



(10) **DE 10 2016 105 001 A1** 2017.09.21

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 105 001.6**

(22) Anmeldetag: **17.03.2016**

(43) Offenlegungstag: **21.09.2017**

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

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

(72) Erfinder:
**Ponath, Nils, 79539 Lörrach, DE; Uehlin, Thomas,
79650 Schopfheim, DE**

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

(56) Ermittelte Stand der Technik:

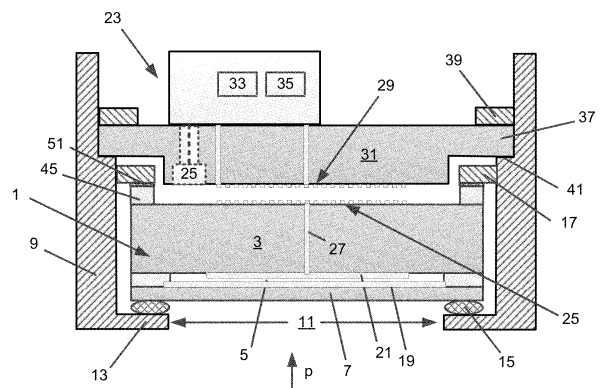
DE	102 58 845	A1
DE	10 2013 114 734	A1
US	2010 / 0 327 883	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Druckmesseinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Es ist eine in einem großen Temperaturbereich einsetzbare Druckmesseinrichtung mit einem keramischen Drucksensor (1), der einen Grundkörper (3) und eine unter Einschluss einer Druckkammer (5) auf dem Grundkörper (3) angeordnete, in Abhängigkeit von einem darauf einwirkenden zu messenden Druck (p) verformbare Messmembran (7) aus Keramik umfasst, der einen eine auf der Messmembran (7) angeordnete Elektrode (19) und eine auf dem Grundkörper (3) angeordnete Gegenelektrode (21) umfassenden Kondensator (C) aufweist, und dessen Elektrode (19) aus einem eine temperaturabhängige Impedanz aufweisenden Material besteht, beschrieben, der sich dadurch auszeichnet, dass ein induktiv zu Schwingungen anregbarer elektrischer Schwingkreis vorgesehen ist, der den Kondensator und eine als elektrisch leitfähige Beschichtung auf eine Oberfläche des Drucksensors (1) aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte Sensorinduktivität (L_S) umfasst, und eine induktiv an den Schwingkreis gekoppelte Messeinrichtung (23) vorgesehen ist, die im Messbetrieb eine von der Impedanz der Elektrode (19) abhängige Eigenschaft des Schwingkreises bestimmt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Druckmesseinrichtung, mit einem keramischen Drucksensor, der einen Grundkörper und eine unter Einschluss einer Druckkammer auf dem Grundkörper angeordnete, in Abhängigkeit von einem darauf einwirkenden zu messenden Druck verformbare Messmembran aus Keramik umfasst, der einen eine auf der Messmembran angeordnete Elektrode und eine auf dem Grundkörper angeordnete Gegenelektrode umfassenden Kondensator aufweist, und dessen Elektrode aus einem eine temperaturabhängige Impedanz aufweisenden Material besteht.

[0002] Mit Drucksensoren ausgestattete Druckmesseinrichtungen werden in der Druckmesstechnik zur messtechnischen Erfassung von Drücken eingesetzt.

[0003] In Druckmesseinrichtungen können z. B. als Halbleiter-Chips ausgebildete kapazitive mikroelektromechanische Drucksensoren eingesetzt werden, wie sie z. B. in der WO 03/106952 A2 beschrieben sind. Diese Drucksensoren umfassen einen Grundkörper und eine unter Einschluss einer Druckkammer auf dem Grundkörper angeordnete, in Abhängigkeit von einem darauf einwirkenden zu messenden Druck verformbare Messmembran. Die Messmembran besteht aus Silizium und weist auf deren dem Grundkörper zugewandten Seite eine leitfähige Schicht auf, die zusammen mit einer auf dem auf dem Grundkörper angeordneten, starren Gegenelektrode einen Kondensator bildet, dessen Kapazität sich in Abhängigkeit von einer druckabhängigen Durchbiegung der Messmembran verändert.

[0004] Der Grundkörper der in der WO 03/106952 A2 beschriebenen Druckmesseinrichtung umfasst eine Induktivität, die mit der auf der Messmembran angeordneten leitfähigen Schicht und der starren Gegenelektrode verbunden ist. Hierzu ist der Grundkörper als mehrlagiges Substrat ausgebildet, das durch Isolationsschichten isolierte spiralförmige Leiterbahnen umfasst. Induktivität und Messkondensator bilden einen Schwingkreis, dessen vom zu messenden Druck abhängige Resonanzfrequenz drahtlos über ein eingekoppeltes elektromagnetisches Feld bestimmt werden kann.

[0005] Als Halbleiter-Chips ausgebildete kapazitive mikroelektromechanische Drucksensoren sind jedoch nicht hitzebeständig und dürfen deshalb nur einem vergleichsweise geringen Temperaturbereich ausgesetzt werden. Darüber hinaus dürfen sie aufgrund deren mechanisch sehr empfindlichen Messmembran nicht unmittelbar einem unter dem zu messenden Druck stehenden Medium ausgesetzt werden. Stattdessen wird der zu messende Druck der Messmembran über vorgeschaltete mit einer Druck

übertragenden Flüssigkeit gefüllte Druckmittler zugeführt.

[0006] Dementsprechend weisen Druckmesseinrichtungen mit kapazitiven mikroelektromechanischen Drucksensoren einen temperaturabhängigen Messfehler auf, der sich zusammensetzt aus einem temperaturabhängigen Messfehler des Drucksensors und einem durch das temperaturabhängige Druckübertragungsverhalten des Druckmittlers bedingten Messfehler.

[0007] Diese Nachteile können zumindest teilweise vermieden werden, indem keramische Drucksensoren eingesetzt werden, deren Messmembran und vorzugsweise auch deren Grundkörper aus Keramik bestehen. Keramische Drucksensoren sind in hohem Maße temperaturbeständig. Darüber hinaus können sie aufgrund der chemischen und mechanischen Beständigkeit von Keramik unmittelbar einem unter dem zu messenden Druck stehenden Medium ausgesetzt werden. Hierzu werden sie regelmäßig derart in ein Gehäuse eingespannt, dass deren Messmembran über eine Öffnung im Gehäuse unmittelbar einem unter dem zu messenden Druck stehenden Medium ausgesetzt ist.

[0008] Eine solche Druckmesseinrichtung mit einem mittels einer auf einen äußeren Rand des Drucksensors einwirkenden Einspannvorrichtung in einem Gehäuse eingespannten keramischen Drucksensor ist z. B. in der EP 0 995 979 A1 beschrieben. Keramische Drucksensoren sind relativ unempfindlich gegenüber in axialer Richtung, also senkrecht zur Messmembran, auf deren äußeren Rand einwirkenden Spannungen. Demgegenüber können sich jedoch durch die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Gehäuse und Sensor verursachte in radialer Richtung wirkende Spannungen auf die Druckempfindlichkeit der Messmembran auswirken, was wiederum zu einem temperaturabhängigen Messfehler führt. Dem wird bei der in der EP 0 995 979 A1 beschriebenen Druckmesseinrichtung entgegen gewirkt, indem auf einem äußeren Rand einer von der Messmembran abgewandte Rückseite des Grundkörpers ein vorzugsweise aus Keramik bestehender, in axialer Richtung eingespannter Entkopplungsring vorgesehen ist, der dazu dient durch thermomechanische Spannungen verursachte temperaturabhängige Hysterese-Effekte zu vermeiden.

