



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 108 743.8**

(22) Anmeldetag: **12.04.2018**

(43) Offenlegungstag: **17.10.2019**

(51) Int Cl.: **G01L 9/12 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Endress+Hauser SE+Co. KG, 79689 Maulburg, DE

(74) Vertreter:
Andres, Angelika, Dipl.-Phys., 79576 Weil am Rhein, DE

(72) Erfinder:
**Roßberg, Andreas, Dr., 79713 Bad Säckingen, DE;
Ponath, Nils, Dr., 79539 Lörrach, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

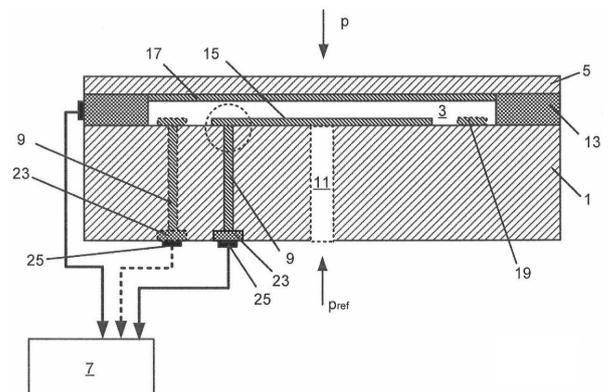
DE	10 2008 043 567	A1
DE	10 2010 053 760	A1
DE	10 2010 063 065	A1
DE	10 2014 104 506	A1
DE	10 2016 102 775	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Drucksensor**

(57) Zusammenfassung: Es ist ein eine möglichst hohe Messgenauigkeit und/oder einen möglichst geringen temperaturabhängigen Messfehler aufweisender Drucksensor, mit einem keramischen Grundkörper (1), einer unter Einschluss einer Druckkammer (3) mit dem Grundkörper (1) verbundenen, mit einem vom Drucksensor messtechnisch zu erfassenden Druck (p) beaufschlagbaren Messmembran (5), einem elektromechanischen Wandler, der derart ausgebildet ist, dass er eine vom auf die Messmembran (5) einwirkenden Druck abhängige Durchbiegung der Messmembran (5) in eine elektrische Größe umwandelt, und mindestens einem jeweils an eine Komponente des Drucksensors angeschlossenen, durch den Grundkörper (1) hindurch verlaufenden, elektrisch leitfähigen Kontaktstift (9), über den die daran angeschlossene Komponente elektrisch anschließbar ist, beschrieben, der sich dadurch auszeichnet, dass der Kontaktstift (9), mindestens einer der Kontaktstifte (9) oder jeder Kontaktstift (9) jeweils aus einem Material besteht, das einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, der sich von einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des keramischen Grundkörpers (1) um weniger als $1 \cdot 10^{-6}/K$ unterscheidet, und das einen Elastizitätsmodul von kleiner gleich 150 kN/mm^2 aufweist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Drucksensor, mit einem keramischen Grundkörper,

einer unter Einschluss einer Druckkammer mit dem Grundkörper verbundenen, mit einem vom Drucksensor messtechnisch zu erfassenden Druck beaufschlagbaren Messmembran,

einem elektromechanischen Wandler, der derart ausgebildet ist, dass er eine vom auf die Messmembran einwirkenden Druck abhängige Durchbiegung der Messmembran in eine elektrische Größe umwandelt, und

mindestens einem jeweils an eine Komponente des Drucksensors angeschlossenen, durch den Grundkörper hindurch verlaufenden, elektrisch leitfähigen Kontaktstift, über den die daran angeschlossene Komponente elektrisch anschließbar ist.

[0002] Drucksensoren werden in der industriellen Messtechnik zur Messung von Drücken eingesetzt.

[0003] Ein die eingangs genannten Merkmale aufweisende Drucksensor ist z.B. in der DE 10 2008 043 567 A1 beschrieben. Dieser umfasst einen kapazitiven elektromechanischen Wandler, der einen Messkondensator mit einer von einer vom zu messenden Druck abhängigen Durchbiegung der Messmembran abhängigen Messkapazität umfasst. Der Messkondensator umfasst eine auf einer der Messmembran zugewandten Stirnseite des Grundkörpers angeordnete Messelektrode und eine auf der Innenseite der Messmembran angeordnete Gegenelektrode. Die Messelektrode ist über einen durch den Grundkörper hindurch verlaufenden metallischen Kontaktstift elektrisch anschließbar, der in elektrisch leitendem Kontakt zur Messelektrode steht. Gemäß der DE 10 2008 043 567 A1 besteht der Kontaktstift vorzugsweise aus dem gleichen Werkstoff, aus dem auch die Messelektrode besteht, vorzugsweise aus Tantal.

[0004] In dem Bestreben die mit Drucksensoren der eingangs genannten Art erzielbare Messgenauigkeit immer weiter zu verbessern, hat die Anmelderin umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass Tantalstifte einen zwar nur sehr geringen, aber dennoch messbar nachteiligen Einfluss auf erzielbare Messgenauigkeit ausüben, der sich insb. in Form eines temperaturabhängigen Messfehlers niederschlägt. Dieses Ergebnis ist insofern überraschend, als der Kontaktstift keinen unmittelbaren mechanischen Kontakt zu der gegenüber thermomechanischen Spannungen empfindlichen Messmembran aufweist und der den Kontaktstift außenseitlich umgebende Grundkörper einen im Vergleich zur Messmembran massiven, starren

Körper bildet. Beide Faktoren lassen die Annahme gerechtfertigt erscheinen, dass der Tantalstift keinen maßgeblichen negativen Einfluss auf den temperaturabhängigen Messfehler des Drucksensors haben sollte.

[0005] Es ist eine Aufgabe der Erfindung einen Drucksensor der eingangs genannten Art anzugeben, der eine möglichst hohe Messgenauigkeit und/oder einen möglichst geringen temperaturabhängigen Messfehler aufweist.

