



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 105 057.9**
(22) Anmeldetag: **01.04.2015**
(43) Offenlegungstag: **06.10.2016**

(51) Int Cl.: **G01L 9/12 (2006.01)**
G01L 19/00 (2006.01)

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

**Bad Säckingen, DE; Burgard, Martin, 79650
Schopfheim, DE; Ponath, Nils, 79539 Lörrach,
DE; Drewes, Ulfert, 79379 Müllheim, DE; Uehlin,
Thomas, 79650 Schopfheim, DE**

(74) Vertreter:
**Hahn, Christian, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 79576 Weil
am Rhein, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

(72) Erfinder:
**Kraus, Stefan, Dr., 85464 Finsing, DE; Hauptvogel,
Karl-Peter, Bartenheim, FR; Koch, Sascha, 79650
Schopfheim, DE; Roßberg, Andreas, Dr., 79713**

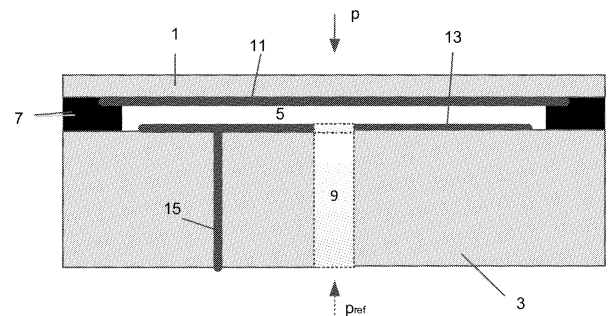
DE 10 2010 030 156 A1
DE 10 2013 106 045 A1
DE 10 2013 114 734 A1
DE 10 2013 114 741 A1
US 5 050 034 A

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Kapazitiver Drucksensor**

(57) Zusammenfassung: Es ist ein kapazitiver Drucksensor mit einer unter Einschluss einer Druckkammer (5) auf einem Grundkörper (3) angeordneten, mit einem Druck (p) beaufschlagbaren, druckabhängig elastisch verformbaren Messmembran (1), einer einen äußeren Rand der Messmembran (1) unter Einschluss der Druckkammer (5) mit einem äußeren Rand einer der Messmembran (1) zugewandten Stirnseite des Grundkörpers (3) verbindenden Aktivhartlötung (7), und einem kapazitiven elektromechanischen Wandler zur messtechnischen Erfassung einer vom zu messenden Druck (p) abhängigen Auslenkung der Messmembran (1), der mindestens einen durch eine auf einer dem Grundkörper (3) zugewandten Seite der Messmembran (1) angeordnete Membran-Elektrode (11) und eine auf einer der Messmembran (1) zugewandten Stirnseite des Grundkörpers (3) angeordnete Grundkörper-Elektrode (13) gebildeten Kondensator umfasst, beschrieben, der kostengünstiger, insb. mit geringer Varianz in hoher Qualität, herstellbar ist, und sich dadurch auszeichnet, dass die Membran-Elektrode (11) aus halbleitendem, dotiertem Tantaloxid, insb. halbleitendem, dotiertem Ditantalpentoxid (Ta_2O_5), besteht.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen kapazitiven Drucksensor, mit einer unter Einschluss einer Druckkammer auf einem Grundkörper angeordneten, mit einem Druck beaufschlagbaren, druckabhängig elastisch verformbaren Messmembran, einer einen äußeren Rand der Messmembran unter Einschluss der Druckkammer mit einem äußeren Rand einer der Messmembran zugewandten Stirnseite des Grundkörpers verbindenden Fügung, insb. einer Aktivhartlötung, und einem kapazitiven elektromechanischen Wandler zur messtechnischen Erfassung einer vom zu messenden Druck abhängigen Auslenkung der Messmembran, der mindestens einen durch eine auf einer dem Grundkörper zugewandten Seite der Messmembran angeordnete Membran-Elektrode und eine auf einer der Messmembran zugewandten Stirnseite des Grundkörpers angeordnete Grundkörper-Elektrode gebildeten Kondensator umfasst.

[0002] Kapazitive Drucksensoren können als Absolutdrucksensoren, als Relativdrucksensoren oder als Differenzdrucksensoren ausgebildet sein, und werden in der industriellen Messtechnik zur Messung von Drücken eingesetzt.

[0003] Dabei weisen kapazitive keramische Drucksensoren, bei denen zumindest die Messmembran aus Keramik besteht, den Vorteil auf, dass die keramische Messmembran unmittelbar dem Medium ausgesetzt werden kann, dessen Druck gemessen werden soll. Keramik weist insoweit für die Anwendung in der Druckmesstechnik besonders vorteilhafte chemische und mechanische Eigenschaften auf. Insb. sind Druckmittler, die den zu messenden Druck mittels einer Druck übertragenden Flüssigkeit auf den Drucksensor übertragen, nicht erforderlich.