[0009] Darüber hinaus ist es bekannt Druckmesseinrichtungen mit keramischen Drucksensoren mit einem Temperatursensor auszustatten, um einen verbleibenden temperaturabhängigen Messfehler anhand der hiermit gemessenen Temperatur zu kompensieren. Hierzu ist in der DE 10 2013 114 734 A1 eine Druckmesseinrichtung beschrieben, mit

- einem keramischen Drucksensor,
- der einen Grundkörper und eine unter Einschluss einer Druckkammer auf dem Grundkörper angeordnete, in Abhängigkeit von einem darauf einwirkenden zu messenden Druck verformbare Messmembran aus Keramik umfasst,
- der einen eine auf der Messmembran angeordnete Elektrode und eine auf dem Grundkörper angeordnete Gegenelektrode umfassenden Kondensator aufweist, und
- dessen Elektrode aus einem eine temperaturabhängige Impedanz aufweisenden Material besteht.

[0010] Bei dieser Druckmesseinrichtung wird die Temperatur im Bereich der Messmembran mittels einer an den Kondensator angeschlossenen Messeinrichtung bestimmt. Hierzu kann die Messeinrichtung eine Teilschaltung umfassen, die zusammen mit dem Kondensator einen Schwingkreis bildet. In dem Fall ist die Messeinrichtung derart ausgebildet, dass sie eine von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode abhängige Eigenschaft des Schwingkreises bestimmt.

[0011] Diese Druckmesseinrichtung bietet gegenüber Druckmesseinrichtungen mit in deren Messelektronik integriertem Temperatursensor den Vorteil, dass über die temperaturabhängige Impedanz der Elektrode erstmals möglich ist, die Temperatur in der unmittelbaren Umgebung der Messmembran zu messen. Da sich die Temperatur der Elektrode aufgrund der geringen Membranstärke der Messmembran sehr schnell an die Temperatur des in Kontakt mit der Messmembran stehenden Mediums anpasst, können mit dieser Messeinrichtung auch dann noch zuverlässige Kompensationen von temperaturabhängigen Messfehlern vorgenommen werden, wenn sich die Temperatur des Medium sehr schnell oder sogar sprunghaft ändert.

[0012] Bei kapazitiven keramischen Drucksensoren besteht das Problem, dass für die Kapazitätsmessungen aufgrund der Störempfindlichkeit unverstärkter Kapazitätsmesssignale regelmäßig eine in unmittelbarer Nähe des Kondensators angeordnete Vorortelektronik erforderlich ist, die in der Regel über durch Lötungen zu verbindende Anschlüsse oder Anschlussleitungen an den Kondensator angeschlossen werden muss.

[0013] Analog muss natürlich auch die in der DE 10 2013 114 734 A1 beschriebene Teilschaltung an den Kondensator angeschlossen werden. Auch hierfür sind durch Lötungen zu verbindende Anschlüsse oder Anschlussleitungen erforderlich.

[0014] Der Temperaturbereich, indem Lötungen zuverlässige elektrische und mechanische Verbindungen bewirken ist abhängig von der Schmelztempera-

tur des verwendeten Lots und somit regelmäßig deutlich geringer, als der Temperaturbereich, indem keramische Drucksensoren ansonsten ohne weiteres eingesetzt werden könnten.

[0015] Es ist eine Aufgabe der Erfindung eine Druckmesseinrichtung mit einem keramischen Drucksensor anzugeben, die in einem großen Temperaturbereich einsetzbar ist.

[0016] Hierzu umfasst die Erfindung eine Druckmesseinrichtung, mit

- einem keramischen Drucksensor,
- der einen Grundkörper und eine unter Einschluss einer Druckkammer auf dem Grundkörper angeordnete, in Abhängigkeit von einem darauf einwirkenden zu messenden Druck verformbare Messmembran aus Keramik umfasst,
- der einen eine auf der Messmembran angeordnete Elektrode und eine auf dem Grundkörper angeordnete Gegenelektrode umfassenden Kondensator aufweist, und
- dessen Elektrode aus einem eine temperaturabhängige Impedanz aufweisenden Material besteht, die sich dadurch auszeichnet, dass
 - ein induktiv zu Schwingungen anregbarer elektrischer Schwingkreis vorgesehen ist, der den Kondensator und eine als elektrisch leitfähige Beschichtung auf eine Oberfläche des Drucksensors aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte Sensorinduktivität umfasst, und
 - eine induktiv an den Schwingkreis gekoppelte Messeinrichtung vorgesehen ist, die im Messbetrieb eine von der Impedanz der Elektrode abhängige Eigenschaft des Schwingkreises bestimmt.

[0017] Eine erste Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass die von der Impedanz der Elektrode abhängige Eigenschaft eine Breite eines Resonanzpeaks einer von der Messeinrichtung in Abhängigkeit von der Schwingungsfrequenz bestimmten Schwingungsamplitude des Schwingkreises ist.

[0018] Eine Weiterbildung der erfindungsgemäßen Druckmesseinrichtung oder der ersten Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass die Messeinrichtung

- eine induktiv an die Sensorinduktivität gekoppelte Messinduktivität umfasst,
- eine an die Messinduktivität angeschlossene Erregereinrichtung umfasst, die im Messbetrieb ein Erregersignal, insb. eine Wechselspannung mit zeitlich veränderlicher Frequenz erzeugt, durch das der Schwingkreis über die induktive Kopplung zu Schwingungen angeregt wird, und
- eine an die Messinduktivität und an die Erregereinrichtung angeschlossene Messelektronik um-

fasst, die anhand eines im Messbetrieb über die Messinduktivität fließenden Messsignals die von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode abhängige Messgröße bestimmt.

[0019] Eine zweite Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

- die Messeinrichtung eine induktiv an die Sensorinduktivität gekoppelte Messinduktivität umfasst, und
- die Messinduktivität eine auf einer von der Messmembran abgewandten Seite des Grundkörpers angeordnete dreidimensionale Messspule, insb. eine Luftspule, oder eine auf einer dem Grundkörper zugewandten Stirnseite eines Trägers aus einem Isolator aufgebrachte Planarspule umfasst.

[0020] Eine dritte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

- der Kondensator eine von der druckabhängigen Verformung der Messmembran abhängige Kapazität aufweist,
- der Schwingkreis eine von der Kapazität des Kondensators und der Sensorinduktivität abhängige Resonanzfrequenz aufweist, und
- die Messeinrichtung die von der Kapazität des Kondensators abhängige Resonanzfrequenz des Schwingkreises bestimmt und einem zu messenden Druck zuordnet, wobei die Messeinrichtung insb. derart ausgebildet ist, dass sie anhand der von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode abhängigen Eigenschaft des Schwingkreises eine Kompensation eines temperaturabhängigen Messfehlers des anhand der Resonanzfrequenz bestimmten zu messenden Drucks vornimmt.

