

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
29. Oktober 2015 (29.10.2015)

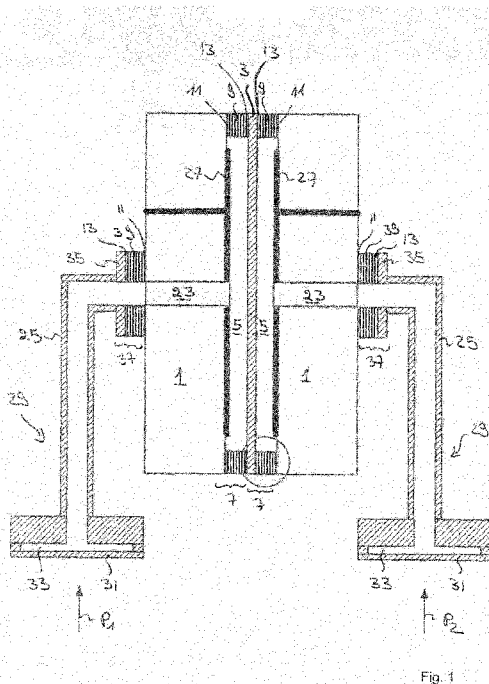


(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/161904 A1

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
C04B 37/02 (2006.01) G01L 9/00 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2014/078599
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
18. Dezember 2014 (18.12.2014)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2014 105 698.1
23. April 2014 (23.04.2014) DE
- (71) **Anmelder: ENDRESS+HAUSER GMBH+CO. KG** [DE/DE]; Hauptstr. 1, 79689 Maulburg (DE).
- (72) **Erfinder: DREWES, Ulfert;** Winzerstraße 12g, 79379 Müllheim (DE). **SCHMIDT, Elke;** Albert-Gersbach-Allee 5, 79713 Bad Säckingen (DE). **UEHLIN, Thomas;** Weiermattstr. 33, 79650 Schopfheim (DE). **BERLINGER, Andrea;** Hauenebersteinerstr. 5, 76532 Baden-Baden (DE).
- (74) **Anwalt: ANDRES, Angelika;** Colmarer Str. 6, 79576 Weil am Rhein (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:**
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) **Title:** PRESSURE SENSOR WITH A CERAMIC BASE BODY

(54) **Bezeichnung :** DRUCKSENSOR MIT EINEM KERAMISCHEN GRUNDKÖRPER



(57) **Abstract:** Disclosed is a pressure sensor, with a base body (1) of ceramic, a measuring membrane (3, 41) arranged on the base body (1), a pressure measurement chamber (5) enclosed in the base body (1) under the measuring membrane (3, 41), and at least one metal body connected to the base body (1) using a pressure-tight, preferably elastomer-free, mechanical connection (7, 37, 49), wherein thermomechanical stresses caused by the connection (7, 37, 49) are reduced by the fact that the pressure-tight mechanical connection (7, 37, 49) is achieved using an adjustment body (9, 19, 39, 51) arranged between the base body (1) and the metal body, wherein the adjustment body has a thermal expansion coefficient ($a(z)$) that increases, in a direction (z) from the base body (1) to the metal body, from an expansion coefficient corresponding to a thermal expansion coefficient (a_k) of the ceramic of the base body (1) to an expansion coefficient corresponding to the thermal expansion coefficient (a_M) of the metal body, and the adjustment body (9, 19, 39, 51) is connected to the base body (1) by a first joint (11) and to the metal body by a second joint (13).

(57) **Zusammenfassung:** Es ist ein Drucksensor, mit einem Grundkörper (1) aus Keramik, einer auf dem Grundkörper (1) angeordneten Messmembran (3, 41), einer im Grundkörper (1) unter der Messmembran (3, 41) eingeschlossenen Druckmesskammer (5), und mindestens einem mit dem Grundkörper (1) über eine druckdichte, vorzugsweise elastomerfreie, mechanische Verbindung (7, 37, 49) verbundenen Metallkörper,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/161904 A1



beschrieben, bei dem durch die Verbindung (7, 37, 49) bedingte thermomechanische Spannungen dadurch reduziert sind, dass die druckdichte mechanische Verbindung (7, 37, 49) über einen zwischen dem Grundkörper (1) und dem Metallkörper angeordneten Anpassungskörper (9, 19, 39, 51) erfolgt, der einen thermischen Ausdehnungskoeffizient ($a(z)$) aufweist, der in vom Grundkörper (1) zum Metallkörper verlaufender Richtung (z) von einem einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten (α_k) der Keramik des Grundkörpers (1) entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten auf einen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten (α_M) des Metallkörpers entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten ansteigt, und der Anpassungskörper (9, 19, 39, 51) durch eine erste Fügung (11) mit dem Grundkörper (1) und durch eine zweite Fügung (13) mit dem Metallkörper verbunden ist.

Drucksensor mit einem keramischen Grundkörper

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Drucksensor mit einem Grundkörper aus Keramik, einer auf dem Grundkörper angeordneten Messmembran, einer im Grundkörper unter der Messmembran eingeschlossenen Druckmesskammer, und
5 mindestens einem mit dem Grundkörper über eine druckdichte mechanische Verbindung verbundenen Metallkörper.

Drucksensoren mit keramischen Grundkörpern werden zur Messung von Drücken eingesetzt. Zu diesen Drucksensoren zählen Absolutdrucksensoren, die den absoluten, auf die Messmembran einwirkenden Druck gegen Vakuum messen, Relativdrucksensoren, die den auf die Messmembran einwirkenden Druck bezogen auf einen der Druckmesskammer zugeführten Referenzdruck, wie z.B. dem aktuellen Atmosphärendruck, messen, sowie Differenzdrucksensoren, die eine Druckdifferenz
10 zwischen einem auf eine erste Seite der Messmembran einwirkenden ersten Druck und einem auf eine zweite Seite der Messmembran einwirkenden zweiten Druck erfassen.

Drucksensoren finden weit gefächerte Anwendung in nahezu allen Bereichen der industriellen Messtechnik. Keramische Grundkörper bieten den Vorteil, dass sie nicht nur thermisch, chemisch und mechanisch sehr beständig sind, sondern darüber hinaus auch eine sehr hohe Druckfestigkeit aufweisen. Drucksensoren mit keramischen Grundkörpern müssen am Einsatzort montiert und über entsprechende Prozessanschlüsse oder Druckzuleitungen je nach Sensortyp mit dem zu
20 messenden Druck, dem zu messenden Druck und dem Referenzdruck, bzw. mit den beiden Drücken, deren Differenz gemessen werden soll, beaufschlagt werden.

Hierzu werden Drucksensoren z.B. in mit Prozessanschlüssen ausgestatteten Gehäuse eingesetzt, oder auf andere Weise mit Prozessanschlüssen und/oder Druckzuleitungen verbunden. Gehäuse, Prozessanschlüsse und Druckzuleitungen sind regelmäßig Metallkörper, z.B. aus Edelstahl.
30

Der keramische Grundkörper ist somit regelmäßig mit mindestens einem Metallkörper über eine druckdichte Verbindung mechanisch zu verbinden. Dabei besteht das Problem, dass Keramik einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, der sich deutlich von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten der üblicherweise eingesetzten Metallkörper unterscheidet. Keramische Werkstoffe weisen einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf, der typischer Weise in der Größenordnung von 5
35 ppm/K bis 8 ppm/K liegt. Demgegenüber weisen Edelstähle einen deutlich höheren thermischen Ausdehnungskoeffizienten in der Größenordnung von 16 ppm/K auf.
40

Während druckdichte mechanische Verbindungen von zumindest ähnlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweisenden Elementen durch Fügungen, wie z.B. Schweißungen, Lötungen oder Klebungen, realisiert werden können, treten bei Fügungen zwischen Elementen mit unterschiedlichen thermischen

5 Ausdehnungskoeffizienten thermomechanische Spannungen auf, die die Fügung belasten und im schlimmsten Fall sogar zu einer Zerstörung der Fügung führen können. Thermomechanische Spannungen sind umso größer, je größer der Temperaturbereich ist, in dem die Elemente eingesetzt werden. Dementsprechend können Metall-Keramik-Fügungen aufweisende Drucksensoren allenfalls in einem
10 sehr begrenzten Temperaturbereich eingesetzt werden.

Darüber hinaus würden durch Metall-Keramik-Fügungen bedingte thermomechanische Spannungen im Bereich oder in der Nähe der Messmembran Verspannungen der Messmembran verursachen, die wiederum die Messgenauigkeit
15 des Drucksensors beeinträchtigen können. Demgegenüber führen unter Zwischenfügung elastischer Elemente, wie zum Beispiel Elastomerdichtungen, ausgeführte mechanische Einspannungen zu deutlich geringeren thermomechanischen Spannungen. Diese Form der druckdichten mechanischen Verbindung ist jedoch in der Regel nur zur Einspannung von keramischen
20 Druckmesszellen in ein Gehäuse einsetzbar, wohingegen sie für den Anschluss von Druckzuleitungen an durch den keramischen Grundkörper hindurch zur Druckmesskammer verlaufende Bohrungen in der Regel ungeeignet sind. Darüber hinaus altern Elastomere und müssen am Ende ihrer Lebensdauer ausgetauscht werden.

25 Es ist eine Aufgabe der Erfindung, einen Drucksensor mit einem Grundkörper aus Keramik und mindestens einem mit dem Grundkörper über eine druckdichte, vorzugsweise elastomerfreie, mechanische Verbindung verbundenen Metallkörper, anzugeben, bei dem durch die Verbindung bedingte thermomechanische
30 Spannungen möglichst gering sind.