[0006] Zur Lösung dieser Aufgabe umfasst die Erfindung einen Drucksensor, mit

einem keramischen Grundkörper,

einer unter Einschluss einer Druckkammer mit dem Grundkörper verbundenen, mit einem vom Drucksensor messtechnisch zu erfassenden Druck beaufschlagbaren Messmembran,

einem elektromechanischen Wandler, der derart ausgebildet ist, dass er eine vom auf die Messmembran einwirkenden Druck abhängige Durchbiegung der Messmembran in eine elektrische Größe umwandelt, und

mindestens einem jeweils an eine Komponente des Drucksensors angeschlossenen, durch den Grundkörper hindurch verlaufenden, elektrisch leitfähigen Kontaktstift, über den die daran angeschlossene Komponente elektrisch anschließbar ist,

der sich dadurch auszeichnet, dass

der Kontaktstift, mindestens einer der Kontaktstifte oder jeder Kontaktstift jeweils aus einem Material besteht, das einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, der sich von einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des keramischen Grundkörpers um weniger als $1 \cdot 10^{-6}/K$ unterscheidet, und das einen Elastizitätsmodul von kleiner gleich 150 kN/mm^2 aufweist.

[0007] Die erfindungsgemäß in Kombination miteinander vorzusehenden Materialeigenschaften des Materials des Kontaktstifts bieten den Vorteil, dass die thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Grundkörper und Kontaktstift mindestens so gut aneinander angepasst sind, dass auf deren Differenz zurückzuführende thermomechanische Spannungen in einem vergleichsweise großen Temperaturbereich, z.B. einem Temperaturbereich von -40°C bis 150°C , so gering sind, dass sie zumindest teilweise durch die aufgrund des geringen Elastizitätsmodul sicher gestellte Verformbarkeit des Kontaktstifts ausgeglichen und/oder vom Kontaktstift aufgenommen werden können.

[0008] Das führt zu einer Reduktion von thermomechanischen Spannungen, die andernfalls zu Ver-

formungen des Grundkörpers führen könnten und/oder über den Grundkörper auf die damit verbundene Messmembran übertragen werden könnten. Die Erfindung trägt somit dazu bei, den temperaturabhängigen Messfehler des Drucksensors zu reduzieren, wodurch insgesamt eine höhere Messgenauigkeit erzielt wird.

[0009] Eine erste Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

der Grundkörper aus einem keramischen Werkstoff mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $8 \cdot 10^{-6}/K$ bis $9 \cdot 10^{-6}/K$ oder aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) besteht, und

der Kontaktstift, mindestens einer der Kontaktstifte oder jeder Kontaktstift jeweils aus Titan oder aus einem Titan umfassenden Werkstoff besteht.

[0010] Eine zweite Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass der Kontaktstift, mindestens einer der Kontaktstifte oder jeder Kontaktstift jeweils als ein spannungsarmgeglühter Kontaktstift ausgebildet ist.

[0011] Eine bevorzugte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, dass

der Grundkörper einen Durchmesser in der Größenordnung von größer gleich 1,5 cm oder von 1,5 cm bis 3,5 cm aufweist,

der Grundkörper eine Dicke in der Größenordnung von größer gleich mehreren Millimetern, insb. in von 0,4 cm bis 0,5 cm, aufweist, und/oder

der Kontaktstift, mindestens einer der Kontaktstifte oder jeder Kontaktstift jeweils einen Durchmesser 0,5 mm bis 0,8 mm aufweist.

[0012] Eine zweite bevorzugte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, dass der Kontaktstift, mindestens einer der Kontaktstifte oder jeder Kontaktstift jeweils als ein in eine durch den Grundkörper hindurch verlaufende Bohrung eingesetzter, in der Bohrung verpresster Kontaktstift ausgebildet ist.

[0013] Eine dritte bevorzugte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, dass der Kontaktstift, mindestens einer der Kontaktstifte oder jeder Kontaktstift jeweils als ein in eine Bohrung im Grundkörper eingesetzter, mittels einer Kaltschweißung mit einem auf einer Mantelfläche des Grundkörpers angeordneten Anschlussbereich der an den jeweiligen Kontaktstift angeschlossenen Komponente verbunden ist, wobei der Anschlussbereich als Teilbereich der Komponente oder als an die Komponente angeschlossener Kontakt ausgebildet ist.

[0014] Eine vierte bevorzugte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, dass

der elektromechanische Wandler einen Messkondensator mit einer von der druckabhängigen Durchbiegung der Messmembran abhängigen Messkapazität umfasst,

der Messkondensator eine auf einer membran-zugewandten Stirnseite des Grundkörpers aufgebrauchte Messelektrode und eine auf einer dem Grundkörper zugewandten Innenseite der Messmembran angeordnete Gegenelektrode umfasst, und

die Messelektrode als Komponente des Drucksensors ausgebildet ist, die über den damit elektrisch leitend verbundenen, durch den Grundkörper hindurch verlaufenden Kontaktstift elektrisch anschließbar ist.

[0015] Eine fünfte bevorzugte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, dass

der elektromechanische Wandler einen Referenzkondensator umfasst,

der Referenzkondensator eine auf der membran-zugewandten Stirnseite des Grundkörpers angeordnete Referenzelektrode umfasst, und

die Referenzelektrode als Komponente des Drucksensors ausgebildet ist, die über den damit elektrisch leitend verbundenen, durch den Grundkörper hindurch verlaufenden Kontaktstift elektrisch anschließbar ist.

[0016] Eine bevorzugte Ausgestaltung der vierten oder fünften Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, dass die Messelektrode, die Gegenelektrode und/oder die Referenzelektrode jeweils aus einem Tantal, Tantalexid, Titan und/oder Titanoxid umfassenden Material bestehen.

[0017] Eine sechste Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, dass

der Drucksensor als Absolutdrucksensor, als Relativdrucksensor oder als Differenzdrucksensor ausgebildet ist,

die Messmembran aus Keramik oder aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) besteht,

Grundkörper und Messmembran mittels einer die Druckkammer außenseitlich allseitig umgebenden Fügung miteinander verbunden sind, und/oder

ein zwischen dem Kontaktstift, einem der Kontaktstifte oder jedem der Kontaktstifte und einer den jeweiligen Kontaktstift umgebenden Bohrung bestehender Ringspalt jeweils im Bereich des von der Messmembran abgewandten Endes der jeweiligen Bohrung mittels einer Fügung, einer Aktivhartlötung oder einer wechlöt-fähigen Aktivhartlötung abgedichtet ist.

