geeigneten bekannten Aufbaus in der Lage sind, diesen Anforderungen zu entsprechen. Wenn das Lötzinn **34** schmilzt, bevor das Glas **16** zu fließen beginnt, und das Silikatglas **16** dann über das Bondpad **26** fließt, wird es über das Lötzinn **34** und das Bondpad **26** fließen und dadurch einen merklichen Spannungsabbau im Bondpad-Bereich ergeben. Ohne Einschränkung wurde festgestellt, daß eine Lötlegierung, wie Pakusil- **15**, das von Wesgo Metals, San Carlos, Kalifornien, einer Tochter der Morgan Advanced Ceramics Incorporated, vertrieben wird, akzeptabel lötet.

**[0046]** Die elektrische Leitung oder der elektrische Kontaktstift **18** sollte einen kleinen Querschnitt haben und vorzugsweise aus einem biegsamen Metall gefertigt sein. Ein solcher Stift **18**, der durch die Geometrie der Löcher **36** in der Keramik **12** begrenzt ist, hat gute Spannungsabbauereigenschaften und wird keine Spannungen von den Stiften **18** zu den Fühlerelementen leiten. Die Stifte **18** sollten mit einem Material mit guten Hartlöt- und angemessenen Weichlöteigenschaften, wie Nickel oder Gold, beschichtet sein.

**[0047]** Die Hochtemperaturfähigkeiten aller Baumaterialien des Sensors **10** gestatten eine Verwendung dieses Sensors **10** bei sehr hohen Temperaturen (über 400°C) über längere Zeiträume, und/oder dieser Sensor **10** kann direkt in Gehäuse aus Hochleistungskunststoffen, wie TEFLON® („Teflon“ ist eine eingetragene Marke von E.I. DuPont De Nemours and Company) eingeformt werden (siehe [Fig. 14](#)). Ein solcher eingeformter Drucksensor ergibt eine äußerst zuverlässige Abdichtung zwischen dem Sensor **10** und dem Kunststoffgehäuse.

**[0048]** Unter erneuter Bezugnahme auf die [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) wird nun die Durchbiegung der Membran **14** erläutert. Die mit **40** gekennzeichnete erste Punktlinie stellt eine stark überhöhte Durchbiegung der Membran **14** dar. Die zweite Punktlinie, die mit **42** bezeichnet ist, stellt eine Durchbiegung der Membran bei Überdruck dar (wobei die Stoppwirkung der Grundplatte **12** auf die Durchbiegung der Membran während des Überdrucks außer Acht gelassen ist). Eine solche drastische Durchbiegung würde wahrscheinlich zum Reißen oder Brechen der Membran **14** führen. [Fig. 5](#) zeigt eine modifizierte Membran **14**, die einen Membranmittelschnitt aufweist, der dün-

ner als der äußere Abschnitt der Membran ist. Typischerweise sollte die Dicke der Membran bei abnehmendem Durchmesser der Membran für eine maximale Empfindlichkeit ebenfalls abnehmen. Der Spalt zwischen der Membran **14** und der Grundplatte **12** kann durch die Dicke des Glasverbundes **16** eingestellt werden. Ohne Einschränkung liegt eine typische Durchbiegung der Membran zwischen 0,01 und 0,0001 Zoll, und der kann Abstand abhängig von der Dicke und dem Durchmesser der Membran **14** zwischen 0,02 und 0,0002 Zoll liegen. Die Größenordnung des Spaltes ist vorzugsweise gleich dem 2-fachen der Dicke der Membran **14**. Der aktive Fühlerbereich der Membran kann zwischen 0,075 und 2 Zoll, bei einer Membran mit einer Dicke im Bereich von 0,002 bis 0,050 Zoll liegen. Praxisbedingte Einschränkungen in der Waferherstellung begrenzen die Dicke eines Saphir-Einkristallwafers. Im Gegensatz zu Silizium-Einkristall gibt es jedoch kein einfaches Verfahren zum Formen dünner Saphirmembranen durch chemische Verfahren. Obwohl die Herstellung der Membran aus einem dünneren Saphir-Wafer bis zu einem gewissen Grad funktioniert, führen die hohen thermischen Spannungen, die während des Sensorherstellungsprozesses induziert werden, zu selbstzerstörenden inneren Spannungen. Alternativ dazu erhöht eine Vergrößerung des Durchmessers des Fühlerbereichs der Membran die Empfindlichkeit einer Druckvorrichtung. Typischerweise steigen jedoch mit zunehmendem Durchmesser der Membran auch die Kosten.

**[0049]** Die in [Fig. 5](#) gezeigte, modifizierte Membran **15** verringert die Dicke der Membran, die aus einem dickeren Saphir-Wafer hergestellt ist, nahe dem Erfassungsbereich. Das Ausdünnen der Membran nach dem Abschluß der Dünnschichtprozesse ergibt biegsamere Druckfühlermembranen. Ein Materialrand, der um jede Einheit herum verbleibt, ergibt eine Festigkeit, die z.B. erforderlich ist, wenn die Fühlermembran in direktem Kontakt mit einem Drucksensorgehäuse steht. Der dünne Mittelbereich **46** bewirkt die erforderliche Empfindlichkeit. Die Saphir-Membran **14** kann mit herkömmlichen mechanischen Mitteln, wie Bearbeitung durch Abschleifen oder Ultraschallbearbeitung, die dem Fachmann bekannt sind, dünner gemacht werden.