Hierzu umfasst die Erfindung einen Drucksensor, mit

- einem Grundkörper aus Keramik,
- einer auf dem Grundkörper angeordneten Messmembran,
- 35 - einer im Grundkörper unter der Messmembran eingeschlossenen Druckmesskammer, und
- mindestens einem mit dem Grundkörper über eine druckdichte mechanische Verbindung verbundenen Metallkörper,
- und zeichnet sich dadurch aus, dass
- 40 - die druckdichte mechanische Verbindung einen zwischen dem Grundkörper und dem Metallkörper angeordneten Anpassungskörper umfasst,

- der Anpassungskörper einen thermischen Ausdehnungskoeffizient aufweist, der entlang des Anpassungskörpers in vom Grundkörper zum Metallkörper verlaufender Richtung von einem einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Keramik des Grundkörpers entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten auf einen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Metallkörpers entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten ansteigt, und
 - der Anpassungskörper durch eine erste Fügung mit dem Grundkörper und durch eine zweite Fügung mit dem Metallkörper verbunden ist.
- 10 Eine Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass
- der Anpassungskörper aufeinander angeordnete Schichten unterschiedlicher Zusammensetzung, insb. durch Lasersintern von metallische und/oder keramische Anteile enthaltenden Pulverschichten aufeinander aufgebrachte Schichten, aufweist, und
- 15 - die Schichten einen Keramikanteil aufweisen, der größer gleich 0 % und kleiner gleich 100 % ist, und einen Metallanteil aufweisen, der größer gleich 0 % und kleiner gleich 100 % ist, wobei
- der Keramikanteil in vom Grundkörper zum Metallkörper hin verlaufender Richtung von Schicht zu Schicht abnimmt, und
- 20 - der Metallanteil in vom Grundkörper zum Metallkörper hin verlaufender Richtung von Schicht zu Schicht ansteigt.
- Eine weitere Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass
- der Anpassungskörper ein aus Schichten aufgebauter Sinterkörper ist, und die
- 25 erste Fügung eine durch Aufsintern, insb. durch Lasersintern, einer dem Grundkörper zugewandten äußersten Schicht des Anpassungskörpers auf dem Grundkörper gebildete Fügung ist, oder
- die erste Fügung eine Aktivhartlötung, insb. eine mittels eines ternären eine Zr-Ni-Legierung und Titan aufweisenden Aktivhartlots ausgeführte Aktivhartlötung ist,
- 30 oder
- die erste Fügung eine Glaslötung ist.
- Gemäß einer weiteren Weiterbildung ist die zweite Fügung eine Schweißung oder eine Glaslötung.
- 35 Eine erste Variante der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass
- die Messmembran aus Metall besteht und einer der Metallkörper ist, und
 - ein äußerer Rand einer der Messmembran zugewandten Stirnseite des Grundkörpers über die erste Fügung, den Anpassungskörper und die zweite Fügung mit einem äußeren Rand der dem Grundkörper zugewandten Seite der
- 40 Messmembran verbunden ist.

Gemäß einer Ausgestaltung der ersten Variante

- ist der Anpassungskörper ein zu einem Ring geschlossener Anpassungskörper mit rechteckigem Querschnitt, oder
 - weist eine der Messmembran zugewandte Stirnseite des Grundkörpers einen als
- 5 Membranbett ausgebildeten Bereich auf, und der Anpassungskörper weist eine die Druckmesskammer außenseitlich umgebende Innenkontur auf, durch die das Membranbett nach außen fortgesetzt ist.

Eine zweite Variante der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass

- 10 - im Grundkörper eine durchgehende, in der Druckmesskammer mündende Bohrung vorgesehen ist,
 - eine an die Bohrung angeschlossenen Druckzufuhrleitung vorgesehen ist,
 - die Druckzufuhrleitung an deren dem Grundkörper zugewandten Ende einen metallischen, eine Durchtrittsöffnung aufweisenden Abschluss aufweist, der einen
- 15 der Metallkörper bildet,
- der Grundkörper über die erste Fügung, den Anpassungskörper und die zweite Fügung mit dem Abschluss verbunden ist, und
 - der Anpassungskörper einen Innenraum aufweist, durch den ein Innenraum der Bohrung über die Durchtrittsöffnung im Abschluss mit einem Innenraum der
- 20 Druckzufuhrleitung verbunden ist.

Eine dritte Variante der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass

- der Grundkörper in einem Gehäuse angeordnet ist,
 - das Gehäuse ein den Grundkörper außenseitlich umschließendes, vom
- 25 Grundkörper beabstandetes Gehäusesegment, und eine damit verbundene, sich radial nach innen erstreckende, einen der Metallkörper bildende Schulter aus Metall, insb. aus Edelstahl, insb. aus nickelhaltigem austenitischem Edelstahl, umfasst, und
- ein innerer Rand der Schulter über die druckdichte Verbindung mit einem äußeren
- 30 der Schulter zugewandten Rand des Grundkörpers verbunden ist, wobei
- eine dem Grundkörper zugewandte Stirnseite des Anpassungskörpers über die erste Fügung mit einem äußeren Rand der der Schulter zugewandten Stirnseite des Grundkörpers verbunden ist, und
 - eine der Schulter zugewandte Stirnseite des Anpassungskörpers über die zweite
- 35 Fügung mit einer in das Gehäuse hinein weisenden Seite eines inneren Randes der Schulter verbunden ist.

Eine Weiterbildung der dritten Variante besteht darin, dass

- die Messmembran aus Keramik besteht,

- ein äußerer Rand der Messmembran über eine druckdichte Verbindung mit einer vom Grundkörper abgewandten Seite des inneren Randes der Schulter verbunden ist,
- die druckdichte Verbindung über einen weiteren Anpassungskörper, insb. einen
5 identisch zu dem zwischen Grundkörper und Schulter angeordneten Anpassungskörper ausgebildeten weiteren Anpassungskörper, erfolgt,
- der weitere Anpassungskörper einen thermischen Ausdehnungskoeffizient aufweist, der in von der Messmembran zur Schulter verlaufender Richtung von einem einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Keramik der Messmembran
10 entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten auf einen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Metalls der Schulter entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten ansteigt, und
- der weitere Anpassungskörper eine der Messmembran zugewandte Stirnseite aufweist, die durch eine erste Fügung, insb. eine durch Aufsintern einer äußeren
15 Schicht des Anpassungskörpers auf der Messmembran gebildete Fügung, mit der Messmembran verbunden ist, und eine der Schulter zugewandte Stirnseite aufweist, die durch eine zweite Fügung, insb. eine Schweißung, mit der Schulter verbunden ist.

- 20 Gemäß einer Weiterbildung der dritten Variante oder deren Weiterbildung ist die Schulter in parallel und/oder senkrecht zur Flächennormalen auf die Messmembran verlaufender Richtung federelastisch.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung

- 25 - ist der Anpassungskörper ein aus Schichten aufgebauter Anpassungskörper, und
- ist eine Anzahl der Schichten größer gleich einer Differenz zwischen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Metallkörpers und dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des keramischen Grundkörpers geteilt durch 2 ppm/K, insbesondere größer gleich der Differenz geteilt durch 1 ppm/K, insb. größer gleich
30 dem zweifachen der Differenz geteilt durch 1 ppm/K.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung

- ist der Anpassungskörper ein aus Schichten aufgebauter Anpassungskörper, und
- die Schichten weisen eine Schichtdicke von nicht weniger als 10 μm , insbesondere
35 nicht weniger als 20 μm , insb. nicht weniger als 40 μm auf, und von nicht mehr als 400 μm , insbesondere nicht mehr als 200 μm , insb. nicht mehr als 100 μm auf.

Weiter umfasst die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung des Anpassungskörpers des erfindungsgemäßen Drucksensors, das sich dadurch auszeichnet, dass

- 40 - die einzelnen Schichten erzeugt werden, indem eine Metallpulver und Keramikpulver in einem der Zusammensetzung der jeweiligen Schicht

- entsprechenden Mischungsverhältnis in durchmischter Form enthaltende Pulverschicht aufgebracht, und durch Lasersintern verfestigt wird, oder
- die einzelnen Schicht erzeugt werden, indem eine der Zusammensetzung der jeweiligen Schicht entsprechende Menge Metallpulver und eine der
- 5 Zusammensetzung der jeweiligen Schicht entsprechende Menge Keramikpulver jeweils als Pulverschicht aufeinander aufgebracht werden, und die beiden Pulverschichten durch Lasersintern durchmischt und verfestigt werden.

10 Eine bevorzugte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Drucksensors zeichnet sich dadurch aus, dass

- der Anpassungskörper in vom Grundkörper zum Metallkörper verlaufender Richtung eine Höhe, und senkrecht dazu eine Breite aufweist, und
 - ein Produkt aus einem Verhältnis von der Breite des Anpassungskörpers zur Höhe des Anpassungskörpers und dem Betrag der Differenz der thermischen
- 15 Ausdehnungskoeffizienten der Keramik des Grundkörpers und des Metalls des Metallkörpers kleiner als eine Konstante mit der Dimension $1/K$ ist, wobei
- die Konstante kleiner als $0,1\%/K$, insbesondere kleiner $500 \text{ ppm}/K$, insb. kleiner als $250 \text{ ppm}/K$, insb. kleiner als $125 \text{ ppm}/K$, insb. kleiner als $60 \text{ ppm}/K$ ist, und/oder
 - die Konstante gleich einem Quotient aus einem dimensionslosen
- 20 Verformungsparameter und einer Temperaturdifferenz zwischen einer maximalen und einer minimalen Temperatur, bei der der Drucksensor eingesetzt werden soll, ist, und der Verformungsparameter kleiner als 4% , insb. kleiner als 2% , insb. kleiner als 1% ist.

25 Eine bevorzugte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Drucksensors zeichnet sich dadurch aus, dass

- der Anpassungskörper ein aus aufeinander angeordneten Schichten aufgebauter Anpassungskörper ist,
 - die einzelnen Schichten jeweils eine sich parallel zur Flächennormalen auf die
- 30 Schicht erstreckende Schichtdicke und eine sich senkrecht zur Flächennormalen auf die Schicht erstreckende Breite aufweisen, und
- das Produkt aus dem Verhältnis der Breite der jeweiligen Schicht zu deren Schichtdicke und dem Betrag der Differenz der thermischen
- 35 Ausdehnungskoeffizienten der an diese Schicht angrenzenden Schichten kleiner als eine Konstante mit der Dimension $1/K$ ist, wobei
- die Konstante kleiner als $0,1\%/K$, insbesondere kleiner $500 \text{ ppm}/K$, insb. kleiner als $250 \text{ ppm}/K$, insb. kleiner als $125 \text{ ppm}/K$, insb. kleiner als $60 \text{ ppm}/K$ ist, und/oder
 - die Konstante gleich einem Quotient aus einem dimensionslosen
- 40 Verformungsparameter und einer Temperaturdifferenz zwischen einer maximalen und einer minimalen Temperatur, bei der der Drucksensor eingesetzt werden soll,

ist, und der Verformungsparameter kleiner als 4%, insb. kleiner als 2%, insb. kleiner als 1% ist.

- 5 Anpassungskörper
- ein durch Sintern eines in einem Siebdruckverfahren hergestellten Rohlings hergestellter Sinterkörper ist, und
 - aus aufeinander angeordneten Schichten, insb. Schichten mit einer Schichtdicke in der Größenordnung von wenigen Mikrometern, besteht,
- 10 -- die entweder einen in vom Grundkörper zum Metallkörper verlaufender Richtung von Schicht zu Schicht abnehmenden Keramikanteil und einen in vom Grundkörper zum Metallkörper verlaufender Richtung von Schicht zu Schicht ansteigenden Metallanteil aufweisen, oder
- 15 -- die in aufeinander angeordneten Schichtfolgen aus aufeinander angeordneten jeweils entweder ausschließlich aus Metall oder ausschließlich aus Keramik bestehenden Schichten aufeinander angeordnet sind, wobei eine Anzahl der in den einzelnen Schichtfolgen enthaltenen ausschließlich aus Keramik bestehenden Schichten und eine Anzahl der in den einzelnen Schichtfolgen enthaltenen ausschließlich aus Metall bestehenden Schichten derart vorgegeben ist, dass ein
- 20 Keramikanteil der Schichtfolgen in vom Grundkörper zum Metallkörper verlaufender Richtung von Schichtfolge zu Schichtfolge abnimmt und ein Metallanteil der Schichtfolgen in vom Grundkörper zum Metallkörper verlaufender Richtung von Schicht zu Schicht ansteigt.
- 25 Eine Weiterbildung des letztgenannten Drucksensors sieht vor, dass die erste und die zweite Fügung durch das Sintern des zwischen dem Grundkörper und Metallkörper angeordneten Rohlings erzeugte Fügungen sind.