[0018] Des Weiteren umfasst die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Drucksensors, das sich dadurch auszeichnet, dass der vorgefertigte Kontaktstift oder die vorgefertigten Kontaktstifte des Drucksensors jeweils in eine zur Aufnahme des jeweiligen Kontaktstifts im Grundkörper vorgesehene Bohrung eingesetzt und/oder in der jeweiligen Bohrung verpresst werden und an die zugehörige Komponente des Wandlers angeschlossen werden.

[0019] Eine erste Weiterbildung des Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass der Kontaktstift, mindestens einer der Kontaktstifte oder jeder Kontaktstift jeweils im Rahmen eines zu dessen Herstellung verwendeten Herstellungsverfahrens, vor dessen Einsetzen in den Grundkörper, vor dessen Verpressen in dem Grundkörper, nach dessen Einsetzen in den Grundkörper und/oder nach dessen Verpressen in dem Grundkörper einmalig oder mehrmalig einer spannungsreduzierenden Wärmebehandlung unterzogen wird oder spannungsarmgeglüht wird.

[0020] Eine zweite Weiterbildung des Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass der Kontaktstift, mindestens einer der Kontaktstifte oder jeder Kontaktstift jeweils hergestellt wird, indem

aus einem Rohling durch einen Ziehvorgang ein im Wesentlichen vollzylindrischer Stab mit einem dem Durchmesser des herzustellenden Kontaktstifts entsprechenden Durchmesser erzeugt wird, und

aus dem Stab der jeweilige Kontaktstift der gewünschten Länge geschnitten wird,

wobei der Ziehvorgang zwei oder mehr Teilvorgänge umfasst und der Stab vor und/oder nach mindestens einen der Teilvorgänge jeweils spannungsarmgeglüht wird.

[0021] Eine dritte Weiterbildung des Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass der jeweilige Titan umfassende Kontaktstift und/oder der Titan umfassende Stab beim Spannungsarmglühen über einen ersten Zeitraum hinweg auf eine Verfahrenstemperatur von größer gleich $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder eine Verfahrenstemperatur im Bereich von $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ erwärmt, über einen zweiten Zeitraum hinweg auf dieser Verfahrenstemperatur gehalten und anschließend über einen dritten Zeitraum hinweg wieder abgekühlt wird.

[0022] Die Erfindung und deren Vorteile werden nun anhand der Figuren der Zeichnung, in denen ein Ausführungsbeispiel dargestellt ist, näher erläutert. Gleiche Elemente sind in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Um Elemente sehr unterschiedlicher Abmessungen darstellen zu können, wurde eine nicht-maßstabsgetreue Darstellung gewählt.

Fig. 1 zeigt: einen Drucksensor, und

Fig. 2 zeigt: einen in **Fig. 1** eingekreisten, membran-zugewandten Bereich des in den Grundkörper eingesetzten Kontaktstifts.

[0023] **Fig. 1** zeigt ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Drucksensors. Dieser umfasst einen keramischen Grundkörper **1** und eine unter Einschluss einer Druckkammer **3** mit dem Grundkörper **1** verbundene, mit einem vom Drucksensor messtechnisch zu erfassenden Druck p beaufschlagbare Messmembran **5**.

[0024] Zusätzlich umfasst der Drucksensor einen elektromechanischen Wandler, der derart ausgebildet ist, dass er eine vom auf die Messmembran **5** einwirkenden Druck abhängige Durchbiegung der Messmembran **5** in eine elektrische Größe umwandelt. Diese elektrische Größe kann beispielsweise mittels einer an den Wandler anzuschließenden oder daran angeschlossenen Messelektronik **7** erfasst und in ein den zu messenden Druck wiedergebendes Signal umgewandelt werden, das dann zur Anzeige gebracht, als Messsignal ausgegeben und/oder zur weiteren Verarbeitung und/oder Auswertung zur Verfügung gestellt werden kann.

[0025] Der Drucksensor umfasst mindestens einen jeweils an eine Komponente des Drucksensors, insb. des Wandlers, angeschlossenen, durch den Grundkörper **1** hindurch verlaufenden, elektrisch leitfähigen Kontaktstift **9**, über den die daran angeschlossene Komponente elektrisch anschließbar ist.

[0026] Umfasst der Drucksensor zwei oder mehr jeweils über einen der Kontaktstifte **9** kontaktierbare Komponenten, so gelten die nachfolgenden Ausführungen hierzu für mindestens einen oder jeden der Kontaktstifte **9**.

[0027] Erfindungsgemäß besteht der Kontaktstift **9** aus einem Material, das einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, der sich von einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des keramischen Grundkörpers **1** um weniger als $1 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ unterscheidet, und das einen Elastizitätsmodul von kleiner gleich 150 kN/mm^2 aufweist.

[0028] Hierdurch werden die zuvor bereits genannten Vorteile erzielt.

[0029] Dabei ist es zur Erzielung dieser Vorteile bereits ausreichend, wenn das Material des Kontaktstifts **9** in einem Einsatztemperaturbereich einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, der sich von dem des keramischen Grundkörpers **1** um weniger als $1 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ unterscheidet, und im Einsatztemperaturbereich einen Elastizitätsmodul von kleiner gleich 150 kN/mm^2 aufweist. Der Einsatztemperaturbereich bezeichnet den Temperaturbereich, in dem der Drucksensor eingesetzt wird, und kann bei-

spielsweise Temperaturen von - 40°C bis + 150°C umfassen.

[0030] Sofern zur Herstellung des Drucksensors Verfahrensschritte eingesetzt werden, bei denen der Grundkörper **1** und der darin eingesetzte Kontaktstift **9** bzw. die darin eingesetzten Kontaktstifte **9** auf innerhalb eines Verfahrenstemperaturbereichs liegende Temperaturen erwärmt wird, werden vorzugsweise Kontaktstifte **9** eingesetzt, deren thermischer Ausdehnungskoeffizient sich innerhalb des gesamten Verfahrenstemperaturbereichs oder zumindest innerhalb eines möglichst großen Teilbereichs des Verfahrenstemperaturbereichs um weniger als $1 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des keramischen Grundkörpers **1** unterscheidet. Alternativ oder zusätzlich hierzu werden in dem Fall vorzugsweise Kontaktstifte **9** eingesetzt, die innerhalb des gesamten Verfahrenstemperaturbereichs oder zumindest innerhalb eines möglichst großen Teilbereichs des Verfahrenstemperaturbereichs einen Elastizitätsmodul von kleiner gleich 150 kN/mm^2 aufweisen. Durch beide Maßnahmen werden herstellungsbedingte Spannungen reduziert, was wiederum zu einer weiteren Verbesserung der erzielbaren Messgenauigkeit führt.