**[0050]** Alternativ dazu kann eine Ringnut **80** an der äußeren Fühlerfläche der Membran **14** (vgl. [Fig. 17](#)) ausgebildet werden. Für den Fachmann ist ersichtlich, daß die Form der Nut zwar nicht ausschlaggebend ist, aber abgerundete Kanten und Nuten bevorzugt sind. Zudem können neben einer ringförmigen Nut auch andere geometrische Formen dazu geeignet sein, die Durchbiegungsbeanspruchung im Bereich nahe dem Glasverbund **16** abzubauen.

**[0051]** Anhand der [Fig. 11](#) wird nun eine alternative Ausführungsform des Drucksensors **10** der vorlie-

genden Erfindung gezeigt, bei dem eine Leitschicht zwischen der Grundplatte **12** und der Siliziumnitridschicht **24** angeordnet ist. Die Leitschicht **48** ist an Masse angeschlossen gezeigt. Auf diese Weise werden Elektromagnet- und Hochfrequenzinterferenz (EMI und RFI) blockiert. Bekanntlich verschlechtern EMI und RFI die Leistung piezoresistiver Sensoren. Aufgrund des epitaktischen Aufbaus von Silizium auf Saphir und des Wunsches, das Silizium direkt mit dem Saphir zu bonden, ist es nicht erwünscht, eine Leitschicht zwischen dem Silizium und dem Saphir anzuordnen. Ferner würde das Anordnen einer Leitschicht an der Außenseite der Saphirmembran die nicht-porösen, chemisch inerten Eigenschaften der Saphirmembran aufheben. Ohne Einschränkung kann die Leit- oder Metallisierungsschicht **48** eine Schicht aus Niob, Wolfram, Iridium, Molybdän, Tantal, Platin und Palladium oder aus einem anderen Material umfassen, das bekannt für eine EMI- und RFI-Abschirmung ist. Somit schirmt die Metallschicht **48** das Fühlerelement gegenüber EMI und RFI ab, die oberhalb der Leitschicht entstehen.

**[0052]** Da die Leitschicht **48** Massepotential hat, erzeugen EMI und RFI stehende Wellen mit Nullpotential an der Leitschicht **48**. Es ist bekannt, daß eine merkliche Störung entsteht, wenn die Strahlung der stehenden Wellen Frequenzkomponenten aufweist, deren Wellenlänge in der Größenordnung des Abstandes zwischen der Masseebene und den Widerstandsbauteilen liegt. Wenn andererseits der Abstand der Masseebene zu den Widerstandsbauteilen klein ist, haben die stehenden Wellen am piezoresistiven Element eine vernachlässigbare Amplitude, und es tritt keine Interferenz auf. Da EMI- und RFI-Störungen im Bereich von 1 MHz bis 1.000 MHz auftreten, beträgt die Mindestwellenlänge für diesen Frequenzbereich 0,3 m. Ferner ist der Abstand zwischen der Masseebene und den piezoresistiven Elementen oder der Siliziumstruktur **20** gleich der Dicke der Siliziumnitridschicht, die in der Größenordnung von 500 Angström oder 0,00000005 m liegt. Somit liegt die zu erwartende EMI- und RFI-Abschirmung bei etwa 6.000.000 zu 1.

**[0053]** Anhand [Fig. 12](#) wird nun eine weitere alternative Ausführungsform des Sensors **10** der vorliegenden Erfindung gezeigt. Ein nicht-poröser, chemisch inerte Drucksensor kann vorteilhafterweise dazu verwendet werden, Drücke in einer stark ätzenden Umgebung zu erfassen. Sensoren, die eine Fühlermembran aufweisen, welche mit Einkristallsaphir aufgebaut ist, bieten hervorragenden Schutz gegen chemische Einwirkung. Der Sensor **10** kann in einem Druckwandlergehäuse **50** (vgl. [Fig. 13](#)) angeordnet sein, das primäre und sekundäre Dichtungen **52** und **54** aufweist. Wenn die primäre Dichtung an der Außenfläche der Saphirmembran anliegt, benetzt das Prozessfluid nur die Dichtung und den Saphir. Da Dichtungen bekannter geeigneter Bauart für Prozeß-



fluide durchlässig sind, wird eine gewisse Menge Prozeßfluid durch die primäre Dichtung hindurchtreten. Sehr aggressive Prozeßfluide, wie Fluorwasserstoffsäure, die durch die erste primäre Dichtung hindurchtreten, können die Verbindung zwischen der Saphirmembran **14** und der Keramikgrundplatte **12** angreifen. Die Kontaminanten aus diesem Korrosionsprozeß an der Verbindung können dann zurück in die Prozeßfluide eindringen. Die vorliegende Erfindung kann ein chemisch beständiges Polymer, wie ein säurebeständiges Epoxidharz, wie z.B. säurebeständiges Epoxidharz EP21AR, das von Master Bond, Inc., Hackensack, N.J., erhältlich ist, umfassen, welches auf den Rand des Sensors **10** aufgebracht wird, der die Verbindung umgibt. Alternativ dazu kann ein Dichtungsprofil, z.B. aus TEFLON, oder eine Elastomer-Dichtung **84**, die z.B. ohne Einschränkung aus KALREZ gefertigt sein kann, gegen die Verbindung des Sensors zusammengedrückt werden, wie dies in [Fig. 18](#) gezeigt ist. Die Dichtung **84** hat einen L-förmigen Querschnitt und kann um die Seite des Sensors **10** sowie die äußere Fühlerfläche der Membran **14** gelegt sein. Für den Fachmann ist ersichtlich, daß das Dichtungsprofil **84** als Teil des Gehäuses **50** ausgebildet sein kann. Ferner kann das Material, um die elektrische Abschirmung zu verstärken, durch Einmischen von Kohlenstoffpulver elektrisch leitfähig gemacht werden. Das leitfähige Epoxidharz kann über eine leitfähige Druckpaste **58**, die auf Masse gelegt ist, geerdet werden.