30 Die Erfindung weist den Vorteil auf, dass die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Metallkörper und keramischem Grundkörper über den Anpassungskörper schrittweise ineinander überführt werden. Dies bewirkt eine deutliche Reduktion von durch die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten von Metallkörper und keramischem Grundkörper bedingten temperaturabhängigen Spannungen, sowohl innerhalb der über den Anpassungskörper ausgeführten

35 Verbindung, als auch in den an die Verbindung angrenzenden Bereichen des Drucksensors.

Da Grundkörper und Metallkörper jeweils an eine Stirnseite des Anpassungskörpers angrenzen, die einen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des jeweiligen

40 Körpers entsprechenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, verbinden die

Fügungen zwischen Anpassungskörper und Grundkörper, sowie zwischen Anpassungskörper und Metallkörper jeweils Grenzflächen mit gleichem oder zumindest sehr ähnlichem thermischen Ausdehnungskoeffizienten.

5 Dementsprechend sind die Fügungen nur sehr geringen temperaturabhängigen Belastungen ausgesetzt. Die erfindungsgemäßen Drucksensoren können somit dauerhaft in einem vergleichsweise großen Temperaturbereich, insb. in einem Temperaturbereich von -40 °C bis $+130\text{ °C}$, eingesetzt werden. Der Einsatz von Elastomeren, inklusive der damit verbundenen Nachteile, ist nicht erforderlich.

10 Die Erfindung und deren Vorteile werden nun anhand der Figuren der Zeichnung, in denen drei Ausführungsbeispiele dargestellt sind, näher erläutert. Gleiche Elemente sind in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Fig. 1 zeigt: einen erfindungsgemäßen Differenzdrucksensor;

15

Fig. 2 zeigt: eine Vergrößerung der in Fig. 1 eingekreisten druckdichten Verbindung;

Fig. 3 zeigt: den Differenzdrucksensor von Fig. 1 mit im Grundkörper integriertem und durch den Anpassungskörper nach außen fortgesetztem Membranbett;

20

Fig. 4 zeigt: einen erfindungsgemäßen Relativdrucksensor; und

25 Fig. 5 zeigt: eine Vergrößerung der in Fig. 4 eingekreisten druckdichten Verbindungen.

Die Erfindung betrifft Drucksensoren mit einem Grundkörper aus Keramik, einer auf dem Grundkörper angeordneten Messmembran, einer im Grundkörper unter der Messmembran eingeschlossenen Druckmesskammer, und mindestens einem mit dem Grundkörper über eine druckdichte mechanische Verbindung verbundenen Metallkörper.

30

Fig. 1 zeigt als erstes Ausführungsbeispiel hierzu einen erfindungsgemäßen Differenzdrucksensor, der einen ersten und einen identisch hierzu ausgebildeten zweiten keramischen Grundkörper 1 aufweist. Die Grundkörper 1 bestehen zum Beispiel aus Aluminiumoxid (Al_2O_3). Alternativ können sie auch aus einem anderen keramischen Werkstoff, wie z.B. Siliziumcarbid-Keramik (SiC) oder Spinell bestehen.

35

40 Zwischen den beiden Grundkörpern 1 ist eine Messmembran 3 angeordnet, unter der in jedem der beiden Grundkörper 1 jeweils eine Druckmesskammer 5

eingeschlossen ist. In dem Ausführungsbeispiel von Fig. 1 besteht die Messmembran 3 aus Metall, zum Beispiel aus einem Edelstahl oder einem Federstahl, und bildet einen der Metallkörper des Differenzdrucksensors.

- 5 Die Messmembran 3 weist einen äußerer Rand auf, dessen eine Seite über eine erste druckdichte mechanische Verbindung 7 mit einem äußeren Rand der der Messmembran 3 zugewandten Stirnseite des ersten Grundkörpers 1, und dessen zweite Seite über eine zweite – vorzugsweise identisch ausgebildete - druckdichte mechanische Verbindung 7 mit einem äußeren Rand der der Messmembran 3
10 zugewandten Stirnseite des zweiten Grundkörper 1 verbunden ist. Beide Verbindungen 7 erfolgen jeweils über einen zwischen der Messmembran 3 und dem jeweiligen Grundkörper 1 angeordneten Anpassungskörper 9. Fig. 2 zeigt eine vergrößerte Darstellung der in Fig. 1 eingekreisten druckdichten Verbindung 7. Die beiden Anpassungskörper 9 sind jeweils zu einem Ring geschlossene
15 Anpassungskörper, und weisen in dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel einen rechteckigen Querschnitt auf.

Erfindungsgemäß weisen die Anpassungskörper 9 jeweils einen thermischen Ausdehnungskoeffizient auf, der in vom jeweiligen Grundkörper 1 zum Metallkörper –
20 hier also vom jeweiligen Grundkörper 1 zur Messmembran 3 - verlaufender Richtung von einem dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_k der Keramik des Grundkörpers 1 entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten auf einen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_M des Metallkörpers entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten ansteigt.

25 Die Anpassungskörper 9 bestehen hierzu vorzugsweise aus einer Anzahl N aufeinander angeordneten Schichten S_i unterschiedlicher Zusammensetzung. Die einzelnen Schichten S_i verlaufen parallel zueinander und parallel zur Messmembran 3. Die Zusammensetzung der einzelnen Schichten S_i wird derart vorgegeben, dass
30 die jeweils an den Grundkörper 1 angrenzende äußerste Schicht S_1 der Anpassungskörper 9 einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_{S1} aufweist, der dem Ausdehnungskoeffizienten α_k der Keramik des Grundkörpers 1 entspricht, und ausgehend von dieser äußersten Schicht S_1 von Schicht zu Schicht schrittweise derart auf den thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_M des Metallkörpers ansteigt,
35 dass die an die Messmembran 3 angrenzende äußerste Schicht S_N einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_{SN} aufweist, der dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_M des Metallkörpers – hier also der Messmembran 3 - entspricht.

40 Hierzu weisen die Schichten S_i jeweils einen Keramikanteil auf, der größer gleich 0% und kleiner gleich 100 % ist, und einen Metallanteil auf, der größer gleich 0% und

kleiner gleich 100 % ist. Die Anteile sind vorzugsweise derart vorgegeben, dass der Keramikanteil der Schichten S_i in vom Grundkörper 1 zum Metallkörper verlaufender Richtung z von Schicht zu Schicht abnimmt, während der Metallanteil der Schichten S_i in vom Grundkörper 1 zum Metallkörper verlaufender Richtung z von Schicht zu Schicht ansteigt. Ordnet man der dem jeweiligen Grundkörper 1 zugewandten äußersten Schicht S_1 der Anpassungskörper 9 die Koordinate $z=0$, und der der Messmembran 3 zugewandten äußersten Schichte S_N die Koordinate $z=h$ zu, wobei h gleich der Höhe des Anpassungskörpers 9 ist, beträgt der Keramikanteil einer Schicht S_i mit der mittleren axialen Koordinate z beispielsweise $100\% \times (1-z/h)$ und der Metallanteil dieser Schicht S_i beträgt $100\% \times (z/h)$.

Vorzugsweise sind die Anpassungskörper 9 Sinterkörper, deren Schichten S_i zum Beispiel durch Lasersintern von Pulverschichten entsprechender von Schicht zu Schicht unterschiedlicher Zusammensetzung erzeugt werden. Hierzu kann zum Beispiel das in der IMW- Industriemitteilung Nr. 29 (2004) von Trenke mit dem Titel „Selektives Lasersintern von metallisch/keramischen Schichtstrukturen“ beschriebene Laser-Sinterverfahren eingesetzt werden. Die Komponenten können hierzu in Form von mikroskaligen Granulaten bereitgestellt werden, deren Korngröße vorzugsweise nicht mehr als $20 \mu\text{m}$ und besonders bevorzugt nicht mehr als $10 \mu\text{m}$ beträgt. Zum Präparieren einer Schicht wird die koordinaten-abhängige Mischung der Granulate auf den bereits verfestigten Schichten aufgetragen und durch Lasersintern verfestigt. Die gewünschte Zusammensetzung der jeweiligen Schicht S_i kann dadurch erzeugt werden, dass eine Metallpulver und Keramikpulver im gewünschten Mischungsverhältnis in durchmischter Form enthaltende Pulverschicht aufgebracht und durch Lasersintern verfestigt wird. Alternativ kann die Zusammensetzung dadurch erzielt werden, dass die entsprechende Menge Metallpulver und die entsprechende Menge Keramikpulver jeweils als Pulverschicht entsprechender Dicke aufeinander aufgebracht werden, und die beiden Pulverschichten durch Lasersintern durchmischt und verfestigt werden. Ggf. kann der Sinterkörper nach erfolgter Präparation unter Druck bei hoher Temperatur gehalten werden, um das Gefüge zu verdichten.

Die Unterschiede der thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_{S_i} , $\alpha_{S_{i+1}}$ aneinander angrenzender Schichten S_i , S_{i+1} der Anpassungskörper 9 sind umso geringer, je größer die Anzahl N der Schichten S ist. Je geringer diese Unterschiede sind, umso geringer sind auch die sich aufgrund der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten ausbildenden temperaturabhängigen Spannungen. Die Anzahl N der Schichten wird daher in Abhängigkeit von der Differenz $\Delta\alpha = \alpha_M - \alpha_K$ der über den Anpassungskörper 9 schrittweise aneinander anzupassenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_M , α_K des Metallkörpers und des keramischen Grundkörpers 1 vorzugsweise derart vorgegeben, dass die Anzahl N

nicht weniger als $(\Delta\alpha)/(2 \text{ ppm/K})$, insbesondere nicht weniger als $(\Delta\alpha)/(1 \text{ ppm/K})$ und bevorzugt nicht weniger als $(2\Delta\alpha)/(1 \text{ ppm/K})$ beträgt.

Jeder Anpassungskörper 9 ist über eine erste, dessen dem jeweiligen Grundkörper 1
5 zugewandten Stirnseite mit dem äußeren Rand des Grundkörpers 1 verbindende Fügung 11 mit dem zugehörigen Grundkörper 1, und über eine zweite, dessen dem Metallkörper zugewandte Stirnseite mit dem Metallkörper verbindende Fügung 13 mit dem Metallkörper verbunden.