[0004] In der EP 0 445 382 A2 ist ein kapazitiver keramischer Drucksensor beschrieben, mit

- einer unter Einschluss einer Druckkammer auf einem Grundkörper angeordneten, mit einem Druck beaufschlagbaren, druckabhängig elastisch verformbaren Messmembran,
- einer einen äußeren Rand der Messmembran unter Einschluss der Druckkammer mit einem äußeren Rand einer der Messmembran zugewandten Stirnseite des Grundkörpers verbindenden Aktivhartlötung, und
- einem kapazitiven elektromechanischen Wandler zur messtechnischen Erfassung einer vom zu messenden Druck abhängigen Auslenkung der Messmembran, der mindestens einen durch eine auf einer dem Grundkörper zugewandten Seite der Messmembran angeordnete Membran-Elektrode und eine auf einer der Messmembran zugewandten Stirnseite des Grundkörpers angeordnete Grundkörper-Elektrode gebildeten Kondensator umfasst.

[0005] Die Herstellung dieser Drucksensoren erfolgt, indem Messmembran und Grundkörper vorgefertigt werden, und die Membran-Elektrode auf die Messmembran und die Grundkörper-Elektrode auf den Grundkörper aufgebracht werden. Anschließend wird eine Lotschicht aus einem Aktivhartlot zwischen Messmembran und Grundkörper eingebracht, und die Anordnung unter Vakuum insgesamt auf eine oberhalb der Schmelztemperatur des Lots liegende Löttemperatur aufgeheizt.

[0006] In der EP 0 445 382 A2 DE ist beschrieben, auf den Elektroden eine Schutzschicht aus einem Oxid des Elektrodenmaterials aufzubringen, die verhindert, dass beim Aktivhartlöten aufschmelzendes Lot über die Elektroden fließt. Gemäß der EP 0 445 382 A2 DE werden hierzu vorzugsweise Elektroden aus Tantal verwendet, auf denen eine Schutzschicht aus Tantalpentoxid angeordnet ist.

[0007] Tantalpentoxid ist bekannt als Isolator mit sehr hoher Permittivität, und wird z.B. in Elektrolytkondensatoren, sowie in der Halbleiterindustrie als – häufig als high-k Dielektrikum bezeichnetes – hochwertiges Dielektrikum eingesetzt. Die in der EP 0 445 382 A2 DE beschriebene Schutzschicht aus Tantalpentoxid wird durch thermische oder anodische Oxidation der Tantal-Elektroden erzeugt wird.

[0008] Dabei stellen das Aufbringen der Elektroden und das Erzeugen der Oxidschicht auf den Elektroden zwei separate Verfahrensschritte dar, die in zwei verschiedenen Anlagen ausgeführt werden. Während das Aufbringen der Elektroden z.B. in einer Sputter-Anlage erfolgt, in der die Elektroden als Beschichtung auf Messmembran und Grundkörper aufgesputtert werden, erfolgt die thermische Oxidation in einem von der Sputter-Anlage getrennten Ofen. Dabei besteht die Gefahr, dass die Oberflächen der Elektroden beim Transport von der Sputter-Anlage zum Ofen durch Partikel, Fasern oder Berührung verschmutzen, was zu Ausschuss führt.

[0009] Die thermische Oxidation von Tantal-Elektroden ist ein zeitaufwendiges Verfahren, das regelmäßig mehrere Stunden, z. B. 4 bis 5 Stunden, in Anspruch nimmt. Dabei können sich neben dem gewünschten Ditantalpentoxid auch niederwertigere Tantaloxide bilden, was zu einer Varianz der Oxidschichten führt.

[0010] Dabei führen insb. bei der thermischen Oxidation entstehende niederwertige Oxide dazu, dass der Temperaturbereich, in dem die Tantaloxidschicht zuverlässig als Lotstopp einsetzbar ist, nach oben begrenzt ist. Um während der Aktivhartlötung von Messmembran und Grundkörper einen zuverlässigen Lotstopp zu gewährleisten ist folglich die Löttemperatur, bei der die Aktivhartlötung erfolgt, entsprechend nach oben zu begrenzen.

[0011] Darüber hinaus weisen die Tantalschicht und die darauf erzeugte Oxidschicht unterschiedliche thermischem Ausdehnungskoeffizienten, was bei einem Einsatz des Drucksensors in einem größerem Temperaturbereich zu thermomechanischen Spannungen führen kann, die sich auf die Druckempfindlichkeit der Messmembran auswirken können. In der DE 10 2013 106 045 A1 ist ein Drucksensor beschrieben, bei dem Lotstopp und Membran-Elektrode aus dem gleichen Werkstoffsystem präpariert werden. Hierzu wird eine Membran-Elektrode eingesetzt, die Titanoxid aufweist. Im Gegensatz zu Tantalexid ist Titanoxid leitfähig und kann somit als Elektrodenwerkstoff eingesetzt werden. Dabei wird vorzugsweise nichtstöchiometrisches Titanoxid eingesetzt, da letzteres eine höhere Leitfähigkeit aufweist als stöchiometrisches Titanoxid. Darüber hinaus ist in der DE 10 2013 106 045 A1 beschrieben, die Leitfähigkeit des Elektrodenmaterials durch eine Dotierung mit Cr, Nb oder W, zu erhöhen. Die Präparation der Membran-Elektrode erfolgt gemäß der DE 10 2013 106 045 A1 vorzugsweise durch reaktives Sputtern.