**[0054]** In [Fig. 13](#) ist der Sensor **10** in einem Druckwandlergehäuse **50** mit einem Fluiddurchlaß **60** angeordnet gezeigt. Die Saphirmembran dichtet gegen die primäre und sekundäre Dichtung **52** und **54** ab. Ein Auslaß oder Ablauf **62** kann sich von außerhalb des Druckwandlergehäuses in das Gehäuse zwischen die primäre und sekundäre Dichtung erstrecken. Der Auslaß **62** kann den Druck zwischen den Dichtungen abbauen und/oder einen Durchlaß für Fluide bilden, die durch die primäre Dichtung eindringen, um aus dem Druckwandlergehäuse **50** auszutreten. Der Sensor **10** der vorliegenden Erfindung, der eine Saphirmembran **14** aufweist, ergibt einen Drucksensor, der korrosions- und lösungsmittelbeständig ist, eine gewünschte Biegung ohne meßbare Temperatur- oder Druckhysterese zeigt, und Prozeßfluidtemperaturen von mehr als 400°C tolerieren kann. In [Fig. 14](#) kann der Drucksensor, da er hohen Temperaturen standhalten kann, auch während des Kunststoff-Spritzgußverfahrens als Insert in das Kunststoffgehäuse **50** des Druckwandlers eingeformt werden, wodurch das Erfordernis einer primären oder sekundären Dichtung entfällt. Dabei wirkt das Gehäuse selbst als Dichtung für den Sensor **10**. Es ist zu erwarten, daß derartige Einformen für den Drucksensor und das Modul die Herstellungskosten senkt, die Bauweise vereinfacht und die Gesamtgröße des Druckwandlermoduls verringert.

**[0055]** In [Fig. 15](#) ist eine weitere alternative Ausführungsform des Sensors **10** der vorliegenden Erfindung gezeigt. Der Sensor **10** kann sowohl Druck als auch Temperatur des Fluids benachbart der Membran **14** erfassen. Ferner umfaßt der Sensor **10** einen Widerstand **70**, der auf der Saphirmembran **14** strukturiert ist. Bondpads **72** werden auf dem Sensor in ähnlicher Weise und zur gleichen Zeit wie die Bondpads **26** ausgebildet. Der Widerstand **70** wird zwischen dem Glasverbund **16** und der Membran **14** ausgebildet. Durch Anordnen des Widerstandes außerhalb der Druckbeanspruchungszone werden druckinduzierte Spannungen, die den Widerstandswert des Widerstandes **70** beeinträchtigen können, vermieden. Der Widerstand des Silizium-Einkristall-Widerstandes **70** hat eine klar definierte Temperaturabhängigkeit. Es wurde festgestellt, daß bei hohen Dotierungskonzentrationen (p-Dotierung mit mehr als  $10^{19}$  Atomen/cm<sup>3</sup>) die Funktion zwischen Temperatur und Widerstand sich eng an eine lineare Funktion annähert. Somit ist bei sich änderndem Widerstand die Temperaturänderung ohne weiteres bestimmbar.

**[0056]** [Fig. 16](#) zeigt eine weitere Ausführungsform des Sensors **10**, bei der die Widerstände der Wheatstone-Brücke **22** dazu eingesetzt werden, sowohl den Druck als auch die Temperatur zu bestimmen. Der äußere Rand des Sensors **10** ist durch eine gepunktete Linie dargestellt. Wieder hat der Widerstand der Silizium-Einkristall-Widerstände, welche die Wheatstone-Brücke umfassen, eine wohlbekannte Temperaturabhängigkeit. Ein Widerstand **76**, der in [Fig. 16](#) mit „Rt“ bezeichnet ist, ist elektrisch an die Wheatstone-Brücke **22** angeschlossen, kann jedoch gegenüber etwaigen Temperatureinflüssen durch Temperaturänderungen des Prozeßfluids isoliert sein. Zum Beispiel kann der Widerstand **76** bei der Fühlerelektronik eines Druckwandlers und in einem Abstand von der Membran **14** angeordnet sein. Der Wert des Widerstandes **46** ist etwa halb so groß wie der Wert des Widerstandes der Wheatstone-Brücke **22**. Die Effekte des Drucks auf die Genauigkeit der Temperaturbestimmung sind vernachlässigbar, wenn die Temperatur mittels eines Polynoms zusammen mit Datenfitverfahren bestimmt wird, die dem Fachmann bekannt sind. In dem Maße, wie sich der Widerstand der Wheatstone-Brücke **22** mit der Temperatur ändert, ändert sich auch die Spannung  $V_t$ . Die gesamte Brücke kann als Widerstand in einer Spannungsteilungsschaltung eingesetzt werden. Dabei kann die Spannung  $V_t$  als Temperatursignal für einen analogen oder digitalen Korrekturansatz verwendet werden.