10 Die erste Fügung 11 zwischen Grundkörper 1 und Anpassungskörper 9 wird vorzugsweise dadurch realisiert, dass der Anpassungskörper 9 schichtweise auf dem Grundkörper 1 aufgebaut wird. Dabei bildet sich beim Lasersintern der äußersten Schicht S_1 auf dem jeweiligen Grundkörper 1 die erste Fügung 11 zwischen der dem Grundkörper 1 zugewandten äußersten Schicht S_1 und dem Grundkörper 1 aus.

15

Alternativ können die Anpassungskörper 9 als separate Bauteile gefertigt werden. In dem Fall ist die erste Fügung 11 zwischen Grundkörper 1 und Anpassungskörper 9 vorzugsweise eine Aktivhartlötung. Die Aktivhartlötung wird vorzugsweise mit einem eine Zr-Ni-Legierung und Titan aufweisenden ternären Aktivhartlot ausgeführt.

20 Derartige Aktivhartlote sind aus der EP 0 490 807 A2 bekannt, und weisen den Vorteil eines an den thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Keramik angepassten thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf. Alternativ kann die erste Fügung 11 eine Glaslötung sein. Die zweite Fügung 13 ist vorzugsweise eine Schweißung. Alternativ kann die zweite Fügung 13 eine Aktivhartlötung oder eine
25 Glaslötung sein.

Die Anpassungskörper 9 weisen im Querschnitt in einer parallel zur
Flächennormalen auf die Schichten S_i vom Grundkörper 1 zur Messmembran 3 verlaufenden Richtung z eine Höhe h und in einer senkrecht zur Flächennormalen
30 auf die Schichten S_i verlaufenden Richtung eine Breite d auf. Die Abmessungen der Anpassungskörper 9 werden vorzugsweise derart vorgegeben, dass das Produkt aus dem Verhältnis der Breite d der Anpassungskörper 9 zu deren Höhe h und dem Betrag der Differenz $\Delta\alpha$ der thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_K , α_M des Grundkörper 1 und des damit zu verbindenden Metallkörpers, hier der
35 Messmembran 3, kleiner als eine vorgegebene Konstante ξ mit der Dimension $1/K$ ist, für die gilt: $\xi < 0,1\%/K$, insbesondere $< 500 \text{ ppm/K}$, vorzugsweise $< 250 \text{ ppm/K}$, weiter bevorzugt $< 125 \text{ ppm/K}$ und besonders bevorzugt $< 60 \text{ ppm/K}$:

$$\frac{d}{h} \cdot |\Delta\alpha| < \xi,$$

Die Konstante ξ wird vorzugsweise als Quotient aus einem dimensionslosen Verformungsparameter C und einer Temperaturdifferenz ΔT gemäß:

$$\xi = \frac{C}{\Delta T}$$

bestimmt, wobei

- 5 - die Temperaturdifferenz ΔT gleich der Differenz $T_{\max} - T_{\min}$ der maximalen und der minimalen Temperatur T_{\max} , T_{\min} ist, bei der der Drucksensor eingesetzt werden soll, und
- C ein dimensionsloser Verformungsparameter ist, für den gilt: $C < 4\%$, insbesondere $C < 2\%$ und bevorzugt $C < 1\%$.

10

Dabei werden die einzelnen Schichten S_i der Anpassungskörper 9 vorzugsweise derart bemessen, dass das Produkt aus dem Verhältnis der Breite d_s der jeweiligen Schicht S_i zu deren Schichtdicke s und der Betrag der Differenz $\Delta\alpha_s$ der thermischen Ausdehnungskoeffizienten $\alpha_{S_{i-1}}$, $\alpha_{S_{i+1}}$ der an diese Schicht S_i angrenzenden

15 Schichten S_{i-1} , S_{i+1} ebenfalls kleiner als die oben genannte vorzugsweise als Quotient aus dem dimensionslosen Verformungsparameter C und der Temperaturdifferenz ΔT bestimmten Konstante ξ ist. D. h.:

$$\frac{d_s}{s} \cdot |\Delta\alpha_s| < \xi$$

20

Dabei weisen die einzelnen Schichten S_i vorzugsweise eine Schichtdicke s von nicht weniger als 10 μm , insbesondere nicht weniger als 20 μm und bevorzugt nicht weniger als 40 μm auf, und von nicht mehr als 400 μm , insbesondere nicht mehr als 200 μm und bevorzugt nicht mehr als 100 μm auf.

25

Nimmt man als Beispiel eine metallische Messmembran 3 aus Edelstahl mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_M von 16 ppm/K und einen Grundkörper 1 aus Aluminiumoxid-Keramik mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_K von 8 ppm/K, dann beträgt die Differenz $\Delta\alpha$ der thermischen

30

Ausdehnungskoeffizienten 8 ppm/K. Hieraus ergibt sich eine bevorzugte Mindestanzahl $N \geq 2 \Delta\alpha / (1 \text{ ppm/K})$ von 16 Schichten. Bei den oben angegebenen besonders bevorzugten Schichtdicken von 40 μm bis 100 μm ergibt sich hieraus eine bevorzugte Mindesthöhe h der Anpassungskörper 9 von 640 μm bis 1,6 mm. Geht man von einem Temperaturbereich von -40°C bis $+130^\circ\text{C}$ aus, in dem der

35

Drucksensor eingesetzt werden soll, erhält man unter Anwendung des besonders bevorzugten Verformungsparameters C von 1% für die Konstante ξ gemäß $\xi = C/\Delta T$ einen Wert von 58,88 ppm/K. Damit liegt die über die oben angeführte

Bemessungsregel $d/h \cdot |\Delta\alpha| < \xi$ berechenbare Breite d des Anpassungskörpers 9 bei einer Höhe h von 640 μm vorzugsweise unterhalb von 4,8 mm.

- Alternativ kann der Anpassungskörper 9 ein durch Sintern eines in einem
 5 Siebdruckverfahren hergestellten Rohlings hergestellter Sinterkörper sein. Die Herstellung des Rohlings erfolgt, indem die einzelnen Schichten in nacheinander ausgeführten Druckvorgängen aufeinander aufgedruckt werden, wobei die aufgedruckten Schichten jeweils z.B. durch Trocknung verfestigt werden, bevor sie mit der nächsten Schicht überdruckt werden.
- 10 Der im Siebdruckverfahren hergestellte Anpassungskörper 9 weist vorzugsweise Schichten mit einer Schichtdicke in der Größenordnung von wenigen Mikrometern auf.

- Durch Sintern von im Siebdruckverfahren hergestellten, aus aufeinander
 15 angeordneten Schichten unterschiedlicher Zusammensetzung aufgebauten Rohlingen erzeugte dreidimensionale Sinterkörper sind zum Beispiel in der EP 0 627 983 B1 beschrieben. Darüber hinaus ist in einem Handout zu einem im Rahmen des am 2. und 3. Juli 2014 in Dresden abgehaltenen 9. Seminars für aktuelle Trends in der Aufbau und Verbindungstechnik von Herrn Herr Riecker vom IFAM der
 20 Fraunhofer Gesellschaft gehaltenen Vortrag mit dem Titel: '3D-Siebdruck Ein Verfahren zur Bauteilherstellung' eine dreidimensionale gradierte Struktur aus Stahl und Keramik dargestellt, deren Keramikanteil in einer Raumrichtung kontinuierlich abnimmt, und deren Stahlanteil in der gleichen Raumrichtung entsprechend zunimmt.

- 25 Der auf diese Weise hergestellte Anpassungskörper 9 kann genau wie bei dem vorherigen Ausführungsbeispiel aus aufeinander angeordneten Schichten unterschiedlicher in Verbindung mit dem vorherigen Ausführungsbeispiel beschriebener Zusammensetzung aufgebaut sein, deren Keramikanteil in vom
 30 Grundkörper 1 zum Metallkörper verlaufender Richtung von Schicht zu Schicht abnimmt, und deren Metallanteil in vom Grundkörper 1 zum Metallkörper verlaufender Richtung von Schicht zu Schicht ansteigt. Für diese Ausführungsform gelten die oben angegebenen Bemessungsangaben für die Anzahl der Schichten N , das Verhältnis der Breite d des Anpassungskörpers 9 zu dessen Höhe h , sowie das
 35 Verhältnis der Breite d_s der einzelnen Schichten zu deren Schichtdicke s entsprechend, wobei sich die Bemessungsangaben hier auf die nach dem Sintern des Rohlings vorliegenden Abmessungen beziehen.

- Alternativ kann der Anpassungskörper 9 aufeinander angeordnete Schichtfolgen
 40 aufweisen, die aus aufeinander angeordneten Schichten bestehen, die jeweils

entweder ausschließlich aus Metall oder ausschließlich aus Keramik bestehen. Dabei wird die Anzahl der in den einzelnen Schichtfolgen enthaltenen ausschließlich aus Keramik bestehenden Schichten und die Anzahl der in den einzelnen Schichtfolgenden enthaltenen ausschließlich aus Metall bestehenden Schichten derart vorgegeben, dass der Keramikanteil der Schichtfolgen in vom Grundkörper 1 zum Metallkörper verlaufender Richtung von Schichtfolge zu Schichtfolge abnimmt, und der Metallanteil der Schichtfolgen in vom Grundkörper 1 zum Metallkörper verlaufender Richtung z von Schicht zu Schicht ansteigt. Hierbei weisen die Schichten vorzugsweise eine möglichst geringe Dicke, insb. eine Dicke in der Größenordnung von wenigen Mikrometern, insb. 2 μm bis 3 μm auf. Diese Ausführungsform bietet den Vorteil, dass nur zwei verschiedene Druckpasten, nämlich eine Keramik-Paste und eine Metall-Paste zur Erzeugung des Rohlings benötigt werden, und dass für das Aufdrucken der keramischen und der metallischen Schichten jeweils nur ein Sieb benötigt wird, das zwischen aufeinander folgenden Druckvorgängen nicht gereinigt werden muss.

In Verbindung mit im Siebdruckverfahren hergestellten Anpassungskörpern 9 werden die erste und die zweite Fügung 11, 13 vorzugsweise dadurch erzeugt, dass der Rohling zwischen Grundkörper 1 und Metallkörper angeordnet und dort gesintert wird.

Die Erfindung bietet den Vorteil, dass die Anpassungskörper 9 die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Metallkörper und Grundkörper 1 schrittweise aneinander angleichen. Dies bewirkt eine deutliche Reduktion temperaturbedingter Spannungen im Bereich der Fügungen 11, 13 und im Bereich der Messmembran 3. Damit ist es möglich, Edelstahl als Werkstoff für die Messmembran 3 einzusetzen, ohne dass die Gefahr besteht, dass die Fügungen 11, 13 aufgrund temperaturbedingter Spannungen über Gebühr belastet werden oder sogar brechen, und ohne dass die Messgenauigkeit durch temperaturabhängige Verspannungen im Bereich der Messmembran 3 wesentlich beeinträchtigt wird.