[0021] Eine Weiterbildung der dritten Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

- ein auf eine von der Messmembran abgewandte Rückseite des Grundkörpers ausgerichteter Infrarot-Temperatursensor, insb. ein auf einem in ein Gehäuse der Druckmesseinrichtung eingesetzten Träger montierter Infrarot-Temperatursensor, vorgesehen ist,
- wobei die Messeinrichtung insb. derart ausgebildet ist, dass sie anhand der von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode abhängigen Eigenschaft und einer mit dem Infrarot-Temperatursensor gemessenen Grundkörpertemperatur eine Kompensation eines temperaturabhängigen Messfehlers des anhand der Resonanzfrequenz bestimmten zu messenden Drucks vornimmt.

[0022] Eine vierte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass die Sensorinduktivität eine auf eine von der Messmembran abgewandte Rückseite des Grundkörpers aufgebrachte Planarspule umfasst.

[0023] Eine fünfte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

- die Sensorinduktivität über eine elektrisch leitfähige Verbindung, insb. eine sich beim Aufbringen Sensorinduktivität ausbildende elektrische leitfähige Verbindung, mit einem durch den Grundkörper hindurch verlaufenden Kontaktstift verbunden ist, und
- der Kontaktstift über eine elektrisch leitfähige Verbindung, insb. eine sich beim Aufbringen Gegenelektrode ausbildende elektrische leitfähige Verbindung, mit der Gegenelektrode verbunden ist.

[0024] Eine sechste Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass der Schwingkreis eine seriell mit der Sensorinduktivität verbundene Zusatzinduktivität, insb. eine dreidimensionale, auf eine Mantelfläche eines auf der von der Messmembran abgewandten Rückseite des Grundkörpers angeordneten Isolators, insb. eines Entkopplungsrings, aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte, dreidimensionale Spule, umfasst.

[0025] Eine Weiterbildung der sechsten Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass der Isolator mit einem Element, insb. einem Ferrit-Ring, aus einem Material mit hoher Permeabilität ausgestattet ist.

[0026] Eine weitere Weiterbildung der sechsten Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

- die Sensorinduktivität mit einer auf der von der Messmembran abgewandten Rückseite des Grundkörpers aufgebrachten elektrisch leitfähigen Beschichtung, insb. einer durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachten elektrisch leitfähigen Beschichtung, verbunden ist,
- die Zusatzinduktivität mit einer auf eine dem Grundkörper zugewandte Stirnseite des Isolators aufgebrachten Beschichtung, insb. einer durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachten elektrisch leitfähigen Beschichtung, verbunden ist, und
- die auf den Grundkörper aufgebrachte Beschichtung in elektrisch leitendem Kontakt zu der auf den Isolator aufgebrachten Beschichtung steht.

[0027] Eine weitere Weiterbildung der Erfindung oder der sechsten Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass

- der Drucksensor mittels einer Einspannvorrichtung in einem Gehäuse eingespannt ist,
- wobei die Einspannvorrichtung insb. derart ausgebildet ist, dass sie eine Einspannung, insb. elastische Einspannung, eines äußeren Randes des Drucksensors oder eines äußeren Randes

des Drucksensors und eines auf dessen von der Messmembran abgewandten Rückseite angeordneten Entkopplungsring, insb. eines mit der Zusatzinduktivität ausgestatteten Isolators, bewirkt.

[0028] Eine Weiterbildung einer Druckmesseinrichtung gemäß der beiden letztgenannten Weiterbildungen zeichnet sich dadurch aus, dass

- die mit der Sensorinduktivität verbundene Beschichtung und die mit der Zusatzinduktivität verbundene Beschichtung aufeinander aufliegen, und
- die Einspannvorrichtung einen Einspanndruck auf die aufeinander aufliegenden Beschichtungen ausübt.

[0029] Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindungen zeichnen sich dadurch aus, dass

- Sensorinduktivität aus einem elektrisch leitfähigen Material, insb. aus Titan oder Tantal, besteht,
- die Elektrode aus einem halbleitenden Werkstoff, insb. aus einem halbleitenden Metalloxid, insb. aus Titanoxid oder dotiertem Titanoxid, insb. mit Niob oder Wolfram dotiertem Titanoxid, insb. aus einem durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachtten halbleitenden Werkstoff besteht, und/oder
- Elektrode und Gegenelektrode aus dem gleichen Material bestehen oder die Gegenelektrode aus einem leitfähigen Metall, insb. Titan oder Tantal, besteht.

[0030] Eine weitere Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass die Messeinrichtung Bestandteil eines Messmoduls ist, das mittels einer lösbaren mechanischen Befestigungsvorrichtung an einem auf der von der Messmembran abgewandten Seite des Drucksensors befindlichen Ort befestigbar ist.

[0031] Die Erfindung bietet den Vorteil, dass die Temperatur drahtlos mittels der induktiv an den Schwingkreis angekoppelten Messeinrichtung bestimmt werden kann. Wird zur Temperaturmessung ein Kondensator mit druckabhängiger Kapazität eingesetzt, so bietet die Erfindung darüber hinaus den Vorteil, dass auch der zu messende Druck drahtlos mittels der induktiv an den Schwingkreis angekoppelten Messeinrichtung bestimmt werden kann. Dabei sind weder zur Messung der Temperatur noch zur Messung der Kapazität durch Lötungen mit dem Kondensator zu verbindende Anschlüsse oder Anschlussleitungen erforderlich. Die Druckmesseinrichtung kann somit in einem deutlich größeren Temperaturbereich eingesetzt werden.

[0032] Darüber hinaus bietet die Erfindung aufgrund der induktiven Messgrößenerfassung den Vorteil, dass die Messeinrichtung bei Bedarf ausgetauscht werden kann, ohne dass der Drucksensor hierzu aus seiner Einspannung gelöst werden muss. Da sich die

Einspannverhältnisse des Drucksensors hierbei nicht ändern, kann die Druckmesseinrichtung nach einem Austausch der Messeinrichtung wieder in Betrieb genommen werden, ohne dass eine Neukalibration zur Bestimmung der von der Einspannung abhängigen Abhängigkeiten des zu messenden Druck von der Resonanzfrequenz erforderlich ist.

[0033] Die Erfindung und deren Vorteile werden nun anhand der Figuren der Zeichnung, in denen zwei Ausführungsbeispiele dargestellt sind, näher erläutert. Gleiche Elemente sind in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0034] Fig. 1 zeigt: eine erfindungsgemäße Druckmesseinrichtung;

[0035] Fig. 2 zeigt: eine Draufsicht auf eine von der Messmembran abgewandte Rückseite des Drucksensors von Fig. 1;

[0036] Fig. 3 zeigt: ein elektrisches Ersatzschaltbild der Druckmesseinrichtung von Fig. 1;

[0037] Fig. 4 zeigt: eine Schwingungsamplitude des Schwingkreises als Funktion der Frequenz;

[0038] Fig. 5 zeigt: eine Druckmesseinrichtung mit einer auf dem Drucksensor angeordnete Sensorinduktivität und einer seriell damit verbundenen Zusatzinduktivität; und

[0039] Fig. 6 zeigt: eine Draufsicht auf eine vom der Messmembran abgewandte Rückseite des Drucksensors von Fig. 5.

[0040] Um Komponenten sehr unterschiedlicher Baugröße darstellen zu können, wurde in allen Figuren eine nicht maßstabgetreue Darstellung gewählt.

[0041] Fig. 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Druckmesseinrichtung. Die Druckmesseinrichtung umfasst einen keramischen Drucksensor **1** mit einem Grundkörper **3** und einer unter Einschluss einer Druckkammer **5** auf dem Grundkörper **3** angeordneten, in Abhängigkeit von einem darauf einwirkenden zu messenden Druck p verformbare Messmembran **7**. Die Messmembran **7** besteht aus Keramik, z. B. aus Aluminiumoxid (Al_2O_3). Vorzugsweise besteht auch der Grundkörper **3** aus Keramik, z. B. aus Aluminiumoxid (Al_2O_3).