**[0057]** Die Spannung  $V_t$  hängt nahezu vollständig von der Temperatur der Wheatstone-Brücke **22** ab, insbesondere wenn die Siliziumwiderstände stark dotiert sind. Sind die Siliziumwiderstände schwach dotiert, oder möchte der Benutzer die Ungenauigkeit bei der Temperaturmessung verringern, kann die Tempe-

ratur durch eine Matrixcharakterisierung hergeleitet werden. Dabei kann folgendes Polynom verwendet werden, das die Temperatur T als Funktion von Ausgangssignalen  $V_T$  und  $V_P$  andrückt:

$$T = a_{00} + a_{01}V_T + a_{02}V_T^2 + \dots + a_{10}V_P + a_{11}V_PV_T + a_{12}V_PV_T^2 + \dots + a_{20}V_P^2 + \dots$$

worin die Koeffizienten  $a_{xx}$  durch einen dem Fachmann bekannten least-square-fit erhalten werden. Der Einsatz der obigen Charakterisierung zusammen mit dem Datenfitverfahren ergibt einen Sensor mit einem geeichten Temperatursignal, der auf Belastungswirkungen kalibriert ist. Somit wird mit einem einzelnen Sensor die gleichzeitige Druck- und Temperaturmessung bei schnellen Reaktionszeiten erreicht. Alternativ dazu kann, wenn nur eine Temperatursignalausgabe erwünscht ist, die Druckcharakterisierung vermieden werden, indem die Anschlüsse des Widerstands auf der Achse angeordnet werden, die nicht belastungsempfindlich ist. Beispielsweise wird die maximale Belastungsempfindlichkeit des R-Ebenen-Siliziums auf Saphir erreicht, indem die Widerstandselemente unter 45° zur projizierten C-Achse angeordnet werden, wobei die R-Ebene und die C-Achse durch die Miller-Indizes der Kristallgeometrie definiert sind. Der Piezowiderstand ist für Widerstandselemente, die parallel oder senkrecht zur projizierten C-Achse ausgerichtet sind, gleich Null. Die Achse der Widerstände kann gedreht werden, um die Druckempfindlichkeit zu beseitigen. Auf diese Weise kann beim Sensor 10 die Druckempfindlichkeit aufgehoben werden, so daß er nur die Temperatur in seiner Nähe bestimmt.

**[0058]** Diese Erfindung wurde hier sehr ausführlich beschrieben, um die Patentvorschriften zu erfüllen und dem Fachmann die Informationen zu geben, die er benötigt, um die neuen Prinzipien anzuwenden und entsprechende, benötigten spezialisierte Bauteile zu bauen und zu verwenden. Es versteht sich jedoch, daß die Erfindung mit besonderen, anderen Geräten und Vorrichtungen ausgeführt werden kann und daß verschiedene Modifikationen, sowohl an den Geräten als auch bezüglich der Betriebsverfahren, durchgeführt werden können, ohne vom Umfang der Erfindung selbst abzuweichen.

### Patentansprüche

1. Sensor mit einer nicht-porösen Außenfläche, wobei der Sensor umfaßt:  
eine Grundplatte (12) mit einer Innen- und einer Außenfläche,  
eine nicht-poröse Membran (14), die aus einem Saphir-Material besteht und eine Innen- und eine Außenfläche aufweist,  
ein Fühlerelement (20; 70), das über der Innenfläche der Membran (14) angeordnet ist, wobei zumindest der Druck und/oder die Temperatur nahe der

nicht-porösen Membran (14) mit dem Fühlerelement detektierbar ist/sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Glasschicht (16) durch Verglasen mit der Innenfläche der Grundplatte (12) und mit der Innenfläche der nicht-porösen Membran (14) nahe deren Außenrand verbunden wird, wodurch die Grundplatte (12) und die nicht-poröse Membran (14) miteinander verbunden werden und das Fühlerelement (20; 70) über der Grundplatte eingeschlossen wird, wobei die Glasschicht (16) sowohl eine hohe Verbindungsfestigkeit als auch eine hohe Schmelztemperatur von größer oder gleich 700°C aufweist, der Sensor eine Metallisierungsschicht (48) zwischen der nicht-porösen Membran (14) und der Grundplatte (12) umfaßt, um eine Beeinträchtigung des Fühlerelementes (20; 70) durch EMI/RFI zu verhindern, und die Metallisierungsschicht (48) zwischen der Grundplatte (12) und dem Fühlerelement angeordnet ist, und wobei der Sensor ferner eine zwischen der Grundplatte (12) und der Membran (14) epitaktisch auf die Saphir-Membran (14) abgeschiedene Siliziumschicht umfaßt, auf welcher das Fühlerelement (20; 70) ausgebildet ist.

2. Sensor nach Anspruch 1, wobei die Glasschicht (16) eine Dickenabmessung hat, bei der sich die nicht-poröse Membran (14) bis zu einer gewünschten maximalen Durchbiegung durchbiegt, und ein Abschnitt der Innenfläche der Membran (14) mit einer Innenfläche der Grundplatte (12) in Kontakt kommt.

3. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Grundplatte (12) und die nicht-poröse Membran (14) aus Materialien mit ähnlichen Wärmedehnungskoeffizienten gefertigt sind.

4. Sensor nach Anspruch 1, wobei der Fühler (20) einen Absolutdruck detektiert.

5. Sensor nach Anspruch 1, ferner mit einer Öffnung (38), die durch die Grundplatte (12) verläuft, damit ein Relativdruck erfaßt werden kann.

6. Sensor nach Anspruch 1, ferner mit einer chemisch beständigen Schicht (24), die zwischen der Siliziumschicht (20) und der Grundplatte (12) angeordnet ist, wobei die chemisch beständige Schicht (24) als elektrischer Isolator wirkt.

7. Sensor nach Anspruch 1, ferner mit Bondpads (26) zwischen der Glasschicht (16) und der nicht-porösen Membran (14).

8. Sensor nach Anspruch 7, ferner mit in der Glasschicht (16) gebildeten Fenstern, die einen Zugang zu den Bondpads (26) und zu elektrischen Leitungen (18) schaffen, die an die Bondpads gelötet sind.

9. Sensor nach Anspruch 1, ferner mit einer zwischen der nicht-porösen Membran (14) und der Grundplatte (12) angeordneten Siliziumschicht, auf welcher das Fühlerelement (20; 70) ausgebildet ist.

10. Sensor nach Anspruch 7, wobei die Bondpads (26) eine Titanschicht (30) und eine Diffusionsbarriere (32) umfassen.

11. Sensor nach Anspruch 1, ferner mit einem chemisch beständigen Polymer (52, 54, 84) benachbart mindestens einem Abschnitt eines äußeren Randes der nicht-porösen Membran (14) und der Grundplatte (12).

12. Sensor nach Anspruch 1, wobei der Fühler ein Temperaturfühler (70) ist.

13. Sensor nach Anspruch 1, ferner mit: elektrischen Leitungen (18), die mit dem Fühlerelement (20, 70) verbunden sind und durch die Grundplatte (12) laufen; Bondpads (26), die zwischen der Glasschicht (16) und der nicht-porösen Membran (14) angeordnet sind, und mit in der Glasschicht (16) gebildeten Fenstern, die einen Zugang zu den Bondpads (26) und zu den an die Bondpads (26) gelöteten elektrischen Leitungen (18) schaffen.

14. Sensor nach Anspruch 1, ferner mit einem primären Dichtungselement (52), das mit der Außenfläche der Membran (14) in Kontakt steht.

15. Sensor nach Anspruch 14, wobei das primäre Dichtungselement (52) einen L-förmigen Querschnitt hat und sich seitlich um den Sensor (10) sowie auf die Außenfläche der Membran biegt.

16. Sensor nach Anspruch 14, ferner mit einem sekundären Dichtungselement, das entweder mit der Außenfläche der Membran in Kontakt steht oder seitlich an der Grundplatte angeordnet ist, wobei das sekundäre Dichtungselement (54) vom primären Dichtungselement beabstandet ist.

17. Sensor nach Anspruch 1, mit einem Druck- und Temperatursensor und einem chemisch inerten Gehäuse (50), das dazu eingerichtet ist, den Sensor abzudichten und einen Teil der Membranoberfläche (14) freizulegen.

18. Sensor nach Anspruch 17, der ferner ein primäres Dichtungselement (52), das mit der Außenfläche der Membran (14) in Kontakt steht, und ein sekundäres Dichtungselement (54) umfaßt, das entweder mit der Außenfläche der Membran in Kontakt steht oder seitlich an der Grundplatte (12) angeordnet ist, wobei das sekundäre Dichtungselement vom primären Dichtungselement (52) beabstandet ist, das primäre und das sekundäre Dichtungselement (52,

54) dazu eingerichtet sind, am Gehäuse (50) anzuliegen, und zu beiden Seiten eines Luftlochs (62) im Gehäuse (50) angeordnet sind, wobei sich das Luftloch (62) von der Außenseite des Gehäuses (50) zwischen die Dichtungselemente (52, 54) hinein erstreckt und dazu eingerichtet ist, das Durchströmen von Fluiden zu erleichtern und Druck zwischen den Dichtungselementen (52, 54) abzubauen.

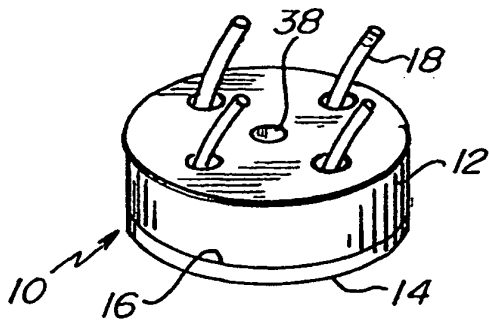
19. Verfahren zur Herstellung eines Sensors gemäß Anspruch 1, das umfaßt:  
Bereitstellen einer nicht-porösen, chemisch inerten Membran (14), die ein Saphir-Material aufweist, mit einer Innen- und einer Außenfläche;  
Anordnen einer Grundplatte (12) mit einer Innen- und einer Außenfläche über der Membran (14), epitaktisches Abscheiden einer Siliziumschicht auf die Saphir-Membran, zwischen der Grundplatte (12) und der Membran (14),  
Anordnen eines Fühlerelementes (20, 70) über der Innenfläche der nicht-porösen Membran (14) und auf der Siliziumschicht,  
Bereitstellen einer Metallisierungsschicht (48) zwischen der nicht-porösen Membran (14) und der Grundplatte (12), um eine Beeinträchtigung des Fühlerelementes (20; 70) durch EMI/RFI zu verhindern, wobei die Metallisierungsschicht (48) zwischen der Grundplatte (12) und dem Fühlerelement (20; 70) angeordnet ist, und  
Verwenden einer Glasmaterialschiicht (16) zum Binden der Innenfläche der Grundplatte (12) mit der Innenfläche der Membran (14) nahe einem Außenumfang der Membran (14), um das Fühler (20, 70) einzuschließen, wobei das Glasmaterial (16) sowohl eine hohe Verbindungsfestigkeit als auch eine hohe Schmelztemperatur von größer oder gleich 700°C aufweist.