Fig. 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors. Aufgrund der weitgehenden Übereinstimmung mit dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel werden nachfolgend lediglich die bestehenden Unterschiede im Detail erläutert, und im Übrigen auf die Beschreibung zu Fig. 1 verwiesen. Im Unterschied zu dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel weisen die beiden Grundkörper 1 hier auf deren der Messmembran 3 zugewandte Stirnseite jeweils einen als Membranbett 15 ausgebildeten Bereich auf. Die Membranbetten 15 dienen der Abstützung der Messmembran 3 im Fall einer darauf einwirkenden Überlast und weisen hierzu eine der Biegekontur der Messmembran 3 nachgebildete Oberflächenkontur auf. Jedes Membranbett 15 ist außenseitlich von

einem planaren, parallel zur Messmembran 3 verlaufenden Rand 17 der Stirnseite des jeweiligen Grundkörpers 1 umgeben, auf dem auch hier jeweils ein Anpassungskörper 19 angeordnet ist.

- 5 In Verbindung mit mit Membranbetten 15 ausgestatteten Grundkörpern 1 weisen die Anpassungskörper 19 vorzugsweise eine die jeweilige Druckmesskammer 5 außenseitlich umschließende Innenkontur 21 auf, die das jeweilige Membranbetts 15 nach außen fortsetzt. Hierzu kann der Anpassungskörper 19 aus scheibenförmigen Schichten S_i gleicher Außenabmessungen aufgebaut sein, deren Innendurchmesser
- 10 ausgehend von der dem Grundkörper 1 zugewandten äußersten Schicht S_1 von Schicht zu Schicht entsprechend der Biegekontur der Messmembran 3 ansteigen. Dabei gelten die oben angeführten Bemessungsregeln für die Anzahl N der Schichten S_i , sowie die Schichtdicke s und die Breite d_s der Schichten S_i entsprechend.
- 15 In beiden Ausführungsbeispielen ist in jedem der beiden Grundkörper 1 jeweils eine durchgehende, in der zugehörigen Druckmesskammer 5 mündende Bohrung 23 vorgesehen, die durch den jeweiligen Grundkörper 1 hindurch zu dessen von der Messmembran 3 abgewandten Rückseite verläuft. Im Messbetrieb wird die dem
- 20 ersten Grundkörper 1 zugewandte erste Seite der Messmembran 3 über eine an die Bohrung 23 im ersten Grundkörper 1 angeschlossene Druckzufuhrleitung 25 mit einem ersten Druck p_1 , und die dem zweiten Grundkörper 1 zugewandte zweite Seite der Messmembran 3 über eine an die Bohrung 23 im zweiten Grundkörper 1 angeschlossene Druckzufuhrleitung 25 mit einem zweiten Druck p_2 beaufschlagt.
- 25 Diese Druckbeaufschlagung bewirkt eine von der Differenz des ersten und des zweiten Drucks p_1, p_2 abhängige Durchbiegung der Messmembran 3, die mittels eines elektromechanischen Wandlers messtechnisch erfasst und in ein von der Differenz der Drücke p_1, p_2 abhängiges Messsignal umgewandelt wird. Als Wandler eignet sich in beiden Ausführungsbeispielen z.B. ein kapazitiver
- 30 Wandler, der einen ersten, durch die metallische Messmembran 3 und eine im ersten Grundkörper 1 angeordneten Gegenelektrode 27 gebildeten, Kondensator, und einen zweiten, durch die metallische Messmembran 3 und eine im zweiten Grundkörper 1 angeordneten Gegenelektrode 27 gebildeten, Kondensator aufweist. Beide Kondensatoren weisen jeweils eine von der Durchbiegung der Messmembran 3
- 35 abhängige Kapazität auf, die z.B. mittels hier nicht dargestellter Kapazitätsmessschaltungen bestimmt, und anhand einer vorab im Rahmen eines Kalibrationsverfahrens ermittelten Kennlinie einem auf die Messmembran 3 einwirkenden zu messenden Differenzdruck Δp zugeordnet werden.
- 40 Die Druckzufuhrleitungen 25 können beispielsweise Bestandteil von den Druckmesskammern 5 vorgeschalteten Druckmittlern 29 sein. Die beiden

- Druckmittler 29 umfassen jeweils eine nach außen durch eine Trennmembran 31 abgeschlossene Druckempfangskammer 33, die über die daran angeschlossene Druckzufuhrleitung 25 und die Bohrung 23 an die zugehörige Druckmesskammer 5 angeschlossen ist. In dem Fall sind die Druckmesskammern 5, die Bohrungen 23, 5 die Druckzufuhrleitungen 25 und die Druckempfangskammern 33 mit einer Druck übertragenden Flüssigkeit befüllt, über die der von außen auf die zugehörige Trennmembran 31 einwirkende Druck p_1 , p_2 auf die zugehörige Druckmesskammer 5 übertragen wird.
- 10 Die Druckzufuhrleitungen 25 weisen an deren dem jeweiligen Grundkörper 1 zugewandten Ende einen Abschluss 35 aus Metall, z.B. aus einem Edelstahl, auf. Die Abschlüsse 35 sind Metallkörper, die mit dem zugehörigen Grundkörper 1 über eine druckdichte mechanische Verbindung 37 verbunden sind. Die Abschlüsse 35 sind beispielsweise an den Enden der Druckzufuhrleitungen 25 angebrachte 15 Metallscheiben, die eine dem Innendurchmesser von Bohrung 23 und Druckzufuhrleitung 25 entsprechende Durchtrittsöffnung aufweisen. Auch diese Verbindungen 37 erfolgen jeweils über einen zwischen dem jeweiligen Grundkörper 1 und dem Abschluss 35 angeordneten Anpassungskörper 39, der einen thermischen Ausdehnungskoeffizient aufweist, der in vom Grundkörper 1 zum 20 Metallkörper – hier zum Abschluss 35 - verlaufender Richtung von dem dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_k des Grundkörpers 1 entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten auf den dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_M des Abschlusses 35 entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten ansteigt.
- 25 Die Anpassungskörper 39 weisen jeweils einen Innenraum auf, der einen Innenraum der daran anschließenden Bohrung 23 über die Durchtrittsöffnung des Abschlusses 35 mit einem Innenraum der Druckzufuhrleitung 25 verbindet. Die Anpassungskörper 39 weisen jeweils eine dem jeweiligen Grundkörper 1 zugewandte Stirnseite auf, die durch eine erste Fügung 11 mit einem die Bohrung 23 umgebenden Bereich der 30 Rückseite des jeweiligen Grundkörpers 1 verbunden ist, und eine vom Grundkörper 1 abgewandte Stirnseite auf, die durch eine zweite Fügung 13 mit der dem Grundkörper 1 zugewandten Stirnseite des Abschlusses 35 verbunden ist. Die ersten und zweiten Fügungen 11, 13 sind vorzugsweise identisch zu den entsprechenden anhand von Fig. 1 beschriebenen ersten und zweiten Fügungen 11, 13 ausgebildet. 35
- Diese Anpassungskörper 39 sind abgesehen von deren auf die Innendurchmesser von Bohrung 23 und Abschluss 35 abgestimmten Innendurchmessern, und deren auf den Außendurchmesser des Abschlusses 35 abgestimmten Außendurchmessern auf die in Verbindung mit den Anpassungskörpern 9 von Fig. 1 beschriebene Weise 40 aufgebaut. Dabei gelten die obigen Bemessungsregeln für die Anzahl N der

Schichten S_i , Höhe h und Breite d des Anpassungskörpers 39, sowie Schichtdicke s und Breite d_s der Schichten S_i entsprechend.

Fig. 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen
5 Drucksensors. Fig. 5 zeigt eine Vergrößerung des in Fig. 4 eingekreisten Ausschnitts von Fig. 4. Auch dieser Drucksensor umfasst einen keramischen Grundkörper 1 und eine unter Einschluss einer Druckmesskammer 5 auf dem Grundkörper 1 angeordnete Messmembran 41. Die Messmembran 41 besteht aus Keramik. Vorzugsweise wird hierzu der gleiche Werkstoff verwendet, aus dem auch der
10 Grundkörper 1 besteht, insb. Aluminiumoxid (Al_2O_3), Siliziumcarbid-Keramik (SiC) oder Spinell.

Der keramische Grundkörper 1 ist in einem metallischen Gehäuse 43 angeordnet, das ein den Grundkörper 1 allseitig außenseitlich umschließendes, vom Grundkörper
15 1 beabstandetes Gehäusesegment 45 umfasst, an dessen Ende eine sich radial nach innen erstreckende Schulter 47 vorgesehen ist. Die Schulter 47 besteht aus Metall, zum Beispiel aus Edelstahl. Die Schulter 47 ist ein Metallkörper, der mit dem keramischen Grundkörper 1 durch eine druckdichte mechanische Verbindung 49 verbunden ist. Auch diese Verbindung 49 erfolgt über einen Anpassungskörper 51
20 auf die oben bereits in Verbindung mit der in Fig. 1 dargestellten Verbindung 7 beschriebene Weise, wobei der innere Rand der Schulter 47 an die Stelle des äußeren Randes der metallischen Messmembran 3 von Fig. 1 tritt. In Bezug auf den Anpassungskörper 51, insb. dessen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, dessen Aufbau und dessen Abmessungen, gelten die obigen Ausführungen zu dem in Fig. 1
25 dargestellten Anpassungskörper 9 entsprechend. Der Anpassungskörper 51 ist auch hier ein zu einem Ring geschlossener Anpassungskörper 51 mit rechteckigem Querschnitt, dessen dem Grundkörper 1 zugewandte Stirnseite über eine erste Fügung 11 mit dem äußerem Rand der der Messmembran 41 zugewandten Stirnseite des Grundkörpers 1, und dessen der Schulter 47 zugewandte Stirnseite
30 über eine zweite Fügung 13 mit der dem Grundkörper 1 zugewandten in das Gehäuse 43 hinein weisenden Seite des inneren Randes der Schulter 47 verbunden ist. Auch die erste und die zweite Fügung 11, 13 sind vorzugsweise identisch zu den anhand von Fig. 1 beschriebenen ersten und zweiten Fügungen 11, 13 ausgebildet.

35 Vorzugsweise ist der äußere Rand des Grundkörpers 1 in axialer Richtung, d.h. parallel zur Flächennormale auf die Messmembran 41, im Gehäuse 43 eingespannt. Hierzu ist die Schulter 47 vorzugsweise als in axialer Richtung federelastisches Element ausgebildet, das mit einem von der Messmembran 41 abgewandten Seite her in das Gehäusesegment 45 eingebrachten Gegenlager 53 zusammenwirkt. Als
40 Gegenlager 53 eignet sich zum Beispiel ein hohlzylindrischer Druckring, der derart in das Gehäuse 43 eingeschraubt wird, dass dessen in Richtung der Messmembran 41

weisende Stirnseite auf einem äußeren Rand der von der Messmembran 41 abgewandten Rückseite des Grundkörpers 1 aufliegt, und den Grundkörper 1 gegen die federelastische Schulter 47 drückt. Diese Variante ist in der linken Hälfte von Fig. 4 dargestellt. Zusätzlich kann zwischen dem Gegenlager 53 und dem äußeren Rand des Grundkörpers 1 eine Spannfeder 55 vorgesehen sein. Diese Variante ist in der rechten Hälfte von Fig. 4 dargestellt.