[0031] Besteht der Grundkörper **1** aus einem keramischen Werkstoff, wie z.B. Aluminiumoxid (Al_2O_3) mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $8 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ bis $9 \cdot 10^{-6}/\text{K}$, so kann der Kontaktstift **9** z.B. aus einem Titan umfassenden Werkstoff bestehen.

[0032] Insoweit kann der Kontaktstift **9** z.B. als Titanstift ausgebildet sein. In dem Fall besteht der Titanstift vorzugsweise aus Titan Grade **1**, Titan Grade **2**, Titan Grade **4** oder Titan Grade **5**. Diese Werkstoffe weisen nicht nur im Einsatztemperaturbereich, sondern darüber hinaus auch in einem sehr großen Verfahrenstemperaturbereich einen Elastizitätsmodul im Bereich von 105 kN/mm^2 bis 115 kN/mm^2 und einen sehr gut an die Keramik angepassten thermischen Ausdehnungskoeffizienten im Bereich von $8 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ bis $9 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ auf. Im Vergleich dazu weisen in dem eingangs genannten Stand der Technik verwendete Tantalstifte einen deutlich höheren Elastizitätsmodul von mehr als 180 kN/mm^2 und einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten im Bereich von $6 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ bis $7 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ auf.

[0033] Eine weitere Reduktion des temperaturabhängigen Messfehlers kann optional dadurch erzielt werden, dass der Kontaktstift **9** als ein spannungsarmgeglühter Kontaktstift **9** ausgebildet ist. Das Spannungsarmglühen bezeichnet eine Wärmebehandlung, durch die im Kontaktstift **9** enthaltene Spannungen, wie sie z.B. bei dessen Herstellung und/oder dessen Einbau in den Grundkörper **1** entstehen können, reduziert werden. Ein spannungsarmgeglühter Kontaktstift **9** bezeichnet somit einen

Kontaktstift **9**, der mindestens einmal einer solchen Wärmebehandlung unterzogen wurde. Dabei kann das Spannungsarmglühen einmalig oder mehrmals im Rahmen der Herstellung des Kontaktstifts **9**, vor dessen Einbau in den Grundkörper **1** und/oder nach dessen Einbau in den Grundkörper **1** erfolgen. Spannungsarmgeglühte und somit spannungsärmere Kontaktstifte **9** bieten gegenüber spannungsreicheren Kontaktstiften **9** den Vorteil, dass durch sie weniger Spannungen auf den Grundkörper **1** und/oder die mit dem Grundkörper **1** verbundene Messmembran **5** übertragen werden können, und dass sie besser in der Lage sind, thermomechanische Spannungen aufzunehmen. Beides trägt zu einer weiteren Reduktion des temperaturabhängigen Messfehlers bei.

[0034] Einzelne Bestandteile erfindungsgemäßer Drucksensoren können unterschiedliche einzeln oder in Kombination miteinander einsetzbare Ausgestaltungen aufweisen. Beispiele hierzu sind nachfolgend anhand der Figuren beschrieben.

[0035] Der hier als Beispiel dargestellte Drucksensor kann z.B. als Absolutdrucksensor ausgebildet sein, der einen auf eine Außenseite der Messmembran **5** einwirkenden Druck p messtechnisch erfasst. In dem Fall ist die unter der Messmembran **5** eingeschlossene Druckkammer **3** evakuiert. Alternativ kann der Drucksensor als Relativdrucksensor ausgebildet sein, der einen auf die Außenseite der Messmembran **5** einwirkenden Druck p bezogen auf einen der Druckkammer **3** über eine durch den Grundkörper **1** hindurch verlaufende, in **Fig. 1** als Alternative gestrichelt gezeichnete Druckzuleitung **11** zugeführten Referenzdruck p_{ref} erfasst. Die Erfindung ist jedoch analog auch in Verbindung mit keramischen Differenzdrucksensoren einsetzbar.

[0036] Unabhängig davon, ob der Drucksensor als Absolut-, Relativ- oder Differenzdrucksensor ausgebildet ist, weisen dessen Grundkörper **1** und dessen Messmembran **5** jeweils in Abhängigkeit von einem Druckmessbereich des Drucksensors vorgegebene Abmessungen auf. Insoweit kann der Grundkörper **1** je nach Druckmessbereich z.B. einen Durchmesser in der Größenordnung von größer gleich $1,5 \text{ cm}$, insb. von $1,5 \text{ cm}$ bis $3,5 \text{ cm}$, und eine Dicke in der Größenordnung von größer gleich mehreren Millimetern, insb. von $0,4 \text{ cm}$ bis $0,5 \text{ cm}$, aufweisen. Dabei weist die Messmembran **5** je nach Druckmessbereich z.B. eine Membranstärke von größer gleich einem oder mehreren Zehntelmillimetern auf. Zur Messung sehr hoher Drücke können bei entsprechender Vergrößerung der Dicke des Grundkörpers **1** auch Membranstärken von bis zu mehreren Millimetern eingesetzt werden. Im Vergleich dazu können der darin eingesetzte Kontaktstift **9** oder die darin eingesetzten Kontaktstifte **9** jeweils beispielsweise einen Durchmesser im Bereich von $0,5 \text{ mm}$ bis $0,8 \text{ mm}$ aufweisen.

[0037] Unabhängig von der diesbezüglichen Ausgestaltung des Drucksensors können Grundkörper **1** und Messmembran **5** beispielsweise mittels einer einen äußeren Rand der Messmembran **5** mit einem äußeren Rand des Grundkörpers **1** verbindenden, die Druckkammer **3** außenseitlich allseitig umgebenden Fügung **13** miteinander verbunden sein. Als Fügung **13** eignet sich z.B. eine Aktivhartlötung, wie z.B. eine mittels eines Zirkonium, Nickel und Titan umfassenden Aktivhartlots erzeugte Aktivhartlötung.