[0012] Es ist eine Aufgabe der Erfindung einen alternativ hierzu einsetzbaren kapazitiven Drucksensor anzugeben, der kostengünstig, und insb. mit geringerer Varianz in hoher Qualität hergestellt werden kann, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung anzugeben.

[0013] Hierzu umfasst die Erfindung einen Drucksensor, mit

- einer unter Einschluss einer Druckkammer auf einem Grundkörper angeordneten, mit einem Druck beaufschlagbaren, druckabhängig elastisch verformbaren Messmembran,
 - einer einen äußeren Rand der Messmembran unter Einschluss der Druckkammer mit einem äußeren Rand einer der Messmembran zugewandten Stirnseite des Grundkörpers verbindenden Fügung, insb. einer Aktivhartlötung, und
 - einem kapazitiven elektromechanischen Wandler zur messtechnischen Erfassung einer vom zu messenden Druck abhängigen Auslenkung der Messmembran, der mindestens einen durch eine auf einer dem Grundkörper zugewandten Seite der Messmembran angeordnete Membran-Elektrode und eine auf einer der Messmembran zugewandten Stirnseite des Grundkörpers angeordnete Grundkörper-Elektrode gebildeten Kondensator umfasst,
- der sich dadurch auszeichnet, dass die Membran-Elektrode aus halbleitendem, dotiertem Tantaloxid, insb. halbleitendem, dotiertem Ditantalpentoxid, besteht.

[0014] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung besteht die Grundkörper-Elektrode aus halbleitendem,

dotiertem Tantaloxid, insb. halbleitendem, dotiertem Ditantalpentoxid.

[0015] Eine Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Dotierung Titan (Ti) umfasst, wobei das dotierte Tantaloxid insb. dotiertes Ditantalpentoxid (Ta_2O_5) ist, bei dem ein Titananteil am Titan-Tantal-Metallgehalt des dotierten Ditantalpentoxids in der Größenordnung von 10 Mol. % liegt.

[0016] Eine bevorzugte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

- die halbleitende Membran-Elektrode eine von der Temperatur der Messmembran abhängige Impedanz aufweist, und
- eine Messschaltung vorgesehen ist, die die temperaturabhängige Impedanz, insb. deren ohmschen Anteil, oder eine von der temperaturabhängigen Impedanz abhängige Messgröße, insb. eine Zeitkonstante eines Lade- und/oder Entladevorgangs des durch die Membran-Elektrode und die Grundkörper-Elektrode gebildeten Kondensators oder eine von einer durch den Kondensator in einem Wechselstromkreis bewirkten Phasenverschiebung zwischen Wechselstrom und Wechselspannung abhängige Messgröße, insb. eine dielektrische Verlustleistung des Kondensators oder ein Tangens eines Verlustwinkels, oder eine Güte oder Dämpfung eines den Kondensator enthaltenden, insb. in Resonanz betriebenen, Schwingkreises, bestimmt.

[0017] Eine Weiterbildung der bevorzugten Weiterbildung sieht vor, dass die Messschaltung anhand der Impedanz oder der von der Impedanz abhängigen Messgröße eine Temperatur der Messmembran bestimmt, und insb. zur Kompensation eines temperaturabhängigen Messfehlers des Drucksensors zur Verfügung stellt oder verwendet.

[0018] Eine weitere Weiterbildung der bevorzugten Weiterbildung sieht vor, dass

- die Messschaltung anhand der Impedanz oder der von der Impedanz abhängigen Messgröße eine Temperatur der Messmembran bestimmt, und
- die Messschaltung bei der Bestimmung der Temperatur eine Kompensation einer Abhängigkeit der Impedanz von der druckabhängigen Verformung der Messmembran vornimmt.

[0019] Weiter umfasst die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Drucksensors, das sich dadurch auszeichnet, dass

- Grundkörper und Messmembran bereitgestellt werden,
- die Membran-Elektrode auf der dem Grundkörper zugewandten Seite der Messmembran aufgebracht wird, insb. durch Gasphasenabscheidung, insb. durch physikalische Gasphasenabscheidung, insb. durch Sputtern, insb. durch

Gleichstrom- oder Magnetron-Sputtern, aufgebracht wird,

- die Grundkörper-Elektrode auf der der Messmembran zugewandten Stirnseite des Grundkörpers aufgebracht wird, insb. durch Gasphasenabscheidung, insb. durch physikalische Gasphasenabscheidung, insb. durch Sputtern, insb. durch Gleichstrom- oder Magnetron-Sputtern, aufgebracht wird, und
- Grundkörper und Messmembran durch Aktivhartlötungen miteinander verbunden werden.