20. Verfahren nach Anspruch 19, das ferner den Schritt des Bondens des Fühlerelementes (20, 70) an eine elektrische Leitung (18) über ein mehrschichtiges Bondpad (26) umfaßt, das auf der Innenfläche der Membran (14) angeordnet ist.

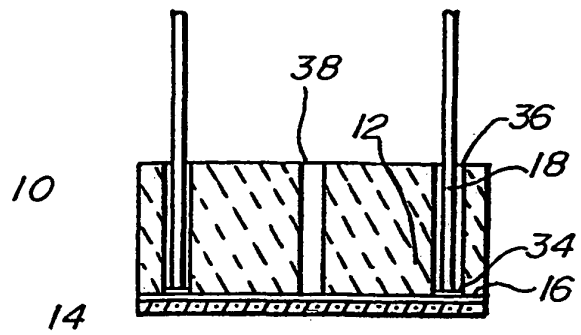
21. Verfahren nach Anspruch 20, das ferner den Schritt des Ausbildens einer Öffnung (36) in der Grundplatte (12) für den Zugang der elektrischen Leitung (18) und den Schritt des Anlötens der elektrischen Leitung (18) am Bondpad (26) umfaßt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

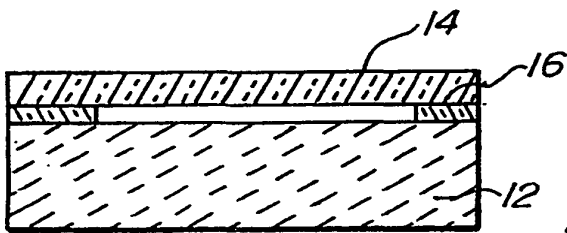
Anhängende Zeichnungen



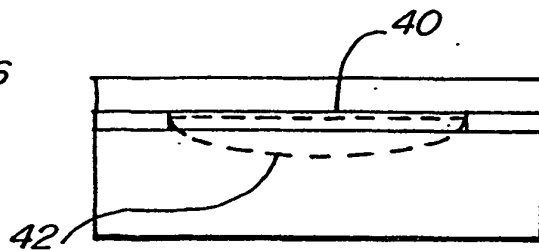
**Fig. 1.**



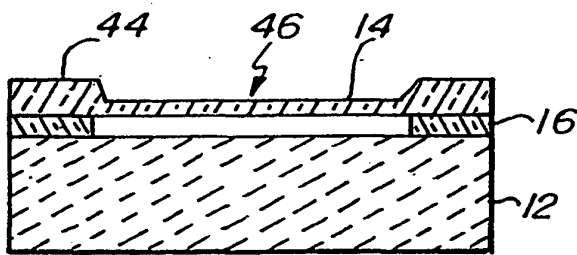
**Fig. 2.**



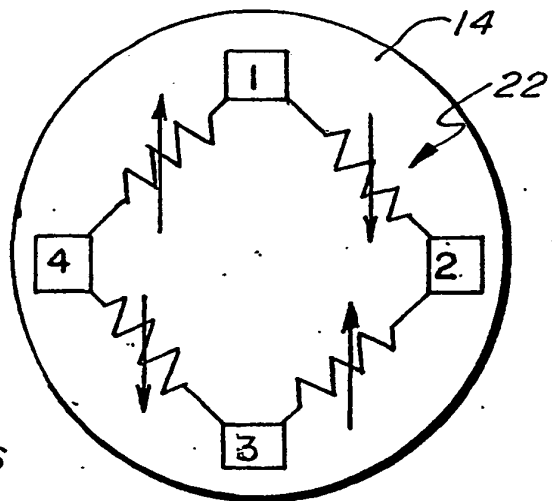
**Fig. 3.**



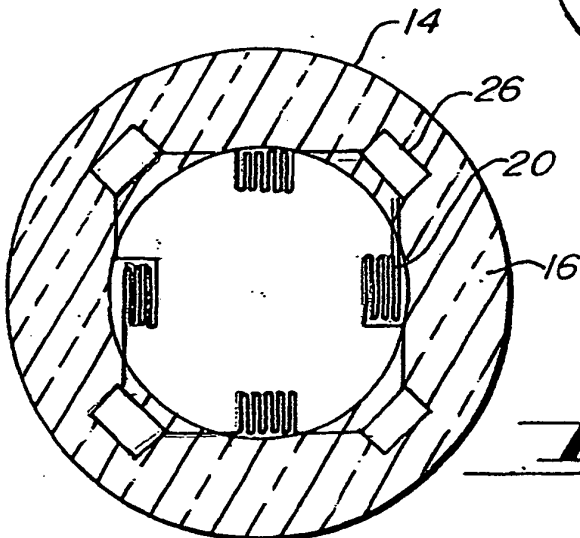
**Fig. 4.**



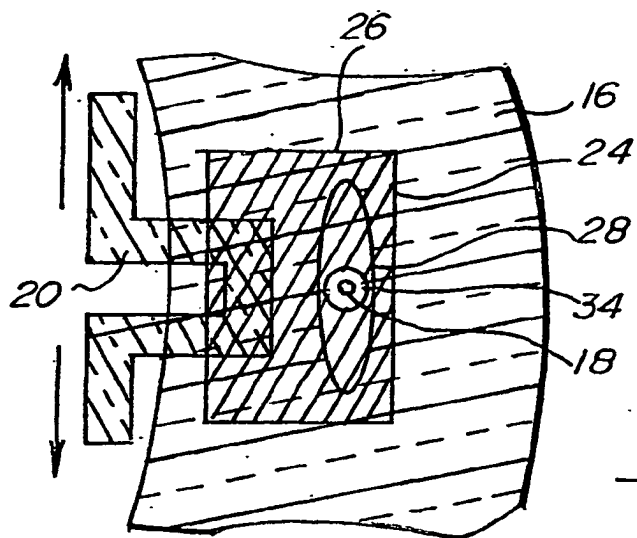
**Fig. 5.**



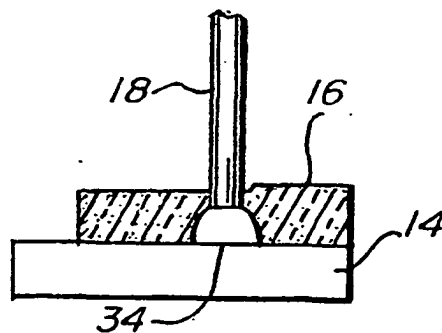