[0038] Optional kann nicht nur der Grundkörper **1**, sondern zusätzlich auch die Messmembran **5** aus Keramik, z.B. aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) bestehen.

[0039] Der elektromechanische Wandler kann beispielsweise als kapazitiver Wandler ausgebildet sein, der einen Messkondensator mit einer von der druckabhängigen Durchbiegung der Messmembran **5** abhängigen Messkapazität C_p umfasst. Der hier als Beispiel dargestellte Messkondensator umfasst eine auf einer membran-zugewandten Stirnseite des Grundkörpers **1** aufgebrachte Messelektrode **15** und eine auf einer dem Grundkörper **1** zugewandten Innenseite der Messmembran **5** angeordnete Gegenelektrode **17**. Bei dem hier dargestellten Beispiel bildet die Messelektrode **15** eine der Komponenten des Wandlers, die über den daran angeschlossenen Kontaktstift **9** elektrisch anschließbar.

[0040] Optional kann der Wandler mindestens einen weiteren Kondensator umfassen. Ein Beispiel hierfür ist ein in **Fig. 1** als Option ebenfalls dargestellter Referenzkondensator. Dieser umfasst in dem dargestellten Beispiel eine auf der membran-zugewandten Stirnseite des Grundkörpers **5** aufgebrachte, in **Fig. 1** als Option gestrichelt dargestellte Referenzelektrode **19**, die zusammen mit der Gegenelektrode **17** den Referenzkondensator bildet. Bei dem hier dargestellten Beispiel bildet auch die Referenzelektrode **19** eine der Komponenten des Wandlers, die über den daran angeschlossenen Kontaktstift **9** elektrisch anschließbar ist oder an die Messelektronik **7** angeschlossen ist.

[0041] Der elektrische Anschluss der Gegenelektrode **17** erfolgt vorzugsweise über die daran angrenzende, in dem Fall elektrisch leitfähige Fügung **13**, die unmittelbar von außen kontaktiert werden kann. Alternativ kann der elektrische Anschluss der Gegenelektrode **17** aber auch über einen hier nicht dargestellten, durch den Grundkörper **1** hindurch bis zur Fügung **13** oder bis zu einem an die Fügung **13** angeschlossenen Anschlussbereich verlaufenden weiteren Kontaktstift kontaktiert werden.

[0042] Der Referenzkondensator ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass dessen Referenzkapazität C_R keine oder nur eine geringe Abhängigkeit von der druckabhängigen Durchbiegung der Messmembran

5 aufweist. Das wird in dem dargestellten Beispiel dadurch erzielt, dass die Referenzelektrode **19** als ringscheibenförmige oder ringsegmentscheibenförmige Elektrode ausgebildet ist, die die hier kreisscheibenförmige Messelektrode **15** außenseitlich umgibt.

[0043] Die Messelektrode **15** und die Gegenelektrode **17**, sowie auch die ggfs. vorgesehene Referenzelektrode **19**, bestehen jeweils aus einem elektrisch leitfähigen Elektrodenmaterial. Hierzu eignen beispielsweise Tantal, Tantaloxid, Titan und/oder Titanoxid umfassenden Materialien

[0044] In Verbindung mit einem kapazitiven Wandler umfassenden Drucksensoren wird der zu messende Druck mittels der an den Wandler anzuschließenden bzw. angeschlossenen Messelektronik **7** vorzugsweise anhand einer von der Messkapazität C_p abhängigen Hilfsgröße C_v ermittelt. Das kann z.B. eine ausschließlich von der Messkapazität C_p oder alternativ eine von der Messkapazität C_p und der Referenzkapazität C_R abhängige Hilfsgröße C_v sein. Als Hilfsgröße C_v eignet sich z.B. eine von einer auf die Messkapazität C_p bezogenen Differenz von Messkapazität C_p und Referenzkapazität C_R abhängige Hilfsgröße C_v , wie z.B. $C_v = (C_p - C_R) / C_p$.

[0045] Die Erfindung ist jedoch nicht auf Drucksensoren mit kapazitiven Wandlern beschränkt, sondern kann analog auch in Verbindung mit Drucksensoren eingesetzt werden, die mit einem auf einem anderen Wandlerprinzip basierenden elektromechanischen Wandler ausgestattet sind, und mindestens eine Komponente umfassen, die über einen daran angeschlossenen, durch den Grundkörper hindurch verlaufenden Kontaktstift kontaktierbar ist.

[0046] Erfindungsgemäße Drucksensoren werden hergestellt, indem deren Messmembran **5**, deren Grundkörper **1** und der bzw. die jeweils in eine hierfür im Grundkörper **1** vorgesehene Bohrung einzusetzenden Kontaktstifte **9** vorgefertigt werden. Anschließend wird jeder Kontaktstift **9** jeweils in die dafür vorgesehene Bohrung eingesetzt und an die zugehörige Komponente des Wandlers angeschlossen.

[0047] Hierzu können aus dem Stand der Technik bekannte Verfahren, wie z.B. die in der DE 10 2008 043 567 A1 beschriebenen Verfahren, eingesetzt werden, bei denen der jeweilige Kontaktstift **9** in der zugehörigen Bohrung verpresst wird.

[0048] Beim Verpressen wird der jeweilige Kontaktstift **9** in die zugehörige Bohrung eingesetzt und gegen ein beispielsweise auf der membran-abgewandten Seite des Grundkörpers **1** angeordnetes Widerlager gepresst. Dabei wird vorzugsweise zugleich auch der elektrische Anschluss des jeweiligen Kontaktstifts **9** an die zugehörige Komponente bewirkt. Hierzu weist das der Messmembran **5** zugewandten

Ende der jeweiligen Bohrung jeweils eine Mantelfläche auf, über die sich ein Anschlussbereich **21** der jeweiligen Komponente erstreckt. Diese Mantelflächen sind jeweils derart ausgerichtet, dass das dem Widerlager gegenüberliegende Ende des Kontaktstifts **9** beim Verpressen gegen den auf der Mantelfläche angeordneten Anschlussbereich **21** der jeweiligen Komponente gepresst wird. Hierdurch wird jeweils eine Kaltverschweißung erzeugt, die einen zuverlässigen elektrischen Kontakt zwischen dem jeweiligen Kontaktstift **9** und dem Anschlussbereich **21** bewirkt. Dabei ist durch die Kaltverschweißung auch dann noch ein zuverlässiger elektrischer Kontakt erzielbar, wenn der Kontaktstift **9** und der Anschlussbereich **21** aus voneinander verschiedenen, elektrisch leitfähigen Werkstoffen bestehen. Dabei kann der jeweilige Anschlussbereich **21** z.B. als Teilbereich der jeweiligen Komponente oder als an die jeweilige Komponente angeschlossener Kontakt ausgebildet sein.