[0020] Gemäß einer Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt das Sputtern mittels eines aus halbleitendem, dotiertem Ditantalpentoxid, insb. mit Titan dotiertem Ditantalpentoxid, bestehenden Sputter-Targets.

[0021] Die Erfindung weist den Vorteil auf, dass die aus halbleitendem, dotiertem Tantaloxid, insb. dotiertem Ditantalpentoxid, bestehende Membran-Elektrode zugleich einen Lotstopp bildet, der während des Aktivhartlötens einem Einfließen von geschmolzenem Aktivhartlot in die Druckkammer des Drucksensors entgegen wirkt. Darüber hinaus können die Membran-Elektroden in einem einzigen Verfahrensschritt vergleichsweise schnell und kostengünstig mit geringer Varianz hergestellt werden. Da das dotierte Tantalpentoxid halbleitend ist, kann die Membran-Elektrode mittels Gleichstrom- oder Magnetron-Sputtern aufgebracht werden. Es wird somit keine Hochfrequenz-Sputteranlage benötigt, wie sie zum Sputtern von Isolatoren erforderlich ist. Durch Gleichstrom-, sowie durch Magnetron-Sputtern können dünne, im Wesentlichen porenfreie Schichten in reproduzierbar hoher Qualität hergestellt werden. Gleichstrom- und Magnetron-Sputtern weisen darüber hinaus den Vorteil auf, dass die Zusammensetzung der durch Sputtern erzeugten Schichten leichter zu kontrollieren ist, als beim reaktiven Sputtern.

[0022] Es ist kein separater Arbeitsgang zur Erzeugung einer Lotstopp-Schicht auf der Membran-Elektrode erforderlich. Entsprechend entfällt auch der dazu erforderliche Transport zwischen zwei Anlagen, und die damit verbundene Gefahr einer Verschmutzung.

[0023] Die Erfindung und deren Vorteile werden nun anhand der Figur der Zeichnung, in der ein Ausführungsbeispiel dargestellt ist, näher erläutert.

[0024] Fig. 1 zeigt: einen kapazitiven Drucksensor.

[0025] Fig. 1 zeigt einen Schnitt durch ein Ausführungsbeispiel eines Drucksensors. Dieser umfasst eine mit einem Druck p beaufschlagbare und druckabhängig elastisch verformbare Messmembran **1**, die auf einem Grundkörper **3** angeordnet ist. Die Messmembran **1** und vorzugsweise auch der Grundkörper **3** bestehen aus Keramik, z.B. aus Aluminiumoxid

(Al_2O_3), und sind miteinander unter Einschluss einer Druckkammer **5** druckdicht verbunden. Hierzu ist ein äußerer Rand einer dem Grundkörper **3** zugewandten Seite der Messmembran **1** unter Einschluss der Druckkammer **5** mittels einer Fügung **7**, vorzugsweise einer Aktivhartlötung, mit einem äußeren Rand einer der Messmembran **1** zugewandten Stirnseite des Grundkörpers **3** verbunden.

[0026] Der dargestellte Drucksensor kann als Absolutdrucksensor ausgebildet sein. In dem Fall ist die unter der Messmembran **1** eingeschlossene Druckkammer **5** evakuiert. Alternativ kann er als Relativedrucksensor ausgebildet werden, indem der Druckkammer **5** über eine durch den Grundkörper **3** hindurch führende, in Fig. 1 gestrichelt eingezeichnete Bohrung **9** ein Referenzdruck p_{ref} , z.B. ein Atmosphärendruck, zugeführt wird, bezogen auf den der auf die Messmembran **1** einwirkende Druck p erfasst werden soll.

[0027] Der Drucksensor umfasst einen elektromechanischen Wandler, der dazu dient, eine druckabhängige Verformung der Messmembran **1** messtechnisch zu erfassen. Dieser umfasst z.B. mindestens einen Kondensator mit einer sich in Abhängigkeit von der druckbedingten Auslenkung der Messmembran **1** verändernden Kapazität, der eine auf einer dem Grundkörper **3** zugewandten Seite der Messmembran **1** aufgebrachte Membran-Elektrode **11** und eine auf einer der Messmembran **1** zugewandten Stirnseite des Grundkörpers **3** aufgebrachte Grundkörper-Elektrode **13** aufweist. Die Membran-Elektrode **11** erstreckt sich über die dem Grundkörper **3** zugewandte Seite der Messmembran **1** bis zur Fügung **7**, und wird vorzugsweise über die vorzugsweise als Aktivhartlötung ausgebildete Fügung **7** elektrisch kontaktiert. Der elektrische Anschluss der Gegenelektrode **13** erfolgt vorzugsweise über einen in eine durch den Grundkörper **3** führende Bohrung eingesetzten Kontaktstift **15**, z.B. einen Tantalstift, der eine elektrisch leitfähige Verbindung zur Grundkörper-Elektrode **13** herstellt.