Die Federelastizität der Schulter 47 lässt sich z. B. durch eine entsprechende Formgebung der Schulter 47 erzielen. Eine in axialer Richtung wirksame Federelastizität der Schulter 47 kann z.B. über eine an eine Steifigkeit des Metalls der Schulter 47 angepasste entsprechend geringe Dicke der Schulter 47 bewirkt werden.

Vorzugsweise ist die Schulter 47 als in radialer Richtung, also senkrecht zur Flächennormale auf die Messmembran 41, federelastisches Element ausgebildet. Auch diese in radialer Richtung wirkende Federelastizität der Schulter 47 lässt sich durch eine entsprechende Formgebung der Schulter 47 erzielen. Hierzu ist die Schulter 47 vorzugsweise als gewellte Scheibe ausgebildet, die mindestens eine konzentrisch zur durch die Mitte der Messmembran 41 verlaufenden Flächennormale auf die Messmembran 41 ausgebildete kreisringförmige Welle 57 aufweist.

Die Schulter 47 besteht sowohl im Hinblick auf die bevorzugte Federelastizität, als auch im Hinblick auf deren exponierte Position als Teil des Gehäuses 43 des Drucksensors, vorzugsweise aus einem federelastischen Edelstahl. Hierzu eignen sich insb. nickelhaltige austenitische rostfreie Stähle, wie z.B. unter der Werkstoffnummer 1.4404 bzw. unter der Bezeichnung 316L geführte Edelstähle.

Die Messmembran 41 ist unter Einschluss der Druckmesskammer 5 auf dem Grundkörper 1 angeordnet. Hierzu ist der äußere Rand der Messmembran 41 über eine weitere druckdichte mechanische Verbindung 59 mit dem inneren, über die druckdichte mechanische Verbindung 49 mit dem Rand des Grundkörpers 1 verbundenen Rand der Schulter 47 verbunden. Auch diese Verbindung 59 erfolgt auf die anhand der Verbindung 7 in Fig. 1 beschriebene Weise. Hierzu ist zwischen dem inneren Rand der Schulter 47 und dem äußeren Rand der Messmembran 41 ein weiterer Anpassungskörper 61 angeordnet. Der weitere Anpassungskörper 61 ist vorzugsweise identisch zu dem Anpassungskörper 51 ausgebildet, und derart auf der Schulter 47 angeordnet, dass dessen thermischer Ausdehnungskoeffizient ausgehend von dem dem Ausdehnungskoeffizienten α_K der Messmembran 41 entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten der an die Messmembran 41 angrenzenden äußersten Schicht S_1 in Richtung der Schulter 47 von Schicht zu Schicht schrittweise derart ansteigt, dass dessen an die metallische Schulter 47

angrenzende äußerste Schicht S_N einen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_M der metallischen Schulter 47 entsprechenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist.

- 5 Analog zu den zuvor beschriebenen Verbindungen 7 ist der äußere dem Grundkörper 1 zugewandte Rand der Messmembran 41 durch eine erste Fügung 11 mit einer vom Grundkörper 1 abgewandten Stirnseite des weiteren Anpassungskörpers 61 verbunden, und der innere der Messmembran 41 zugewandte Rand der Schulter 47 ist durch eine zweite Fügung 13 mit einer der
- 10 Schulter 47 zugewandten Stirnseite des weiteren Anpassungskörpers 61 verbunden. Die erste und die zweite Fügung 11, 13 sind auch hier vorzugsweise identisch zu den entsprechenden anhand von Fig. 1 beschriebenen ersten und zweiten Fügungen 11, 13 ausgebildet.
- 15 Dabei bietet die in radialer und vorzugsweise auch in axialer Richtung federelastische Schulter 47 den Vorteil, dass durch sie ggfs. trotz der Anpassung der thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_K , α_M über die Anpassungskörper 51 und 61 verbleibende temperaturabhängige Restspannungen ausgeglichen werden.
- 20 Der in Fig. 4 dargestellte Drucksensor ist als Relativdrucksensor ausgebildet. Hierzu umfasst er eine durch den Grundkörper 1 hindurch verlaufende in der Druckmesskammer 5 mündende Bohrung 63, über die der Druckmesskammer 5 ein Referenzdruck p_{ref} , z.B. der Atmosphärendruck, auf den der zu messende Druck bezogen werden soll, zugeführt wird. Alternativ kann er als Absolutdrucksensor
- 25 ausgebildet sein. In dem Fall entfällt die Bohrung 63, und die unter der Messmembran 41 eingeschlossene Druckmesskammer 5 ist evakuiert.

- Ein von außen auf die Messmembran 41 einwirkender Druck p bewirkt eine druckabhängige Durchbiegung der Messmembran 41, die mittels eines
- 30 elektromechanischen Wandlers erfasst wird. Auch hier kann als Wandler ein kapazitiver Wandler eingesetzt werden, der hier eine auf der Innenseite der Messmembran 41 aufgebrachte Elektrode 65 umfasst, die zusammen mit der auf die der Messmembran 41 zugewandte Stirnseite des Grundkörpers 1 aufgebrachte Gegenelektrode 27 einen Kondensator bildet, der eine von der druckabhängigen
- 35 Durchbiegung der Messmembran 41 abhängige Kapazität aufweist.

Bezugszeichenliste

	1	Grundkörper
	3	Messmembran
5	5	Druckmesskammer
	7	druckdichte mechanische Verbindung
	9	Anpassungskörper
	11	erste Fügung
	13	zweite Fügung
10	15	Membranbett
	17	Rand der Stirnfläche des Grundkörpers
	19	Anpassungskörper
	21	Innenkontur
	23	Bohrung
15	25	Druckzufuhrleitung
	27	Gegenelektrode
	29	Druckmittler
	31	Trennmembran
	33	Druckempfangskammer
20	35	Abschluss
	37	druckdichte mechanische Verbindung
	39	Anpassungskörper
	41	Messmembran
	43	Gehäuse
25	45	Gehäusewand
	47	Schulter
	49	druckdichte mechanische Verbindung
	51	Anpassungskörper
	53	Gegenlager
30	55	Spannfeder
	57	Welle
	59	druckdichte mechanische Verbindung
	61	Anpassungskörper
	63	Bohrung
35	65	Elektrode

Patentansprüche

1. Drucksensor, mit
- einem Grundkörper (1) aus Keramik,
 - 5 - einer auf dem Grundkörper (1) angeordneten Messmembran (3, 41),
 - einer im Grundkörper (1) unter der Messmembran (3, 41) eingeschlossenen Druckmesskammer (5), und
 - mindestens einem mit dem Grundkörper (1) über eine druckdichte mechanische Verbindung (7, 37, 49) verbundenen Metallkörper,
 - 10 dadurch gekennzeichnet, dass
 - die druckdichte mechanische Verbindung (7, 37, 49) einen zwischen dem Grundkörper (1) und dem Metallkörper angeordneten Anpassungskörper (9, 19, 39, 51) umfasst,
 - der Anpassungskörper (9, 19, 39, 51) einen thermischen
 - 15 Ausdehnungskoeffizient aufweist, der entlang des Anpassungskörpers (9, 19, 39, 51) in vom Grundkörper (1) zum Metallkörper verlaufender Richtung (z) von einem einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten (α_K) der Keramik des Grundkörpers (1) entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten auf einen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten (α_M) des Metallkörpers
 - 20 entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten ansteigt, und
 - der Anpassungskörper (9, 19, 39, 51) durch eine erste Fügung (11) mit dem Grundkörper (1) und durch eine zweite Fügung (13) mit dem Metallkörper verbunden ist.
- 25 2. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Anpassungskörper (9, 19, 39, 51) aufeinander angeordnete Schichten (S_i) unterschiedlicher Zusammensetzung, insb. durch Lasersintern von metallische und/oder keramische Anteile enthaltenden Pulverschichten aufeinander aufgebraute Schichten, aufweist, und
 - 30 - die Schichten (S_i) einen Keramikanteil aufweisen, der größer gleich 0 % und kleiner gleich 100 % ist, und einen Metallanteil aufweisen, der größer gleich 0 % und kleiner gleich 100 % ist, wobei
 - der Keramikanteil in vom Grundkörper (1) zum Metallkörper hin verlaufender Richtung (z) von Schicht zu Schicht abnimmt, und
 - 35 - der Metallanteil in vom Grundkörper (1) zum Metallkörper hin verlaufender Richtung (z) von Schicht zu Schicht ansteigt.
3. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Anpassungskörper (9, 19, 39, 51) ein aus Schichten aufgebauter
 - 40 Sinterkörper ist, und die erste Fügung (11) eine durch Aufsintern, insb. durch Lasersintern, einer dem Grundkörper (1) zugewandten äußersten Schicht (S_1)