[0049] Fig. 2 zeigt hierzu eine vergrößerte Darstellung einer Ausgestaltung des in Fig. 1 eingekreisten, in Fig. 1 nur schematisch dargestellten membran-zugewandten Bereichs des Grundkörpers **1** mit dem darin eingepressten Kontaktstift **9**. Dort ist der Anschlussbereich **21**, über den die Messelektrode **15** an den Kontaktstift **9** angeschlossen ist, durch einen auf der z.B. trichterförmigen Mantelfläche des der Messmembran **5** zugewandten Endes der zugehörigen Bohrung angeordneten Teilbereich der Messelektrode **15** gebildet. Analog kann natürlich auch die ggfs. vorgesehene Referenzelektrode **19** einen an den zugehörigen Kontaktstift **9** angeschlossen Anschlussbereich **21** umfassen, der durch einen auf der Mantelfläche des der Messmembran **5** zugewandten Endes der zugehörigen Bohrung angeordneten Teilbereich der Referenzelektrode **19** gebildet ist.

[0050] Alternativ oder zusätzlich zum Verpressen des Kontaktstifts **9** bzw. der Kontaktstifte **9** im Grundkörper **1** kann ein zwischen dem jeweiligen Kontaktstift **9** und der Bohrung ggfs. bestehender Ringspalt optional mittels einer, in Fig. 1 als Option dargestellten Fügung **23**, z.B. einer Aktivhartlötung, abgedichtet werden. Hierzu kann z.B. im Bereich des von der Messmembran **5** abgewandten Endes der jeweiligen Bohrung z.B. eine Aktivhartlötung, wie z.B. eine mittels eines Kupfer, Silber und Titan umfassenden Aktivhartlötung erzeugt Aktivhartlötung, eingesetzt werden, die mittels einer auf der Aktivhartlötung aufbringbaren bzw. aufgebrachten Weichlötung **25** kontaktierbar ist. Alternativ kann mittels einer den Ringspalt abdichtenden Aktivhartlötung ein weichlötfähiger, metallischer Körper angelötet werden, über den die Komponente mittels einer auf den Körper aufzubringenden oder aufgebrachten Weichlötung kontaktiert werden kann.

[0051] Abschließend werden die Drucksensoren fertiggestellt, indem Messmembran **5** und Grundkörper

1 durch ein Fügeverfahren, wie z.B. ein Aktivhartlötverfahren miteinander verbunden. Das Aktivhartlöten kann je nach Wahl des Aktivhartlötens beispielsweise bei einer zum Aktivhartlöten geeigneten Verfahrenstemperatur von bis zu 800°C oder sogar bis zu 900 °C ausgeführt werden.

[0052] Optional kann das Herstellungsverfahren mindestens einen weiteren Verfahrensschritt umfassen, bei dem der Kontaktstift **9**, mindestens einer der Kontaktstifte **9** oder jeder Kontaktstift **9** des Drucksensors jeweils einmalig oder mehrmalig einer spannungsreduzierenden Wärmebehandlung unterzogen wird.

[0053] Hierzu eignet sich insb. das Spannungsarmglühen. Dabei wird der jeweilige Kontaktstift **9** über einen ersten Zeitraum hinweg auf eine Verfahrenstemperatur erwärmt, über einen zweiten Zeitraum hinweg auf dieser Verfahrenstemperatur gehalten und anschließend über einen dritten Zeitraum hinweg wieder abgekühlt. In Verbindung mit Titan umfassenden Kontaktstiften **9** eignet sich zum Spannungsarmglühen z.B. eine Verfahrenstemperatur von größer gleich 500 °C, z.B. eine Verfahrenstemperatur im Bereich von 500 bis 600 °C.

[0054] Das Spannungsarmglühen kann z.B. einmalig oder mehrmalig vor dem Einsetzen des jeweiligen Kontaktstifts **9** in den Grundkörper **1** und/oder vor dem Verpressen des jeweiligen Kontaktstifts **9** in dem Grundkörper **1** ausgeführt werden. Alternativ oder zusätzlich hierzu kann das Spannungsarmglühen einmalig oder mehrmalig nach dem Einsetzen und/oder nach dem Verpressen des jeweiligen Kontaktstifts **9** ausgeführt werden.

[0055] Alternativ oder zusätzlich hierzu kann das Spannungsarmglühen einmalig oder mehrmalig im Rahmen eines zur Herstellung des jeweiligen Kontaktstifts **9** verwendeten Herstellungsverfahrens ausgeführt werden.

[0056] Die Herstellung der Kontaktstifte **9** erfolgt vorzugsweise, indem aus einem Rohling durch einen Ziehvorgang ein im Wesentlichen vollzylindrischer Stab hergestellt wird, der einen dem Durchmesser der herzustellenden Kontaktstifte **9** entsprechenden Durchmesser aufweist. Aus diesem Stab werden dann Kontaktstifte **9** der gewünschten Länge geschnitten.

[0057] Auf diese Weise hergestellte Kontaktstift **9** können nachfolgend spannungsarmgeglüht werden. Alternativ oder zusätzlich hierzu kann der Ziehvorgang in zwei oder mehr Teilvorgänge unterteilt werden, und der Stab vor und/oder nach mindestens einem der Teilvorgänge jeweils auf die zuvor genannte Weise spannungsarmgeglüht werden.