[0028] Die druckabhängige Kapazität dieses Kondensators bzw. deren Änderungen werden über eine an die Membran-Elektrode **11** und die Grundkörper-Elektrode **13** angeschlossene, hier nicht dargestellte Messschaltung erfasst und in ein druckabhängiges Messsignal umgewandelt, das dann zur Anzeige, zur weiteren Verarbeitung und/oder Auswertung zur Verfügung steht.

[0029] Erfindungsgemäß besteht die Membran-Elektrode **11** aus halbleitendem, dotiertem Tantaloxid, vorzugsweise aus halbleitendem, dotiertem Ditantalpentoxid (Ta_2O_5).

[0030] Als Dotierung eignet sich hierzu insb. eine Dotierung mit Titan (Ti). Hierzu eignet sich insb. ei-

ne Dotierung, bei der der Titananteil am Titan-Tantal-Metallgehalt des dotierten Ditantalpentoxids in der Größenordnung von etwa 10 Mol. % liegt.

[0031] Eine solche Dotierung ist in der US 3, 402,078 A beschrieben, wo sie zur Erzeugung einer porösen Kathode einer Brennstoffzelle verwendet wird. Zur Erzeugung der Kathoden ist dort ein Verfahren beschrieben, bei dem Titanoxid und Tantalpentoxid in einem dem gewünschten Titananteil entsprechenden Mischungsverhältnis gemischt, und in Ethanol gemahlen, getrocknet, geröstet und gesiebt werden, und hieraus mittels einer wasserbasierten Lösung eine streichbare Masse erzeugt wird, die dann am Einsatzort aufgetragen, getrocknet und anschließend gebrannt wird. Poröse Elektroden sind jedoch für den Einsatz in Drucksensoren ungeeignet, da poröse Elektroden in die Druckkammer **5** eindringende Feuchtigkeit aufnehmen, die dann zu Beeinträchtigungen der Messeigenschaften des Drucksensors führt.

[0032] Vorzugsweise besteht nicht nur die Membran-Elektrode **11**, sondern auch die Grundkörper-Elektrode **13** aus dem dotierten, halbleitenden Tantaloxid, vorzugsweise dem dotierten, halbleitenden Ditantalpentoxid (Ta_2O_5).

[0033] Dotiertes Ditantalpentoxid bietet den Vorteil, dass es aufgrund der Dotierung in ausreichendem Maße leitfähig ist, um als Elektrodenmaterial geeignet zu sein, und zugleich während der Aktivhartlötung von Messmembran **1** und Grundkörper **3** einen Lotstopp für das zur Aktivhartlötung verwendete Aktivhartlot bildet, der ein Einfließen des Aktivhartlots in die Druckkammer **5** während des Lötvorgangs verhindert.

[0034] Darüber hinaus bietet die halbleitende Membran-Elektrode **11** den Vorteil, dass sie als Halbleiter eine von der Temperatur abhängige Impedanz aufweist. Diese Temperaturabhängigkeit kann auf die in der noch unveröffentlichten Deutschen Patentanmeldung DE 10 2013 114 734.8 der Anmelderin vom 20.12.2013 beschriebene Weise dazu eingesetzt werden, die Temperatur der Messmembran **1** mittels einer entsprechenden Messschaltung zu bestimmen, die diese Messschaltung dann vorzugsweise zur Kompensation eines temperaturabhängigen Messfehlers des Drucksensors zur Verfügung stellt oder verwendet. Hierzu wird mittels einer hier nicht dargestellten Messschaltung die Impedanz der Membran-Elektrode **11**, insb. deren ohmscher Anteil, oder eine von der temperaturabhängigen Impedanz abhängige Messgröße bestimmt. Wie in der DE 10 2013 114 734.8 beschrieben, kann hierzu eine von der temperaturabhängigen Impedanz der Membran-Elektrode **11** abhängige Messgröße des durch die Membran-Elektrode **11** und die Grundkörper-Elektrode **13** gebildeten Kondensators mittels der

Messschaltung messtechnisch erfasst werden. Als Messgröße eignen sich insb. eine Zeitkonstante eines Lade- und/oder Entladevorgangs des Kondensators, oder eine von einer durch den Kondensator in einem Wechselstromkreis bewirkten Phasenverschiebung φ zwischen Wechselstrom und Wechselspannung abhängige Messgröße, wie zum Beispiel eine dielektrische Verlustleistung des Kondensators oder ein Tangens des Verlustwinkels δ , oder eine Güte oder Dämpfung eines den Kondensator enthaltenden, z.B. in Resonanz betriebenen, Schwingkreises. Dabei wird bei der Bestimmung der Temperatur der Messmembran **1** anhand der von der Impedanz abhängigen Messgröße vorzugsweise eine Kompensation einer Abhängigkeit der Impedanz von der druckabhängigen Verformung der Messmembran **1** vorgenommen, wobei die Verformung der Messmembran **1** über die Kapazität des Kondensators ermittelt werden kann.