- des Anpassungskörpers (9, 19, 39, 51) auf dem Grundkörper (1) gebildete Fügung ist, oder
- die erste Fügung (11) eine Aktivhartlötung, insb. eine mittels eines ternären eine Zr-Ni-Legierung und Titan aufweisenden Aktivhartlots ausgeführte Aktivhartlötung ist, oder
 - die erste Fügung (11) eine Glaslötung ist.
- 5
4. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Fügung (13) eine Schweißung oder eine Glaslötung ist.
- 10
5. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Messmembran (3) aus Metall besteht und einer der Metallkörper ist, und
 - ein äußerer Rand einer der Messmembran (3) zugewandten Stirnseite des Grundkörpers (1) über die erste Fügung (11), den Anpassungskörper (9, 19) und die zweite Fügung (13) mit einem äußeren Rand der dem Grundkörper (1) zugewandten Seite der Messmembran (3) verbunden ist.
- 15
6. Drucksensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Anpassungskörper (9) ein zu einem Ring geschlossener Anpassungskörper mit rechteckigem Querschnitt ist, oder
 - eine der Messmembran (3) zugewandte Stirnseite des Grundkörpers (1) einen als Membranbett (15) ausgebildeten Bereich aufweist, und der Anpassungskörper (19) eine die Druckmesskammer (5) außenseitlich umgebende Innenkontur (21) ausweist, durch die das Membranbett (15) nach außen fortgesetzt ist.
- 20
- 25
7. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- im Grundkörper (1) eine durchgehende, in der Druckmesskammer (5) mündende Bohrung (23) vorgesehen ist,
 - eine an die Bohrung (23) angeschlossenen Druckzufuhrleitung (25) vorgesehen ist,
 - die Druckzufuhrleitung (25) an deren dem Grundkörper (1) zugewandten Ende einen metallischen, eine Durchtrittsöffnung aufweisenden Abschluss (35) aufweist, der einen der Metallkörper bildet,
 - der Grundkörper (1) über die erste Fügung (13), den Anpassungskörper (39) und die zweite Fügung (11) mit dem Abschluss (35) verbunden ist, und
 - der Anpassungskörper (39) einen Innenraum aufweist, durch den ein Innenraum der Bohrung (23) über die Durchtrittsöffnung im Abschluss (35) mit einem Innenraum der Druckzufuhrleitung (25) verbunden ist.
- 30
- 35
- 40
8. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Grundkörper (1) in einem Gehäuse (43) angeordnet ist,
- das Gehäuse (43) ein den Grundkörper (1) außenseitlich umschließendes, vom Grundkörper (1) beabstandetes Gehäusesegment (45), und eine damit verbundene, sich radial nach innen erstreckende, einen der Metallkörper bildende Schulter (47) aus Metall, insb. aus Edelstahl, insb. aus nickelhaltigem austenitischem Edelstahl, umfasst, und
- ein innerer Rand der Schulter (47) über die druckdichte Verbindung (49) mit einem äußeren der Schulter (47) zugewandten Rand des Grundkörpers (1) verbunden ist, wobei
- eine dem Grundkörper (1) zugewandte Stirnseite des Anpassungskörpers (51) über die erste Fügung (11) mit einem äußeren Rand der der Schulter (47) zugewandten Stirnseite des Grundkörpers (1) verbunden ist, und
- eine der Schulter (47) zugewandte Stirnseite des Anpassungskörpers (51) über die zweite Fügung (13) mit einer in das Gehäuse (43) hinein weisenden Seite eines inneren Randes der Schulter (47) verbunden ist.

9. Drucksensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Messmembran (41) aus Keramik besteht,
- ein äußerer Rand der Messmembran (41) über eine druckdichte Verbindung (59) mit einer vom Grundkörper (1) abgewandten Seite des inneren Randes der Schulter (47) verbunden ist,
- die druckdichte Verbindung (59) über einen weiteren Anpassungskörper (61), insb. einen identisch zu dem zwischen Grundkörper (1) und Schulter (47) angeordneten Anpassungskörper (51) ausgebildeten weiteren Anpassungskörper, erfolgt,
- der weitere Anpassungskörper (61) einen thermischen Ausdehnungskoeffizient aufweist, der in von der Messmembran (41) zur Schulter (47) verlaufender Richtung von einem einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten (α_M) der Keramik der Messmembran (41) entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten auf einen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten (α_M) des Metalls der Schulter (47) entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten ansteigt, und
- der weitere Anpassungskörper (61) eine der Messmembran (41) zugewandte Stirnseite aufweist, die durch eine erste Fügung (11), insb. eine durch Aufsintern einer äußeren Schicht des Anpassungskörpers (61) auf der Messmembran (41) gebildete Fügung, mit der Messmembran (41) verbunden ist, und eine der Schulter (47) zugewandte Stirnseite aufweist, die durch eine zweite Fügung (13), insb. eine Schweißung, mit der Schulter (47) verbunden ist.

10. Drucksensor nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass

die Schulter (47) in parallel und/oder senkrecht zur Flächennormalen auf die Messmembran (41) verlaufender Richtung federelastisch ist.

11. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- 5 - der Anpassungskörper (9, 19, 39, 51) ein aus Schichten (S_i) aufgebauter Anpassungskörper ist,
- eine Anzahl (N) der Schichten (S_i) größer gleich einer Differenz ($\Delta\alpha$) zwischen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten (α_M) des Metallkörpers und dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten (α_K) des keramischen Grundkörpers (1)
- 10 geteilt durch 2 ppm/K, insbesondere größer gleich der Differenz ($\Delta\alpha$) geteilt durch 1 ppm/K, insb. größer gleich dem zweifachen der Differenz ($\Delta\alpha$) geteilt durch 1 ppm/K, ist.
12. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- 15 - der Anpassungskörper (9, 19, 39, 51) ein aus Schichten (S_i) aufgebauter Anpassungskörper ist, und
- die Schichten (S_i) eine Schichtdicke (s) von nicht weniger als 10 μm , insbesondere nicht weniger als 20 μm , insb. nicht weniger als 40 μm aufweisen, und von nicht mehr als 400 μm , insbesondere nicht mehr als 200
- 20 μm , insb. nicht mehr als 100 μm aufweisen.
13. Verfahren zur Herstellung des Anpassungskörpers (9, 19, 39, 51) des Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- die einzelnen Schichten (S_i) erzeugt werden, indem eine Metallpulver und
- 25 Keramikpulver in einem der Zusammensetzung der jeweiligen Schicht (S_i) entsprechenden Mischungsverhältnis in durchmischter Form enthaltende Pulverschicht aufgebracht, und durch Lasersintern verfestigt wird, oder
- die einzelnen Schicht (S_i) erzeugt werden, indem eine der Zusammensetzung der jeweiligen Schicht (S_i) entsprechende Menge Metallpulver und eine der
- 30 Zusammensetzung der jeweiligen Schicht (S_i) entsprechende Menge Keramikpulver jeweils als Pulverschicht aufeinander aufgebracht werden, und die beiden Pulverschichten durch Lasersintern durchmischt und verfestigt werden.
14. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- 35 - der Anpassungskörper (9, 39, 51) in vom Grundkörper (1) zum Metallkörper verlaufender Richtung eine Höhe (h), und senkrecht dazu eine Breite (d) aufweist, und
- ein Produkt aus einem Verhältnis von der Breite (d) des Anpassungskörpers (9, 39, 51) zur Höhe (h) des Anpassungskörpers (9, 39, 51) und dem Betrag der
- 40 Differenz ($\Delta\alpha$) der thermischen Ausdehnungskoeffizienten (α_K , α_M) der Keramik

- des Grundkörpers (1) und des Metalls des Metallkörpers kleiner als eine Konstante (ξ) mit der Dimension $1/K$ ist, wobei
- die Konstante (ξ) kleiner als $0,1\%/K$, insbesondere kleiner $500 \text{ ppm}/K$, insb. kleiner als $250 \text{ ppm}/K$, insb. kleiner als $125 \text{ ppm}/K$, insb. kleiner als $60 \text{ ppm}/K$ ist, und/oder
 - die Konstante (ξ) gleich einem Quotient aus einem dimensionslosen Verformungsparameter (C) und einer Temperaturdifferenz (ΔT) zwischen einer maximalen und einer minimalen Temperatur (T_{\max} , T_{\min}), bei der der Drucksensor eingesetzt werden soll, ist, und der Verformungsparameter kleiner als 4% , insb. kleiner als 2% , insb. kleiner als 1% ist.
15. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Anpassungskörper (9, 19, 39, 51) ein aus aufeinander angeordneten Schichten (S_i) aufgebauter Anpassungskörper ist,
 - die einzelnen Schichten (S_i) jeweils eine sich parallel zur Flächennormalen auf die Schicht (S_i) erstreckende Schichtdicke (s) und eine sich senkrecht zur Flächennormalen auf die Schicht (S_i) erstreckende Breite (d_s) aufweisen, und
 - das Produkt aus dem Verhältnis der Breite (d_s) der jeweiligen Schicht (S_i) zu deren Schichtdicke (s) und dem Betrag der Differenz ($\Delta\alpha_s$) der thermischen Ausdehnungskoeffizienten der an diese Schicht (S_i) angrenzenden Schichten (S_{i-1} , S_{i+1}) kleiner als eine Konstante (ξ) mit der Dimension $1/K$ ist, wobei
 - die Konstante (ξ) kleiner als $0,1\%/K$, insbesondere kleiner $500 \text{ ppm}/K$, insb. kleiner als $250 \text{ ppm}/K$, insb. kleiner als $125 \text{ ppm}/K$, insb. kleiner als $60 \text{ ppm}/K$ ist, und/oder
 - die Konstante (ξ) gleich einem Quotient aus einem dimensionslosen Verformungsparameter (C) und einer Temperaturdifferenz (ΔT) zwischen einer maximalen und einer minimalen Temperatur (T_{\max} , T_{\min}), bei der der Drucksensor eingesetzt werden soll, ist, und der Verformungsparameter kleiner als 4% , insb. kleiner als 2% , insb. kleiner als 1% ist.
16. Drucksensor nach Anspruch 1, 5, 6, 7, 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Anpassungskörper (9, 19, 39, 51)
- ein durch Sintern eines in einem Siebdruckverfahren hergestellten Rohlings hergestellter Sinterkörper ist und
 - aus aufeinander angeordneten Schichten, insb. Schichten mit einer Schichtdicke in der Größenordnung von wenigen Mikrometern, besteht,
 - die entweder einen in vom Grundkörper (1) zum Metallkörper verlaufender Richtung (z) von Schicht zu Schicht abnehmenden Keramikanteil und einen in

- vom Grundkörper (1) zum Metallkörper verlaufender Richtung (z) von Schicht zu Schicht ansteigenden Metallanteil aufweisen, oder
- die in aufeinander angeordneten Schichtfolgen aus aufeinander angeordneten, jeweils entweder ausschließlich aus Metall oder ausschließlich aus Keramik bestehenden Schichten aufeinander angeordnet sind, wobei eine Anzahl der in den einzelnen Schichtfolgen enthaltenen, ausschließlich aus Keramik bestehenden Schichten und eine Anzahl der in den einzelnen Schichtfolgen enthaltenen, ausschließlich aus Metall bestehenden Schichten derart vorgegeben ist, dass ein Keramikanteil der Schichtfolgen in vom Grundkörper (1) zum Metallkörper verlaufender Richtung von Schichtfolge zu Schichtfolge abnimmt und ein Metallanteil der Schichtfolgen in vom Grundkörper (1) zum Metallkörper verlaufender Richtung von Schicht zu Schicht ansteigt.
- 15 17. Drucksensor nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Fügung (11, 13) durch das Sintern des zwischen dem Grundkörper (1) und Metallkörper angeordneten Rohlings erzeugte Fügungen sind.