[0042] Der Drucksensor **1** kann unmittelbar einem Medium ausgesetzt werden, dessen Druck gemessen werden soll. Hierzu kann der Drucksensor **1** z. B. auf die in Fig. 1 dargestellte Weise mittels einer Einspannvorrichtung in einem Gehäuse **9** eingespannt werden, das eine Öffnung **11** aufweist, über die eine Außenseite der Messmembran **7** mit dem zu messenden Druck p beaufschlagbar ist. Die Einspann-

vorrichtung ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass sie eine elastische Einspannung eines äußeren Randes des Drucksensors **1** bewirkt. Als Einspannvorrichtung eignet sich z. B. eine die Öffnung **11** außen-seitlich umgebende Schulter **13** des Gehäuses **9**, auf der ein äußerer Rand der Messmembran **7** unter Zwischenfügung einer Dichtung **15** aufliegt und ein in das Gehäuse **9** eingesetzter Druckring **17**, der den Drucksensor **1** gegen die Schulter **13** drückt. Alternativ können Drucksensoren **1** erfindungsgemäßer Druckmessenrichtungen natürlich auch auf andere Weise als mittels der hier beschriebenen Einspannvorrichtung an einem Einsatzort montiert und mit dem zu messenden Druck p beaufschlagt werden.

[0043] Der Drucksensor **1** kann, wie hier dargestellt, als Absolutdrucksensor, ausgebildet sein. In dem Fall ist die unter der Messmembran **7** eingeschlossene Druckkammer **5** evakuiert. Alternativ kann er als Relativ- oder Differenzdrucksensor ausgebildet sein, indem der Druckkammer **5** über eine durch den Grundkörper **3** hindurch verlaufende – hier nicht darstellte – Druckzuleitung ein Referenzdruck p_{ref} , z. B. ein Umgebungsdruck, oder ein zweiter Druck zugeführt wird.

[0044] Der Drucksensor **1** umfasst einen Kondensator C der eine auf der Messmembran **7** angeordnete Elektrode **19** und eine auf einer der Messmembran **7** zugewandten Stirnseite des Grundkörpers **3** angeordnete Gegenelektrode **21**. Die Elektrode **19** besteht aus einem Material, das eine temperaturabhängige Impedanz aufweist. Hierzu eignen sich insb. halbleitende Werkstoffe, insb. halbleitende Metalloxide, wie z. B. Titanoxid oder dotiertes Titanoxid, z. B. mit Niob (N) oder Wolfram (W) dotiertes Titanoxid.

[0045] Elektrode **19** und Gegenelektrode **21** sind vorzugsweise als Beschichtungen ausgebildet, die z. B. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, vorzugsweise durch Sputtern, auf die dem Grundkörper **3** zugewandte Innenseite der Messmembran **7** bzw. die der Messmembran **7** zugewandten Stirnseite des Grundkörpers **3** aufgebracht wurden.

[0046] Erfindungsgemäße Druckmessenrichtungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie einen induktiv zu Schwingungen anregbaren elektrischen Schwingkreis umfassen, der den Kondensator C und eine als elektrisch leitfähige Beschichtung auf eine Oberfläche des Drucksensors **1** aufgebrachte aufbrachte Sensorinduktivität L_S umfasst. Erfindungsgemäß umfassen sie weiterhin eine induktiv an den Schwingkreis gekoppelte Messeinrichtung **23**, die im Messbetrieb eine von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode **19** abhängige Eigenschaft des Schwingkreises bestimmt.

[0047] Bei dem in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst die Sensorinduktivität L_S eine auf eine von der Messmembran **7** abgewandte Rücksei-

te des Grundkörpers **3** aufgebrachte Planarspule **25**. **Fig. 2** zeigt hierzu eine Draufsicht auf die Rückseite des Grundkörpers **3** von **Fig. 1**. Dort ist die Planarspule **25** als Spirale ausgebildet.

[0048] Die Sensorinduktivität L_S besteht vorzugsweise aus einem elektrisch leitfähigen Material, wie zum Beispiel Titan oder Tantal, und wird vorzugsweise durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, vorzugsweise durch Sputtern, auf die Rückseite des Grundkörpers **3** aufgebracht.

[0049] Der elektrische Anschluss der Sensorinduktivität L_S an den Kondensator C erfolgt vorzugsweise über einen elektrisch leitfähigen, durch den Grundkörper **3** hindurch zur Gegenelektrode **21** verlaufenden Kontaktstift **27**, z. B. einen Tantalstift oder einen Titanstift. Dabei wird bei der Herstellung des Drucksensors **1** vorzugsweise derart verfahren, dass der Kontaktstift **27** in eine Bohrung im Grundkörper **3** eingesetzt wird. Im Anschluss daran werden die Gegenelektrode **21** und die Sensorinduktivität L_S jeweils als eines der beiden gegenüberliegenden Enden des Kontaktstifts **27** überdeckende Beschichtung auf die entsprechende Seite des Grundkörpers **3** aufgebracht. Dabei bieten das Aufbringen der Sensorinduktivität L_S und der Gegenelektrode **21** durch physikalische Gasphasenabscheidung den Vorteil, dass sich hierbei unmittelbar eine in hohem Maße temperaturbeständige, elektrisch leitfähige Verbindung zu dem jeweiligen Ende des Kontaktstifts **27** ausbildet.

[0050] Die Sensorinduktivität L_S bildet zusammen mit dem damit verbundenen Kondensator C einen Schwingkreis, der im Messbetrieb mittels der induktiv an den Schwingkreis gekoppelten Messeinrichtung **23** zu Schwingungen angeregt wird. Dabei wird die von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode **19** abhängige Eigenschaft des Schwingkreises mittels der Messeinrichtung **23** über die induktive Kopplung bestimmt. Im Unterschied zu herkömmlichen Druckmessenrichtungen mit keramischen Drucksensoren werden hierzu keine über Lötungen zu verbindende elektrischen Anschlüsse oder Anschlussleitungen benötigt. Entsprechend können erfindungsgemäße Druckmessenrichtungen in einem deutlich größeren Temperaturbereich eingesetzt werden.

[0051] Dabei kann sowohl die induktive Kopplung als auch die darüber erfolgende Messung der von der Impedanz der Elektrode **19** abhängigen Eigenschaft des Schwingkreises auf unterschiedliche Weise erfolgen.

[0052] **Fig. 3** zeigt ein elektrisches Ersatzschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer hierzu verwendbaren Messeinrichtung **23** zusammen mit dem induktiv daran gekoppelten Schwingkreis. Die Messeinrichtung **23** umfasst eine in der Nähe der Sensorinduk-

tivität L_S angeordnete Messinduktivität L_M , über die die induktive Kopplung zur Sensorinduktivität L_S des Schwingkreises besteht.

[0053] Die Messinduktivität L_M kann z. B. eine Planarspule **29** umfassen, die auf eine der Rückseite des Grundkörpers **3** zugewandte Stirnseite eines in das Gehäuse **9** eingesetzten Trägers **31** aus einem Isolator aufgebracht ist. Dabei weist die Planarspule **29** vorzugsweise eine Formgebung und eine Anordnung auf, die der in **Fig. 2** dargestellten Formgebung und Anordnung der Sensorinduktivität L_S entspricht.