[0035] Auch wenn die Erfindung vorliegend am Beispiel eines nur eine einzige Membran-Elektrode **11** und eine einzige Grundkörper-Elektrode **13** aufweisenden Drucksensors beschrieben ist, ist sie natürlich völlig analog auch in Verbindung mit kapazitiven Drucksensoren einsetzbar, die weitere Elektroden aufweisen. Ein Beispiel hierfür sind in der DE 10 2011 078 557 A1 beschriebene Drucksensoren, deren elektromechanische Wandler zwei Kondensatoren aufweisen, von denen einer durch die Membran-Elektrode und eine mittig auf der der Messmembran zugewandten Stirnseite des Grundkörpers angeordnete erste Grundkörper-Elektrode gebildet ist, und einer durch die Membran-Elektrode und eine die erste Grundkörper-Elektrode außenseitlich umgebende zweite Grundkörper-Elektrode gebildet ist.

[0036] Ebenso ist die Erfindung natürlich völlig analog auch in kapazitiven keramischen Differenzdrucksensoren einsetzbar, die mindestens eine unter Einschluss einer Druckkammer auf einem Grundkörper angeordnete mit einem Druck beaufschlagbare, druckabhängig elastisch verformbare Messmembran aufweisen, deren äußerer Rand unter Einschluss einer Druckkammer mit einem äußeren Rand einer der Messmembran zugewandten Stirnseite des Grundkörpers über eine Fügung, insb. eine Aktivhartlötung, verbunden ist, und die mindestens einen kapazitiven elektromechanischen Wandler aufweisen, der mindestens einen durch eine auf einer dem Grundkörper zugewandte Seite der Messmembran angeordnete Membran-Elektrode und eine auf einer der Messmembran zugewandten Stirnseite des Grundkörpers angeordnete Grundkörper-Elektrode gebildeten Kondensator umfasst.

[0037] Erfindungsgemäße Drucksensoren werden hergestellt, indem Messmembran **1** und Grundkörper **3** vorgefertigt werden, die Membran-Elektrode **11** auf die dem Grundkörper **3** zugewandte Seite der Mess-

membran **1** aufgebracht wird, und die Grundkörper-Elektrode **13** auf die der Messmembran **1** zugewandte Stirnseite des Grundkörpers **3** aufgebracht wird.

[0038] Das Aufbringen der Membran-Elektrode **11** und der Grundkörper-Elektrode **13** erfolgt vorzugsweise durch Gasphasenabscheidung, vorzugsweise durch physikalische Gasphasenabscheidung, insb. durch Sputtern. Hierzu wird vorzugsweise ein aus halbleitendem, dotiertem Ditantalpentoxid (Ta_2O_5) bestehendes Sputtertarget eingesetzt, das zum Beispiel mit Titan dotiert ist. Das Aufbringen der Membran-Elektrode **11** und der Grundkörper-Elektrode **13** erfolgt vorzugsweise mittels Gleichstrom- oder Magnetron-Sputtern. Durch Gleichstrom-, sowie durch Magnetron-Sputtern können dünne, im Wesentlichen porenfreie Schichten in reproduzierbar hoher Qualität hergestellt werden. Gleichstrom- und Magnetron-Sputtern weisen darüber hinaus den Vorteil auf, dass die Zusammensetzung der durch Sputtern erzeugten Schichten leichter zu kontrollieren ist, als das beim reaktiven Sputtern der Fall ist.

[0039] Beim Aufbringen der Membran-Elektrode **11** kann zugleich ein elektrischer Anschluss der Gegenelektrode **13** vorgesehen werden, indem der Kontaktstift **15**, z.B. ein Tantalstift, in die durch den Grundkörper **3** führende Bohrung eingesetzt wird, und eine elektrisch leitfähige Verbindung zur Grundkörper-Elektrode **13** herstellt.

[0040] Im Unterschied zu den eingangs genannten aus dem Stand der Technik bekannten mit einer durch thermischen Oxidation erzeugten Schutzschicht aus Ditantalpentoxid versehenen Tantal-Elektroden, ist zur Herstellung der erfindungsgemäßen Elektroden kein weiterer Arbeitsgang erforderlich. Der gesamte Herstellungsprozess der Elektroden erfolgt somit in einer einzigen Anlage. Entsprechend ist kein Transport der Bauteile von einer Anlage zur anderen erforderlich, bei dem die Oberflächen der Bauteile durch Partikel, Fasern oder Berührung verschmutzen könnten. Hierdurch wird Ausschuss vermieden. Darüber hinaus ist der Sputtervorgang ein vergleichsweise schnell ausführbarer Prozess, der in der Regel ca. 30 Minuten dauert. Im Vergleich dazu werden für eine thermische Oxidation von Tantal-Elektroden regelmäßig mehrere Stunden, z.B. 4 bis 5 Stunden, benötigt.