Bezugszeichenliste

- 1** Grundkörper
- 3** Druckkammer
- 5** Messmembran
- 7** Messelektronik
- 9** Kontaktstift
- 11** Druckzuleitung
- 13** Fügung
- 15** Messelektrode
- 17** Gegenelektrode
- 19** Referenzelektrode
- 21** Anschlussbereich
- 23** Fügung
- 25** Weichlötung

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102008043567 A1 [0003, 0047]

Patentansprüche

1. Drucksensor, mit einem keramischen Grundkörper (1), einer unter Einschluss einer Druckkammer (3) mit dem Grundkörper (1) verbundenen, mit einem vom Drucksensor messtechnisch zu erfassenden Druck (p) beaufschlagbaren Messmembran (5), einem elektromechanischen Wandler, der derart ausgebildet ist, dass er eine vom auf die Messmembran (5) einwirkenden Druck abhängige Durchbiegung der Messmembran (5) in eine elektrische Größe umwandelt, und mindestens einem jeweils an eine Komponente des Drucksensors angeschlossenen, durch den Grundkörper (1) hindurch verlaufenden, elektrisch leitfähigen Kontaktstift (9), über den die daran angeschlossene Komponente elektrisch anschließbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kontaktstift (9), mindestens einer der Kontaktstifte (9) oder jeder Kontaktstift (9) jeweils aus einem Material besteht, das einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, der sich von einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des keramischen Grundkörpers (1) um weniger als $1 \cdot 10^{-6}/K$ unterscheidet, und das einen Elastizitätsmodul von kleiner gleich 150 kN/mm^2 aufweist.
2. Drucksensor gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Grundkörper (1) aus einem keramischen Werkstoff mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $8 \cdot 10^{-6}/K$ bis $9 \cdot 10^{-6}/K$ oder aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) besteht, und der Kontaktstift (9), mindestens einer der Kontaktstifte (9) oder jeder Kontaktstift (9) jeweils aus Titan oder aus einem Titan umfassenden Werkstoff besteht.
3. Drucksensor gemäß Anspruch 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kontaktstift (9), mindestens einer der Kontaktstifte (9) oder jeder Kontaktstift (9) jeweils als ein spannungsarmgeglühter Kontaktstift (9) ausgebildet ist.
4. Drucksensor gemäß Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Grundkörper (1) einen Durchmesser in der Größenordnung von größer gleich $1,5 \text{ cm}$ oder von $1,5 \text{ cm}$ bis $3,5 \text{ cm}$ aufweist, der Grundkörper (1) eine Dicke in der Größenordnung von größer gleich mehreren Millimetern, insb. in von $0,4 \text{ cm}$ bis $0,5 \text{ cm}$, aufweist, und/oder der Kontaktstift (9), mindestens einer der Kontaktstifte (9) oder jeder Kontaktstift (9) jeweils einen Durchmesser $0,5 \text{ mm}$ bis $0,8 \text{ mm}$ aufweist.
5. Drucksensor gemäß Anspruch 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kontaktstift (9), mindestens einer der Kontaktstifte (9) oder jeder Kontaktstift (9) jeweils als ein in eine durch den Grundkörper

(1) hindurch verlaufende Bohrung eingesetzter, in der Bohrung verpresster Kontaktstift (9) ausgebildet ist.

6. Drucksensor gemäß Anspruch 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kontaktstift (9), mindestens einer der Kontaktstifte (9) oder jeder Kontaktstift (9) jeweils als ein in eine Bohrung im Grundkörper (1) eingesetzter, mittels einer Kaltschweißung mit einem auf einer Mantelfläche des Grundkörpers (1) angeordneten Anschlussbereich (21) der an den jeweiligen Kontaktstift (9) angeschlossenen Komponente verbunden ist, wobei der Anschlussbereich (21) als Teilbereich der Komponente oder als an die Komponente angeschlossener Kontakt ausgebildet ist.

7. Drucksensor gemäß Anspruch 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der elektromechanische Wandler einen Messkondensator mit einer von der druckabhängigen Durchbiegung der Messmembran (5) abhängigen Messkapazität umfasst, der Messkondensator eine auf einer membran-zugewandten Stirnseite des Grundkörpers (1) aufgebrachte Messelektrode (15) und eine auf einer dem Grundkörper (1) zugewandten Innenseite der Messmembran (5) angeordnete Gegenelektrode (17) umfasst, und die Messelektrode (15) als Komponente des Drucksensors ausgebildet ist, die über den damit elektrisch leitend verbundenen, durch den Grundkörper (1) hindurch verlaufenden Kontaktstift (9) elektrisch anschließbar ist.

8. Drucksensor gemäß Anspruch 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der elektromechanische Wandler einen Referenzkondensator umfasst, der Referenzkondensator eine auf der membran-zugewandten Stirnseite des Grundkörpers (1) angeordnete Referenzelektrode (19) umfasst, und die Referenzelektrode (19) als Komponente des Drucksensors ausgebildet ist, die über den damit elektrisch leitend verbundenen, durch den Grundkörper (1) hindurch verlaufenden Kontaktstift (9) elektrisch anschließbar ist.

9. Drucksensor gemäß Anspruch 7 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messelektrode (15), die Gegenelektrode (17) und/oder die Referenzelektrode (19) jeweils aus einem Tantal, Tantaloxid, Titan und/oder Titanoxid umfassenden Material bestehen.

10. Drucksensor gemäß Anspruch 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Drucksensor als Absolutdrucksensor, als Relativedrucksensor oder als Differenzdrucksensor ausgebildet ist, die Messmembran (5) aus Keramik oder aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) besteht,

Grundkörper (1) und Messmembran (5) mittels einer die Druckkammer (3) außenseitlich allseitig umgebenden Fügung (13) miteinander verbunden sind, und/oder

ein zwischen dem Kontaktstift (9), einem der Kontaktstifte (9) oder jedem der Kontaktstifte (9) und einer den jeweiligen Kontaktstift (9) umgebenden Bohrung bestehender Ringspalt jeweils im Bereich des von der Messmembran (5) abgewandten Endes der jeweiligen Bohrung mittels einer Fügung (23), einer Aktivhartlötung oder einer weichlötfähigen Aktivhartlötung abgedichtet ist.

peratur gehalten und anschließend über einen dritten Zeitraum hinweg wieder abgekühlt wird.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

11. Verfahren zur Herstellung eines Drucksensors gemäß Anspruch 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der vorgefertigte Kontaktstift (9) oder die vorgefertigten Kontaktstifte (9) des Drucksensors jeweils in eine zur Aufnahme des jeweiligen Kontaktstifts (9) im Grundkörper (1) vorgesehene Bohrung eingesetzt und/oder in der jeweiligen Bohrung verpresst werden und an die zugehörige Komponente des Wandlers angeschlossen werden.