[0054] Alternativ kann die Messinduktivität L_M als dreidimensionale Messspule, z. B. als spiralförmige Luftspule, ausgebildet sein, die parallel zur Ebene der Sensorinduktivität L_S in geringem Abstand zur Rückseite des Grundkörpers **3** angeordnet ist.

[0055] Die Messeinrichtung **23** umfasst eine an die Messinduktivität L_M angeschlossene Erregereinrichtung **33**, die im Messbetrieb ein Erregersignal erzeugt, durch das der Schwingkreis über die durch die Messinduktivität L_M und Sensorinduktivität L_S gegebene induktive Kopplung zu Schwingungen angeregt wird. Dabei führt der Schwingkreis Schwingungen mit einer von der Frequenz ω der Schwingungen abhängigen Schwingungsamplitude $A(\omega)$ aus. **Fig. 4** zeigt einen typischen Verlauf der Schwingungsamplitude $A(\omega)$ als Funktion der Frequenz ω in einem Resonanzfrequenz ω_{res} des Schwingkreises umfassenden Frequenzbereich. Dabei bildet die Schwingungsamplitude $A(\omega)$ im Bereich der Resonanzfrequenz $\omega_{res}(C, L_S)$ des Schwingkreises einen Resonanzpeak aus, dessen Breite B ein Maß für die Dämpfung des Schwingkreises ist. Die Dämpfung ist abhängig vom ohmschen Anteil der Impedanz des Kondensators C , der sich in Abhängigkeit von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode **19** verändert. Die Breite B des Resonanzpeaks ist somit eine von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode **19** abhängige Eigenschaft des Schwingkreises. Die Breite B wird von der Messeinrichtung **23** bestimmt, die dann anhand der gemessenen Breite B die zu messende Temperatur bestimmt. Dies geschieht vorzugsweise anhand von in einem Kalibrationsverfahren bestimmten Sensorkennwerten, die die Abhängigkeit der zu messenden Temperatur von der Breite B des Resonanzpeaks wiedergeben.

[0056] Die Erregereinrichtung **33** ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass sie eine Wechselspannung mit zeitlich veränderlicher Frequenz erzeugt, die über einen Vorwiderstand R an der Messinduktivität L_M anliegt. Als Wechselspannungsquelle eignet sich z. B. ein über einen Sägezahn-generator gesteuerter spannungsgesteuerter Oszillator.

[0057] Darüber hinaus umfasst die Messeinrichtungen **23** eine an die Messinduktivität L_M und die Er-

regereinrichtung **33** angeschlossene Messelektronik **35**, die anhand der Frequenzen und der Amplituden des dabei über die Messinduktivität L_M fließenden Messsignals die von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode **19** abhängige Breite B des Resonanzpeaks bestimmt.

[0058] Wird der durch die Elektrode **19** und die Gegenelektrode **21** gebildete Kondensator C ausschließlich dazu verwendet anhand der von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode **19** abhängigen Eigenschaft des Schwingkreises eine Temperaturmessung durchzuführen werden Elektrode **19** und Gegenelektrode **21** vorzugsweise in einander gegenüberliegende Bereichen der einander gegenüberliegenden Innenflächen von Messmembran **7** und Grundkörper **3** angeordnet, in denen sich deren Elektrodenabstand in Abhängigkeit vom auf die Messmembran **7** einwirkenden Druck p möglichst wenig verändert. In dem Fall ist jedoch zur Messung des Drucks ein separater elektromechanischer Wandler vorzusehen, über den die druckabhängigen Verformung der Messmembran **7** messtechnisch erfasst und in eine vom zu messenden Druck abhängige elektrische Größe umgewandelt wird.

[0059] Vorzugsweise werden Elektrode **19** und Gegenelektrode **21** derart angeordnet, dass sie sich über einen Bereich erstrecken, in dem die Messmembran **7** eine vom darauf einwirkenden Druck p abhängige Auslenkung erfährt. In dem Fall ist die Kapazität des Kondensators C abhängig von dem im Messbetrieb auf die Messmembran **7** einwirkenden Druck p . Entsprechend bildet die von der im Wesentlichen konstanten Sensorinduktivität L_S und der Kapazität des Kondensators C abhängige Resonanzfrequenz ω_{Res} des Schwingkreises eine vom zu messenden Druck p abhängige Messgröße, die mittels der oben beschriebenen Messeinrichtung **23** bestimmt und einem zu messenden Druck p zugeordnet werden kann. Letzteres geschieht vorzugsweise anhand von in einem Kalibrationsverfahren bestimmten Sensorkennwerten, die die Abhängigkeiten des zu messenden Drucks p von der Resonanzfrequenz ω_{Res} wiedergeben.

[0060] Bei dieser Variante kann es jedoch sein, dass sich die Breite B der Resonanzpeaks sich nicht nur in Abhängigkeit von der zu messenden Temperatur sondern, wenn auch in geringerem Maße, auch in Abhängigkeit von der vom zu messenden Druck p abhängigen Resonanzfrequenz ω_{Res} ändert. Das wird vorzugsweise durch in einem Kalibrationsverfahren bestimmte Sensorkennwerten berücksichtigt, die die Abhängigkeiten der zu messenden Temperatur von der Resonanzfrequenz ω_{Res} und von der Breite B des Resonanzpeaks wiedergeben.

[0061] Weist der Kondensator C eine druckabhängige Kapazität auf, so ist die Messeinrichtung **23** vor-

zugsweise derart ausgebildet, dass sie anhand der von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode **19** abhängigen Eigenschaft des Schwingkreises eine Kompensation eines temperaturabhängigen Messfehlers des anhand der Resonanzfrequenz ω_{Res} bestimmten zu messenden Drucks p vornimmt. Dabei erfolgt die Kompensation vorzugsweise anhand von in einem Kalibrationsverfahren bestimmten Sensorkennwerten, die die Abhängigkeiten des zu messenden Drucks p von der Resonanzfrequenz ω_{Res} und der über die von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode **19** abhängige Eigenschaft des Schwingkreises ermittelbaren Temperatur wieder geben.

[0062] Wird die Druckmesseinrichtung in Anwendungen eingesetzt, in denen sich die Temperatur am Einsatzort zeitlich nur sehr langsam verändert, weisen Messmembran **7** und Grundkörper **3** im Wesentlichen identische Temperaturen auf. In diesen Anwendungen besteht vorzugsweise auch die Gegenelektrode **21** aus einem Material, das eine temperaturabhängige Impedanz aufweist. Dabei bestehen Elektrode **19** und Gegenelektrode **21** vorzugsweise aus dem gleichen Material. Bei dieser Ausführungsform bewirkt die Temperaturabhängigkeit der Impedanz der Gegenelektrode **21** eine zusätzliche Verbreiterung des Resonanzpeaks, die die Messgenauigkeit der Messung der Sensortemperatur und damit auch der hinsichtlich des von der Sensortemperatur abhängigen Messfehlers kompensierten Druckmessung verbessert.