[0041] Nachfolgend werden Messmembran **1** und Grundkörper **3** unter Einschluss der Druckkammer **5** durch Aktivhartlöten druckdicht miteinander verbunden. Hierzu wird zwischen den durch die Fügung **7** zu verbindenden äußeren einander zugewandten Rändern von Grundkörper **3** und Messmembran **1** eine Lotschicht angeordnet. Die Lotschicht kann z.B. auf die in der EP 490 807 A1 beschriebene Weise als Lotpaste aufgetragen oder in Form eines vorgefertigten Lotformteils, z.B. eines Lotrings, eingebracht werden.

Hierdurch lassen sich Fügungen **7** mit einer Höhe von größer gleich $30\ \mu\text{m}$ herstellen. Eine geringere Mindesthöhe der Messmembran **1** und Grundkörper **3** verbindenden Fügung **7** und damit einhergehend ein zur Erzielung einer höheren Messgenauigkeit vorteilhafterer geringerer Elektrodenabstand kann gemäß einem in der DE 10 2010 043 119 A1 beschriebenen Verfahren erzielt werden, indem die Lotschicht mittels Gasphasenabscheidung auf eine der Fügeflächen oder anteilig auf beide Fügeflächen aufgebracht wird. Hierdurch können Fügungen **7** mit einer Höhe in der Größenordnung von $10\ \mu\text{m}$ hergestellt werden.

[0042] Nach dem Einbringen bzw. Aufbringen der Lotschicht wird die durch den Grundkörper **3**, die Lotschicht und die Messmembran **1** gebildete Anordnung insgesamt unter Vakuum auf eine oberhalb der Schmelztemperatur des Aktivhartlots liegende Löttemperatur aufgeheizt und dort über einen längeren Zeitraum, insb. einen Zeitraum von 5 min bis 15 min, gehalten. Alternativ kann ein in der DE 10 2011 005 665 A1 beschriebenes Aktivhartlötverfahren verwendet werden, bei dem die Lotschicht unter Vakuum durch Laserstrahlung vollständig aufgeschmolzen wird.

[0043] Während des Aktivhartlötens wirkt die an das Aktivhartlot angrenzende Membran-Elektrode **11** als Lotstopp, der einem Einfließen von geschmolzenem Aktivhartlot in die Druckkammer **5** entgegenwirkt. Dabei bietet die durch Gleichstrom- oder Magnetron-Sputtern erzielte präzise Einstellung der Zusammensetzung der Membran-Elektrode **11** den Vorteil, dass über die gezielte Einstellung der Zusammensetzung der Temperaturbereich, indem die Membran-Elektrode **11** einen wirksamen Lotstopp bildet, erhöht werden kann.

Bezugszeichenliste

1	Messmembran
3	Grundkörper
5	Druckkammer
7	Fügung
9	Bohrung
11	Membran-Elektrode
13	Grundkörper-Elektrode
15	Kontaktstift

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

- EP 0445382 A2 [0004, 0006, 0006, 0007]
- DE 102013106045 A1 [0011, 0011, 0011]
- US 3402078 A [0031]
- DE 102013114734 [0034, 0034]
- DE 102011078557 A1 [0035]
- EP 490807 A1 [0041]
- DE 102010043119 A1 [0041]
- DE 102011005665 A1 [0042]

Patentansprüche

1. Drucksensor, mit

- einer unter Einschluss einer Druckkammer (5) auf einem Grundkörper (3) angeordneten, mit einem Druck (p) beaufschlagbaren, druckabhängig elastisch verformbaren Messmembran (1),
- einer einen äußeren Rand der Messmembran (1) unter Einschluss der Druckkammer (5) mit einem äußeren Rand einer der Messmembran (1) zugewandten Stirnseite des Grundkörpers (3) verbindenden Fügung (7), insb. einer Aktivhartlötung, und
- einem kapazitiven elektromechanischen Wandler zur messtechnischen Erfassung einer vom zu messenden Druck (p) abhängigen Auslenkung der Messmembran (1), der mindestens einen durch eine auf einer dem Grundkörper (3) zugewandten Seite der Messmembran (1) angeordnete Membran-Elektrode (11) und eine auf einer der Messmembran (1) zugewandten Stirnseite des Grundkörpers (3) angeordnete Grundkörper-Elektrode (13) gebildeten Kondensator umfasst,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Membran-Elektrode (11) aus halbleitendem, dotiertem Tantaloxid, insb. halbleitendem, dotiertem Ditantalpentoxid (Ta_2O_5) besteht.

2. Drucksensor gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Grundkörper-Elektrode (13) aus halbleitendem, dotiertem Tantaloxid, insb. halbleitendem, dotiertem Ditantalpentoxid (Ta_2O_5) besteht.

3. Drucksensor gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dotierung Titan (Ti) umfasst, wobei das dotierte Tantaloxid insb. dotiertes Ditantalpentoxid (Ta_2O_5) ist, bei dem ein Titananteil am Titan-Tantal-Metallgehalt des dotierten Ditantalpentoxids in der Größenordnung von 10 Mol. % liegt.