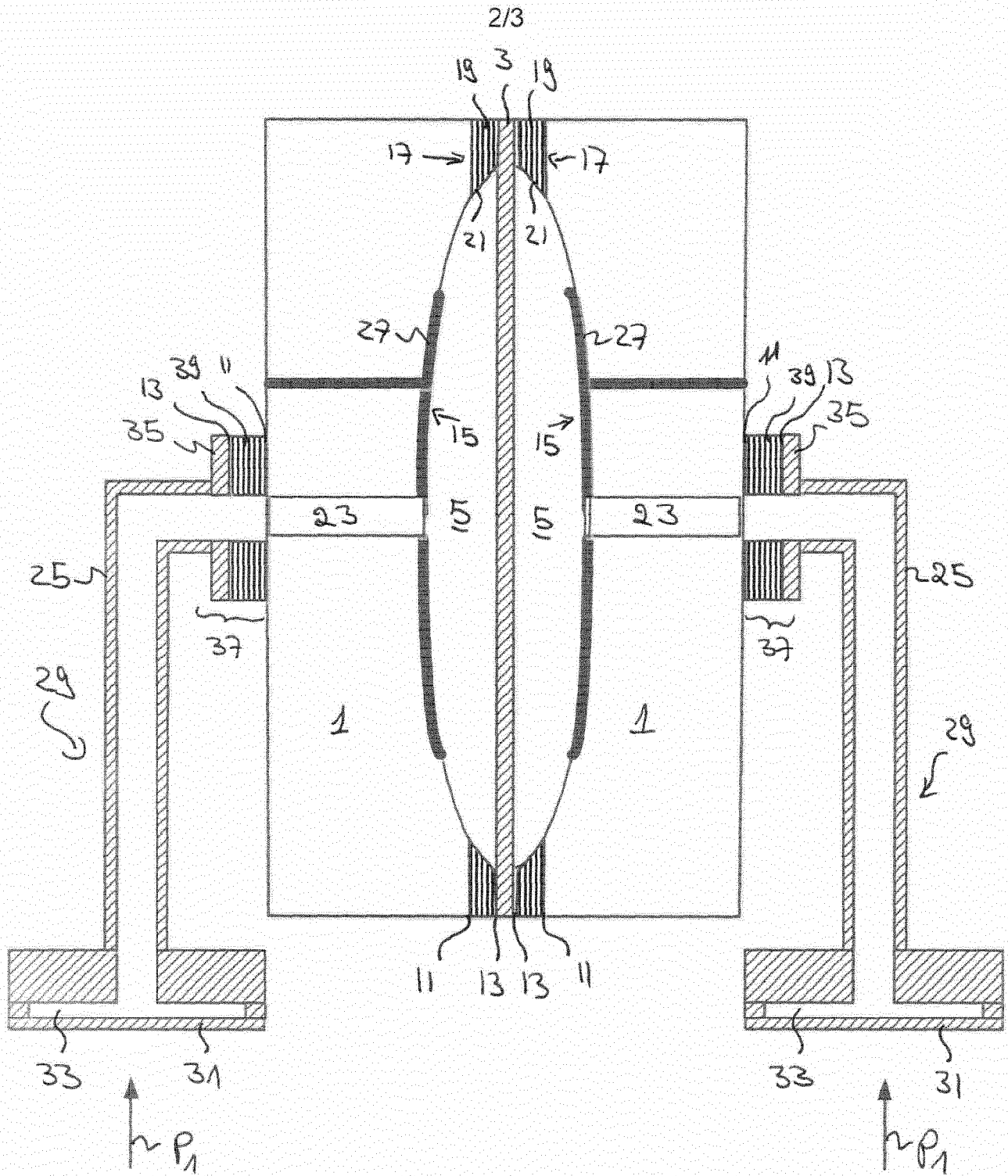


Fig. 3

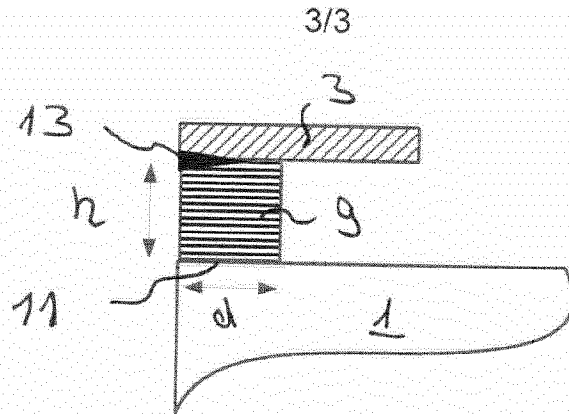


Fig. 2

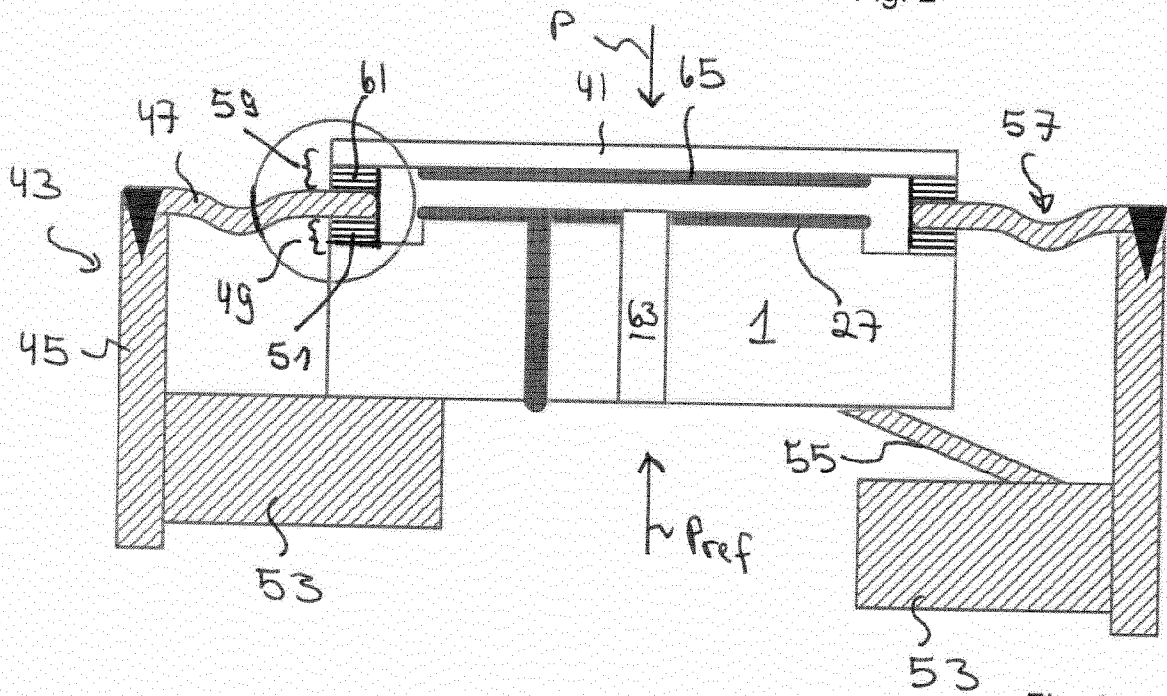


Fig. 4

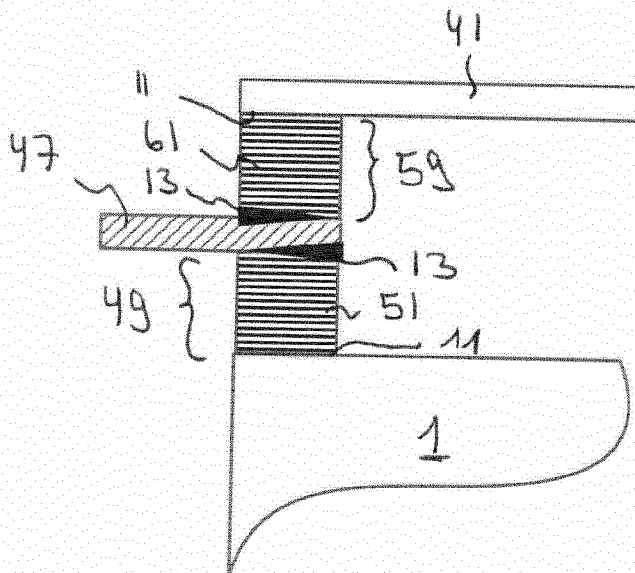


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/078599

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. C04B37/02 G01L9/00
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C04B G01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6 418 793 B1 (PECHOUX CHRISTOPHE [FR] ET AL) 16 July 2002 (2002-07-16) figure 2 -----	1-12,16, 17
Y	WO 2014/049119 A1 (UNIV DANMARKS TEKNISKE [DK]) 3 April 2014 (2014-04-03) claims 1,2 -----	1-12,16, 17
X	US 3 305 923 A (FRANTISEK ZIMMER) 28 February 1967 (1967-02-28) figure 5 -----	13
Y	US 2007/214865 A1 (NAKAE MAKOTO [JP] ET AL) 20 September 2007 (2007-09-20) figures 1-4 -----	1-12,16, 17

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
27 May 2015

Date of mailing of the international search report
12/06/2015

Name and mailing address of the ISA/
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer
Vytlacilová, Lenka

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/078599

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6418793	B1	16-07-2002	
		CA 2320867 A1	26-08-1999
		DE 69907423 D1	05-06-2003
		DE 69907423 T2	19-05-2004
		EP 1056997 A1	06-12-2000
		ES 2198889 T3	01-02-2004
		FR 2775075 A1	20-08-1999
		JP 2002504676 A	12-02-2002
		US 6418793 B1	16-07-2002
		WO 9942802 A1	26-08-1999

WO 2014049119	A1	03-04-2014	NONE

US 3305923	A	28-02-1967	NONE

US 2007214865	A1	20-09-2007	
		DE 102007011806 A1	08-11-2007
		JP 4706516 B2	22-06-2011
		JP 2007248219 A	27-09-2007
		US 2007214865 A1	20-09-2007

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. C04B37/02 G01L9/00
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 C04B G01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 6 418 793 B1 (PECHOUX CHRISTOPHE [FR] ET AL) 16. Juli 2002 (2002-07-16) Abbildung 2 -----	1-12,16, 17
Y	WO 2014/049119 A1 (UNIV DANMARKS TEKNISKE [DK]) 3. April 2014 (2014-04-03) Ansprüche 1,2 -----	1-12,16, 17
X	US 3 305 923 A (FRANTISEK ZIMMER) 28. Februar 1967 (1967-02-28) Abbildung 5 -----	13
Y	US 2007/214865 A1 (NAKAE MAKOTO [JP] ET AL) 20. September 2007 (2007-09-20) Abbildungen 1-4 -----	1-12,16, 17



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. Mai 2015

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

12/06/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Vytlacilová, Lenka

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/078599

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6418793	B1	16-07-2002	CA 2320867 A1 26-08-1999
			DE 69907423 D1 05-06-2003
			DE 69907423 T2 19-05-2004
			EP 1056997 A1 06-12-2000
			ES 2198889 T3 01-02-2004
			FR 2775075 A1 20-08-1999
			JP 2002504676 A 12-02-2002
			US 6418793 B1 16-07-2002
			WO 9942802 A1 26-08-1999

WO 2014049119	A1	03-04-2014	KEINE

US 3305923	A	28-02-1967	KEINE

US 2007214865	A1	20-09-2007	DE 102007011806 A1 08-11-2007
			JP 4706516 B2 22-06-2011
			JP 2007248219 A 27-09-2007
			US 2007214865 A1 20-09-2007