[0063] Wird die Druckmesseinrichtung in Anwendungen eingesetzt, in denen sich die Temperatur, der die Messmembran **7** ausgesetzt ist, zeitlich schneller verändert, wird die erfindungsgemäße Druckmesseinrichtung vorzugsweise derart ausgebildet, dass mit ihr die sich zeitlich schneller verändernde Temperatur der Messmembran **7** bestimmt werden kann. In dem Fall besteht die Gegenelektrode **21** vorzugsweise aus einem Material, dessen Impedanz möglichst keine bzw. nur eine möglichst geringe Temperaturabhängigkeit aufweist. Dabei kann die Gegenelektrode **21** z. B. aus einem leitfähigen Metall, wie z. B. Titan oder Tantal, bestehen.

[0064] In beiden Fällen kann die Kompensation des temperaturabhängigen Messfehlers des anhand der Resonanzfrequenz ω_{Res} bestimmten Drucks p auf die oben beschriebene Weise anhand von entsprechenden Kalibrationsdaten erfolgen.

[0065] Darüber hinaus kann die Kompensation temperaturabhängiger Messfehler des anhand der Resonanzfrequenz ω_{Res} bestimmten Drucks p optional weiter verbessert werden, indem die Druckmesseinrichtung mit einem auf eine von der Messmembran **7** abgewandte Rückseite ausgerichteten Infrarot-Temperatursensors IR ausgestattet wird, mit dem

die Grundkörpertemperatur des Grundkörpers **3** gemessen wird. Der Infrarot-Temperatursensor IR ist in **Fig. 1** und **Fig. 5** als Option gestrichelt dargestellt. Der Infrarot-Temperatursensor IR kann z. B. auf dem in das Gehäuse **9** eingesetzten Träger **31** montiert werden. Dabei wird er vorzugsweise derart in den Träger **31** eingesetzt, dass er auf die Rückseite des Grundkörpers **3** ausgerichtet ist. Der Infrarot-Temperatursensor IR ist an die Messeinrichtung **23**, insb. die darin enthaltene Messelektronik **35**, angeschlossen. Diese Ausführungsform bietet insb. bei Anwendungen, bei denen die Messmembran **7** zeitlich veränderlichen Temperaturen ausgesetzt ist, den Vorteil, dass die vom Infrarot-Temperatursensor IR gemessene Grundkörpertemperatur bei der Kompensation des temperaturabhängigen Messfehlers des anhand der Resonanzfrequenz des Schwingkreises bestimmten Drucks p berücksichtigt werden kann. Eine mögliche Form der Berücksichtigung besteht darin, die Kompensation anhand der von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode **19** abhängigen Eigenschaft des Schwingkreises bestimmten Membrantemperatur und eines durch die Differenz von Membrantemperatur und Grundkörpertemperatur gegebenen, über den Drucksensor anliegenden Temperaturgradienten ΔT durchzuführen. Dabei erfolgt die Kompensation auch hier anhand von in einem Kalibrationsverfahren bestimmten Sensorkennwerten, die die Abhängigkeiten des zu messenden Drucks p von der Membrantemperatur und dem Temperaturgradienten wieder geben.

[0066] Die Messeinrichtung **23** der erfindungsgemäßen Druckmesseinrichtung – sowie vorzugsweise auch der ggfs. vorgesehene Infrarot-Temperatursensor IR – ist vorzugsweise als Bestandteil eines Messmoduls ausgebildet, das mittels einer lösbaren, in **Fig. 1** nur schematisch dargestellten, mechanischen Befestigungsvorrichtung an einem auf der von der Messmembran **7** abgewandten Seite des Drucksensors **1** befindlichen Ort montiert werden kann. Hierzu kann das Messmodul z. B. mit einem sich radial nach außen erstreckenden Absatz **37** ausgestattet werden, der mittels eines Druckrings **39** auf einem im Gehäuse **9** vorgesehenen Anschlag **41** montiert wird. Dabei ist über den Anschlag **41** eine definierte, reproduzierbare Positionierung der Messinduktivität L_M gewährleistet.

[0067] Als Messmodul ausgebildete Messeinrichtungen **23** bieten den Vorteil, dass sie bei Bedarf ausgetauscht werden können, ohne dass der Drucksensor **1** hierzu aus der Einspannvorrichtung gelöst werden muss. Da sich die Einspannverhältnisse des Drucksensors **1** beim Austausch der Messeinrichtung **23** nicht verändern, kann die Druckmesseinrichtung nach einem Austausch wieder in Betrieb genommen werden, ohne dass eine Neukalibration zur Bestimmung der von der Einspannung abhängigen Abhängigkeiten des zu messenden Drucks p von der Reso-

nanzfrequenz ω_{Res} des Schwingkreises erforderlich ist.

[0068] Bei den erfindungsgemäßen Druckmessenrichtungen erfolgen die mit der Messeinrichtung **23** ausgeführten Messungen in einem in Abhängigkeit von den Resonanzfrequenzen ω_{Res} des Schwingkreises festgelegten Frequenzbereich. Dabei ist die erzielbare Messgenauigkeit, sowohl im Hinblick auf die Temperaturmessung als auch im Hinblick auf die ggfs. vorzunehmende Druckmessung, umso höher, je niedriger die Frequenzen sind, bei denen die Messungen erfolgen. Die Resonanzfrequenz ω_{Res} des Schwingkreises ist im Wesentlichen umgekehrt proportional zur Wurzel aus dem Produkt der Kapazität des Messkondensator C und der im Wesentlichen konstanten Größe der Sensorinduktivität I. Dabei ist die Kapazität des Messkondensator C abhängig vom Elektrodenabstand und von der Größe der Elektrodenflächen von Elektrode **19** und Gegenelektrode **21**. Beide Größen sind in der Regel aufgrund herstellungs- und/oder anwendungsbedingter Vorgaben nur innerhalb enger Grenzen variierbar. Kapazitive keramische Drucksensoren **1** weisen üblicher Weise Kapazitäten in der Größenordnung von 10 pF bis 50 pF auf. Genauso kann auch die von der Formgebung und den Abmessungen der Beschichtung abhängige Größe der Sensorinduktivität L_S aufgrund der begrenzten Oberfläche des Drucksensors **1** nur innerhalb enger variiert werden. So können auf die oben beschriebene Weise zum Beispiel Planarspulen **25** mit einer Induktivität in der Größenordnung von einigen 100 nH auf dem Drucksensor **1** erzeugt werden. Hierüber ergeben sich vom zu messenden Druck p abhängige Resonanzfrequenzen ω_{Res} von 10 MHz bis 100 MHz.

[0069] Die mit der erfindungsgemäßen Druckmessenrichtung erzielbare Messgenauigkeit kann, sowohl im Hinblick auf die Temperaturmessung als auch im Hinblick auf die ggfs. vorzunehmende Druckmessung weiter verbessert werden, indem die Druckmessenrichtung mit einer seriell mit der Sensorinduktivität L_S verbundenen Zusatzinduktivität L_Z ausgestattet wird. Die Zusatzinduktivität L_Z bietet den Vorteil, dass sie eine Verschiebung des Resonanzpeaks zu niedrigeren Frequenzen hin bewirkt, was wiederum eine Erhöhung der erzielbaren Messgenauigkeiten zur Folge hat. Dabei gilt es die Zusatzinduktivität L_Z ohne den Einsatz von Lötungen anzuschließen. Ein Ausführungsbeispiel hierzu ist in **Fig. 5** dargestellt. Aufgrund der großen Übereinstimmung mit dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel werden nachfolgend lediglich die bestehenden Unterschiede näher erläutert. Im Übrigen wird auf die obigen Ausführungen verwiesen.