4. Drucksensor gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die halbleitende Membran-Elektrode (11) eine von der Temperatur der Messmembran (1) abhängige Impedanz aufweist, und
- eine Messschaltung vorgesehen ist, die die temperatur-abhängige Impedanz, insb. deren ohmschen Anteil, oder eine von der temperatur-abhängigen Impedanz abhängige Messgröße, insb. eine Zeitkonstante eines Lade- und/oder Entladevorgangs des durch die Membran-Elektrode (11) und die Grundkörper-Elektrode (13) gebildeten Kondensators oder eine von einer durch den Kondensator in einem Wechselstromkreis bewirkten Phasenverschiebung (φ) zwischen Wechselstrom und Wechselspannung abhängige Messgröße, insb. eine dielektrische Verlustleistung des Kondensators oder ein Tangens eines Verlustwinkels (δ), oder eine Güte oder Dämpfung eines den Kondensator enthaltenden, insb. in Resonanz betriebenen, Schwingkreises, bestimmt.

5. Drucksensor gemäß Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messschaltung anhand der Impedanz oder der von der Impedanz abhängigen Messgröße eine Temperatur der Messmembran (1) bestimmt, und insb. zur Kompensation eines temperatur-abhängigen Messfehlers des Drucksensors zur Verfügung stellt oder verwendet.

6. Drucksensor gemäß Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die Messschaltung anhand der Impedanz oder der von der Impedanz abhängigen Messgröße eine Temperatur der Messmembran (1) bestimmt, und
- die Messschaltung bei der Bestimmung der Temperatur eine Kompensation einer Abhängigkeit der Impedanz von der druckabhängigen Verformung der Messmembran (1) vornimmt.

7. Verfahren zur Herstellung eines Drucksensor gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- Grundkörper (3) und Messmembran (1) bereitgestellt werden,
- die Membran-Elektrode (11) auf der dem Grundkörper (3) zugewandten Seite der Messmembran (1) aufgebracht wird, insb. durch Gasphasenabscheidung, insb. durch physikalische Gasphasenabscheidung, insb. durch Sputtern, insb. durch Gleichstrom- oder Magnetron-Sputtern, aufgebracht wird,
- die Grundkörper-Elektrode (13) auf der der Messmembran (1) zugewandten Stirnseite des Grundkörpers (3) aufgebracht wird, insb. durch Gasphasenabscheidung, insb. durch physikalische Gasphasenabscheidung, insb. durch Sputtern, insb. durch Gleichstrom- oder Magnetron-Sputtern, aufgebracht wird, und
- Grundkörper (3) und Messmembran (1) durch Aktivhartlötungen miteinander verbunden werden.

8. Verfahren gemäß Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Sputtern mittels eines aus halbleitendem, dotiertem Ditantalpentoxid (Ta_2O_5), insb. mit Titan (Ti) dotiertem Ditantalpentoxid (Ta_2O_5), bestehenden Sputter-Targets erfolgt.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

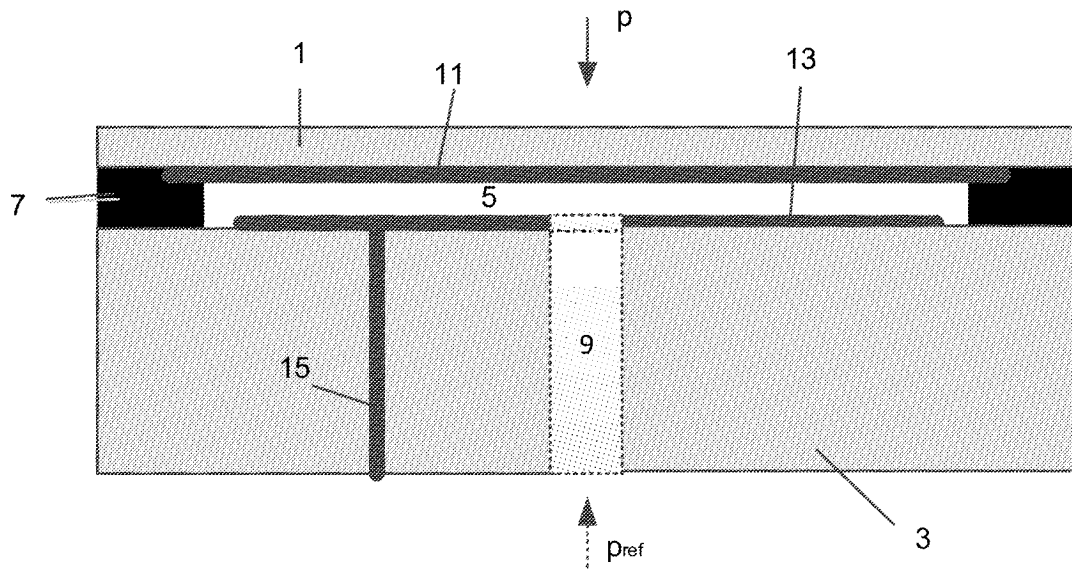


Fig. 1