12. Verfahren gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kontaktstift (9), mindestens einer der Kontaktstifte (9) oder jeder Kontaktstift (9) jeweils im Rahmen eines zu dessen Herstellung verwendeten Herstellungsverfahrens, vor dessen Einsetzen in den Grundkörper (1), vor dessen Verpressen in dem Grundkörper (1), nach dessen Einsetzen in den Grundkörper (1) und/oder nach dessen Verpressen in dem Grundkörper (1) einmalig oder mehrmalig einer spannungsreduzierenden Wärmebehandlung unterzogen wird oder spannungsarmgeglüht wird.

13. Verfahren gemäß Anspruch 11 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kontaktstift (9), mindestens einer der Kontaktstifte (9) oder jeder Kontaktstift (9) jeweils hergestellt wird, indem aus einem Rohling durch einen Ziehvorgang ein im Wesentlichen vollzylindrischer Stab mit einem dem Durchmesser des herzustellenden Kontaktstifts (9) entsprechenden Durchmesser erzeugt wird, und aus dem Stab der jeweilige Kontaktstift (9) der gewünschten Länge geschnitten wird, wobei der Ziehvorgang zwei oder mehr Teilvorgänge umfasst und der Stab vor und/oder nach mindestens einen der Teilvorgänge jeweils spannungsarmgeglüht wird.

14. Verfahren gemäß Anspruch 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der jeweilige Titan umfassende Kontaktstift (9) und/oder der Titan umfassende Stab beim Spannungsarmglühen über einen ersten Zeitraum hinweg auf eine Verfahrenstemperatur von größer gleich 500 °C oder eine Verfahrenstemperatur im Bereich von 500°C bis 600°C erwärmt, über einen zweiten Zeitraum hinweg auf dieser Verfahrenstem-

Anhängende Zeichnungen

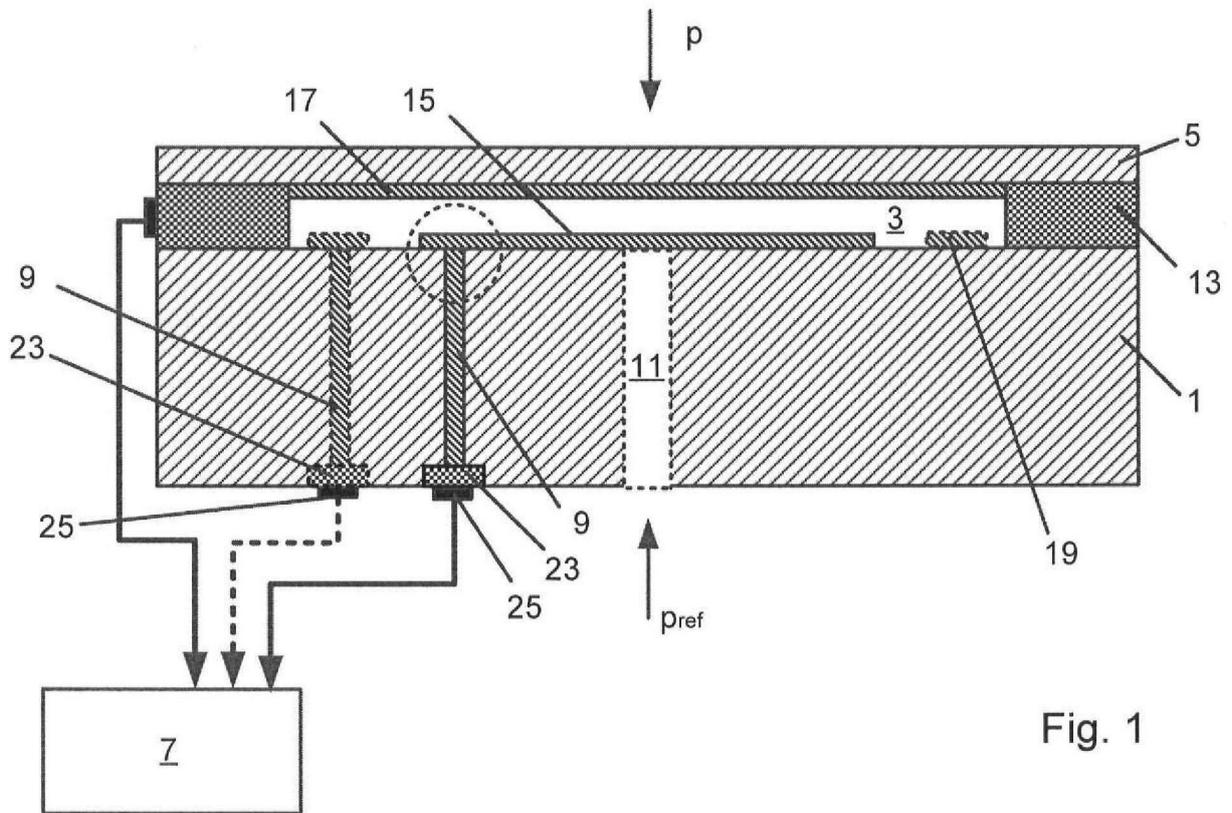


Fig. 1

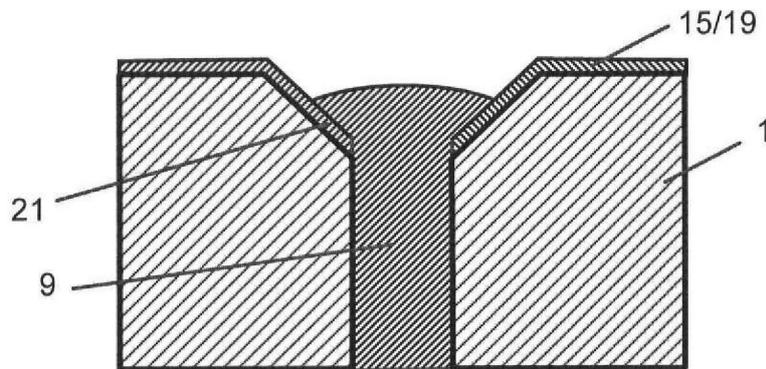


Fig. 2