**Fig. 6.**



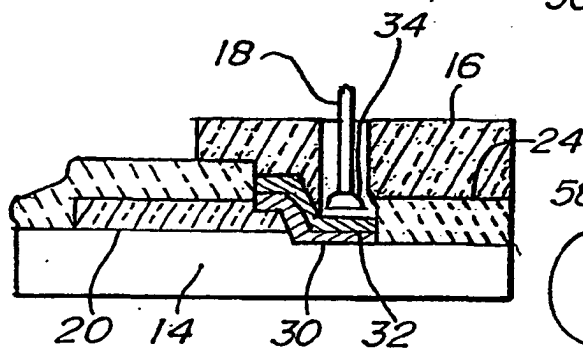
**Fig. 7.**



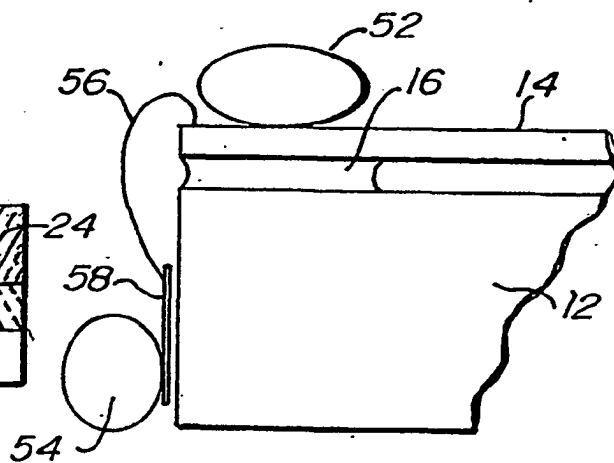
**Fig. 8.**



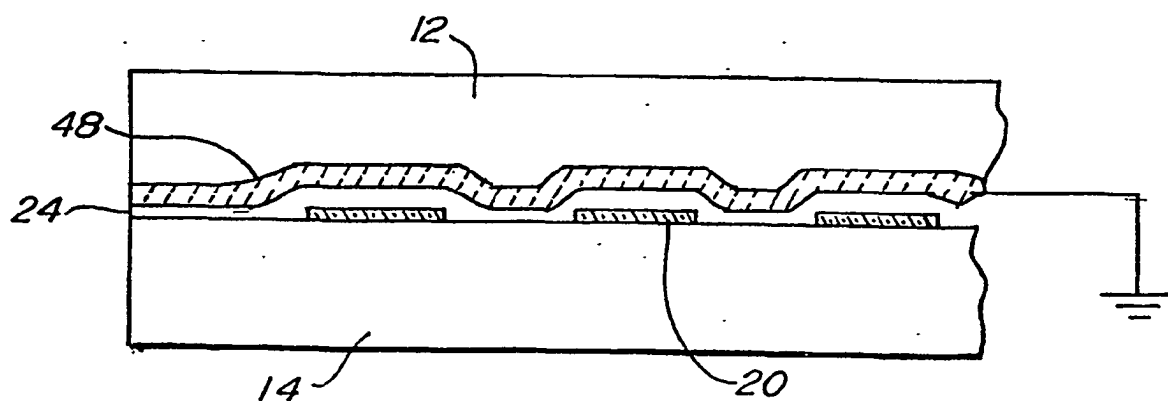
**Fig. 9.**



**Fig. 10.**

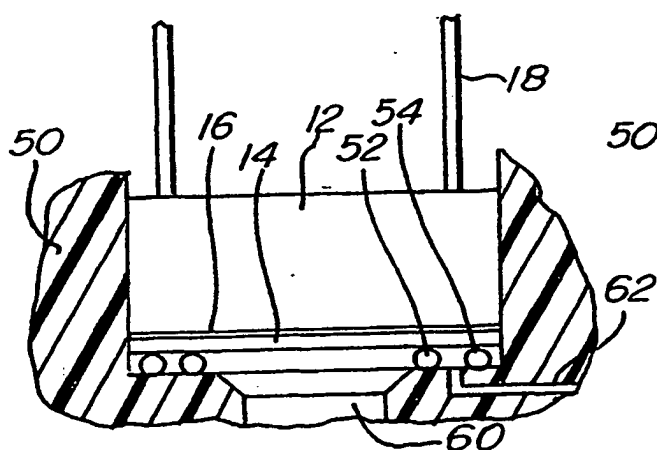


**Fig. 12.**

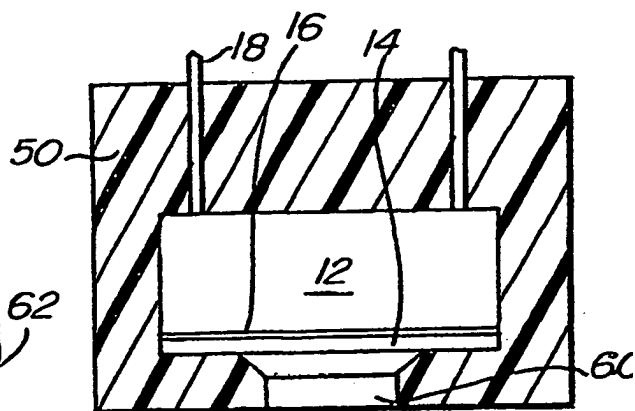


**Fig. 11.**

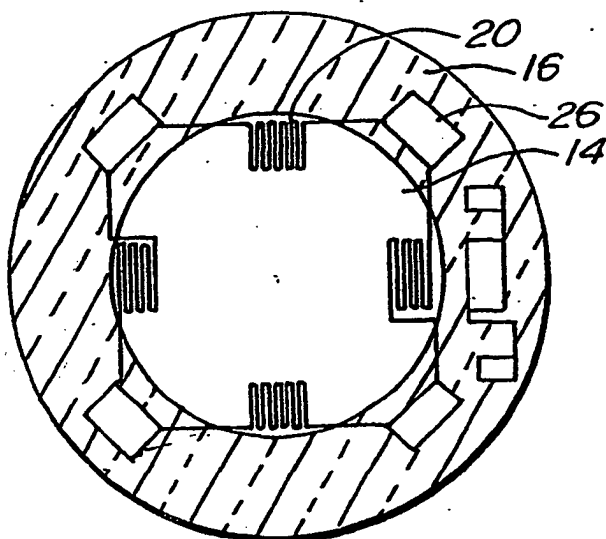




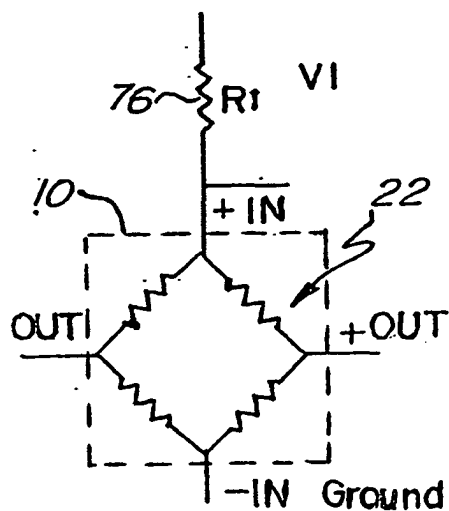
**Fig. 13.**



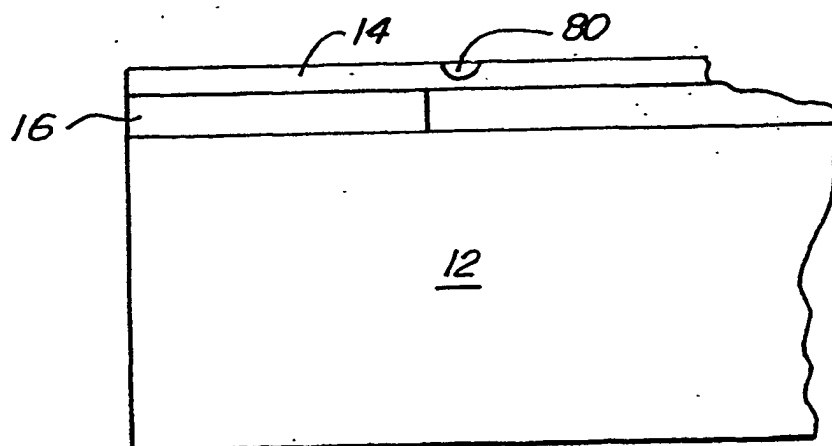
**Fig. 14.**



**Fig. 15.**



**Fig. 16.**



**Fig. 17.**