[0070] Die in **Fig. 5** dargestellte Zusatzinduktivität L_Z umfasst eine dreidimensionale Spule **43**, die auf einer äußeren Mantelfläche eines auf der Rückseite des

Grundkörpers **3** angeordneten Isolators **45** vorgesehen ist. Auch die Zusatzinduktivität L_Z ist vorzugsweise eine als Beschichtung auf den Isolator **45** aufgebraute Spule **43**, die vorzugsweise aus dem Material der Sensorinduktivität L_S besteht und z. B. durch physikalische Gasphasenabscheidung, insb. durch Sputtern aufgebracht wird.

[0071] Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Sensorinduktivität L_S mit einer auf der von der Messmembran **7** abgewandten Rückseite des Grundkörpers **3** aufgebrauten, elektrisch leitfähigen Beschichtung **47** verbunden. Analog ist die Zusatzinduktivität L_Z mit einer auf eine dem Grundkörper **3** zugewandte Stirnseite des Isolators **45** aufgebrauten Beschichtung **49** verbunden. Die beiden Beschichtungen **47**, **49** werden vorzugsweise zusammen mit der jeweils damit verbundenen Induktivität L_S , L_Z durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebracht. Die beiden Beschichtungen **47**, **49** sind derart bemessen, dass sie in elektrisch leitendem Kontakt zu einander stehen. Die Beschichtungen **47**, **49** können z. B. als formgleiche, z. B. ringscheibenförmige Beschichtungen **47**, **49** ausgebildet sein, die aufeinander aufliegen. **Fig. 6** zeigt hierzu eine Ansicht, der von der Messmembran **7** abgewandten Rückseite des Grundkörpers von **Fig. 5**.

[0072] Der Isolator **45** wird vorzugsweise zugleich als Entkopplungsring zum Schutz der Messmembran **7** vor in radialer Richtung darauf einwirkenden mechanischen Spannungen genutzt. In dem Fall ist der Isolator **45** vorzugsweise als auf einem äußeren Rand des Grundkörpers **3** angeordneter Ring ausgebildet, der mittels der Einspannvorrichtung in axialer, also parallel zur Flächennormale auf die Messmembran **7** verlaufender Richtung gegen den äußeren Rand der Rückseite des Grundkörpers **3** gespannt ist. Dabei kann die durch den Isolator **45** bewirkte Reduktion von in radialer Richtung wirkenden thermomechanischen Spannungen zusätzlich durch eine zwischen dem Isolator **45** und dem Druckring **17** angeordnete Folie **51**, z. B. eine Flachdichtung aus Polytetrafluorethylen (PTFE) erhöht werden.

[0073] In seiner Funktion als Entkopplungsring ist der Isolator **45** vorzugsweise als separates Bauteil ausgebildet, das auf dem äußeren Rand des Grundkörpers **3** aufliegt. Dabei wird die elektrisch leitfähige Verbindung zwischen der Zusatzinduktivität L_Z und der Sensorinduktivität L_S über den von der Einspannvorrichtung auf die aufeinander aufliegenden Beschichtungen **47**, **49** ausgeübten Einspanndruck sichergestellt.

[0074] Der Entkopplungsring besteht vorzugsweise aus dem Material des Grundkörpers **3** und kann, in dem Fall ohne die Zusatzinduktivität L_Z , auch bei dem in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsbeispiel eingesetzt werden.

[0075] Sofern dies im Hinblick auf die Schwingungseigenschaften der Schwingkreise gewünscht ist, kann der Isolator **45** mit einem Element **53** aus einem Material mit hoher magnetischer Permeabilität ausgestattet werden. Hierzu eignet sich insb. ein in den Isolator **45** eingesetzter Ferrit-Ring. Auch über das Element **53** kann eine Verschiebung des Resonanzpeaks zu niedrigeren Frequenzen hin bewirkt werden, was wiederum eine Erhöhung der erzielbaren Messgenauigkeiten zur Folge hat.

[0076] Bei Druckmesseinrichtungen mit Zusatzinduktivität L_Z ist die Messinduktivität L_M der Messeinrichtung **23** vorzugsweise derart ausgebildet und angeordnet, dass über sie eine direkte induktive Kopplung zur Sensorinduktivität L_S und zur Zusatzinduktivität L_Z besteht. Das kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die in **Fig. 1** dargestellte Planarspule **29** um einen weiteren Spulenbereich erweitert wird, der als koaxial zur dreidimensionalen Zusatzinduktivität L_Z verlaufendes, dreidimensionales Spulen-segment als Beschichtung auf eine zylindrische äußere Mantelfläche des Trägers **31** aufgebracht wird.

[0077] Alternativ kann die Messinduktivität L_M als dreidimensionale Messspule **55**, z. B. als spiralförmige Luftspule, ausgebildet sein. Diese Variante ist in **Fig. 5** schematisch dargestellt. In dem Fall ist die Messspule **55** vorzugsweise in geringem Abstand zur Rückseite des Grundkörpers **3** angeordnet und weist eine parallel zur Rückseite verlaufende Länge auf, die derart bemessen ist, dass sich deren gegenüberliegenden Enden jeweils in geringem Abstand zu dem die Zusatzinduktivität L_Z tragenden Isolator **45** befinden.

[0078] Auch bei dieser Variante kann optional der in **Fig. 5** nicht dargestellte, aber bereits anhand von **Fig. 1** und **Fig. 3** beschriebene Infrarot-Temperatur-sensor IR vorgesehen werden.

35	Messelektronik
37	Absatz
39	Druckring
41	Anschlag
43	Spule
45	Isolator
47	Beschichtung
49	Beschichtung
51	Folie
53	Element
55	Messspule

Bezugszeichenliste

1	Drucksensor
3	Grundkörper
5	Druckkammer
7	Messmembran
9	Gehäuse
11	Öffnung
13	Schulter
15	Dichtung
17	Druckring
19	Elektrode
21	Gegenelektrode
23	Messeinrichtung
25	Planarspule
27	Kontaktstift
29	Planarspule
31	Träger
33	Erregereinrichtung

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

- WO 03/106952 A2 [0003, 0004]
- EP 0995979 A1 [0008, 0008]
- DE 102013114734 A1 [0009, 0013]

Patentansprüche

1. Druckmesseinrichtung, mit
 - einem keramischen Drucksensor (1),
 - der einen Grundkörper (3) und eine unter Einschluss einer Druckkammer (5) auf dem Grundkörper (3) angeordnete, in Abhängigkeit von einem darauf einwirkenden zu messenden Druck (p) verformbare Messmembran (7) aus Keramik umfasst,
 - der einen eine auf der Messmembran (7) angeordnete Elektrode (19) und eine auf dem Grundkörper (3) angeordnete Gegenelektrode (21) umfassenden Kondensator (C) aufweist, und
 - dessen Elektrode (19) aus einem eine temperaturabhängige Impedanz aufweisenden Material besteht, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - ein induktiv zu Schwingungen anregbarer elektrischer Schwingkreis vorgesehen ist, der den Kondensator und eine als elektrisch leitfähige Beschichtung auf eine Oberfläche des Drucksensors (1) aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte Sensorinduktivität (L_S) umfasst, und
 - eine induktiv an den Schwingkreis gekoppelte Messeinrichtung (23) vorgesehen ist, die im Messbetrieb eine von der Impedanz der Elektrode (19) abhängige Eigenschaft des Schwingkreises bestimmt.

2. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die von der Impedanz der Elektrode (19) abhängige Eigenschaft eine Breite (B) eines Resonanzpeaks einer von der Messeinrichtung (23) in Abhängigkeit von der Schwingungsfrequenz bestimmten Schwingungsamplitude ($A(\omega_{Res})$) des Schwingkreises ist.

3. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messeinrichtung (23)
 - eine induktiv an die Sensorinduktivität (L_S) gekoppelte Messinduktivität (L_M) umfasst,
 - eine an die Messinduktivität (L_M) angeschlossene Erregereinrichtung (33) umfasst, die im Messbetrieb ein Erregersignal, insb. eine Wechselspannung mit zeitlich veränderlicher Frequenz, erzeugt, durch das der Schwingkreis über die induktive Kopplung zu Schwingungen angeregt wird, und
 - eine an die Messinduktivität (L_M) und an die Erregereinrichtung (33) angeschlossene Messelektronik (35) umfasst, die anhand eines im Messbetrieb über die Messinduktivität (L_M) fließenden Messsignals die von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode (19) abhängige Messgröße bestimmt.

4. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - die Messeinrichtung (23) eine induktiv an die Sensorinduktivität (L_S) gekoppelte Messinduktivität (L_M) umfasst, und

- die Messinduktivität (L_M) eine auf einer von der Messmembran (7) abgewandten Seite des Grundkörpers (3) angeordnete dreidimensionale Messspule (55), insb. eine Luftspule, oder eine auf einer dem Grundkörper (3) zugewandten Stirnseite eines Trägers (31) aus einem Isolator aufgebrachte Planarspule (29) umfasst.

5. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - der Kondensator (C) eine von der druckabhängigen Verformung der Messmembran (7) abhängige Kapazität aufweist,
 - der Schwingkreis eine von der Kapazität des Kondensators (C) und der Sensorinduktivität (L_S) abhängige Resonanzfrequenz ($\omega_{Res}(C, L_S)$) aufweist, und
 - die Messeinrichtung (23) die von der Kapazität des Kondensators (C) abhängige Resonanzfrequenz ($\omega_{Res}(C, L_S)$) des Schwingkreises bestimmt und einem zu messenden Druck (p) zuordnet, wobei die Messeinrichtung (23) insb. derart ausgebildet ist, dass sie anhand der von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode (19) abhängigen Eigenschaft des Schwingkreises eine Kompensation eines temperaturabhängigen Messfehlers des anhand der Resonanzfrequenz (ω_{Res}) bestimmten zu messenden Drucks (p) vornimmt.

6. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - ein auf eine von der Messmembran (7) abgewandte Rückseite des Grundkörpers (3) ausgerichteter Infrarot-Temperatursensor (IR), insb. ein auf einem in ein Gehäuse (9) der Druckmesseinrichtung eingesetzten Träger (31) montierter Infrarot-Temperatursensor (IR), vorgesehen ist,
 - wobei die Messeinrichtung (23) insb. derart ausgebildet ist, dass sie anhand der von der temperaturabhängigen Impedanz der Elektrode (19) abhängigen Eigenschaft und einer mit dem Infrarot-Temperatursensor (IR) gemessenen Grundkörpertemperatur eine Kompensation eines temperaturabhängigen Messfehlers des anhand der Resonanzfrequenz (ω_{Res}) bestimmten zu messenden Drucks (p) vornimmt.

7. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensorinduktivität (L_S) eine auf eine von der Messmembran (7) abgewandte Rückseite des Grundkörpers (3) aufgebrachte Planarspule (25) umfasst.

8. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - die Sensorinduktivität (L_S) über eine elektrisch leitfähige Verbindung, insb. eine sich beim Aufbringen Sensorinduktivität (L_S) ausbildende elektrische leitfähige Verbindung, mit einem durch den Grundkörper (3) hindurch verlaufenden Kontaktstift (27) verbunden ist, und

– der Kontaktstift (27) über eine elektrisch leitfähige Verbindung, insb. eine sich beim Aufbringen Gegenelektrode (21) ausbildende elektrische leitfähige Verbindung, mit der Gegenelektrode (21) verbunden ist.

9. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schwingkreis eine seriell mit der Sensorinduktivität (L_S) verbundene Zusatzinduktivität (L_Z), insb. eine dreidimensionale, auf eine Mantelfläche eines auf der von der Messmembran (7) abgewandten Rückseite des Grundkörpers (3) angeordneten Isolators (45), insb. eines Entkopplungsringes, aufgebrachte, insb. durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachte, dreidimensionale Spule (43), umfasst.

10. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Isolator (45) mit einem Element (53), insb. einem Ferrit-Ring, aus einem Material mit hoher Permeabilität ausgestattet ist.

11. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die Sensorinduktivität (L_S) mit einer auf der von der Messmembran (7) abgewandten Rückseite des Grundkörpers (3) aufgebrachten elektrisch leitfähigen Beschichtung (47), insb. einer durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachten elektrisch leitfähigen Beschichtung (47), verbunden ist,
- die Zusatzinduktivität (L_Z) mit einer auf eine dem Grundkörper (3) zugewandten Stirnseite des Isolators (45) aufgebrachten Beschichtung (49), insb. einer durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachten elektrisch leitfähigen Beschichtung (49), verbunden ist, und
- die auf den Grundkörper (3) aufgebrachte Beschichtung (47) in elektrisch leitendem Kontakt zu der auf den Isolator (45) aufgebrachten Beschichtung (49) steht.

12. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- der Drucksensor (1) mittels einer Einspannvorrichtung in einem Gehäuse (9) eingespannt ist,
- wobei die Einspannvorrichtung insb. derart ausgebildet ist, dass sie eine Einspannung, insb. elastische Einspannung, eines äußeren Randes des Drucksensors (1) oder eines äußeren Randes des Drucksensors (1) und eines auf dessen von der Messmembran (7) abgewandten Rückseite angeordneten Entkopplungsringes, insb. eines mit der Zusatzinduktivität (L_Z) ausgestatteten Isolators (45), bewirkt.

13. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 11 und 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die mit der Sensorinduktivität (L_S) verbundene Beschichtung (47) und die mit der Zusatzinduktivität

(L_Z) verbundene Beschichtung (49) aufeinander aufliegen, und

- die Einspannvorrichtung einen Einspanndruck auf die aufeinander aufliegenden Beschichtungen (47, 49) ausübt.

14. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- Sensorinduktivität (L_S) aus einem elektrisch leitfähigen Material, insb. aus Titan oder Tantal, besteht,
- die Elektrode (19) aus einem halbleitenden Werkstoff, insb. aus einem halbleitenden Metalloxid, insb. aus Titanoxid oder dotiertem Titanoxid, insb. mit Niob (N) oder Wolfram (W) dotiertem Titanoxid, insb. aus einem durch physikalische Abscheidung aus der Gasphase, insb. durch Sputtern, aufgebrachten halbleitenden Werkstoff besteht, und/oder

- Elektrode (19) und Gegenelektrode (21) aus dem gleichen Material bestehen oder die Gegenelektrode (21) aus einem leitfähigen Metall, insb. Titan oder Tantal, besteht.

15. Druckmesseinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messeinrichtung (23) Bestandteil eines Messmodul ist, das mittels einer lösbaren mechanischen Befestigungsvorrichtung an einem auf der von der Messmembran (7) abgewandten Seite des Drucksensors (3) befindlichen Ort befestigbar ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

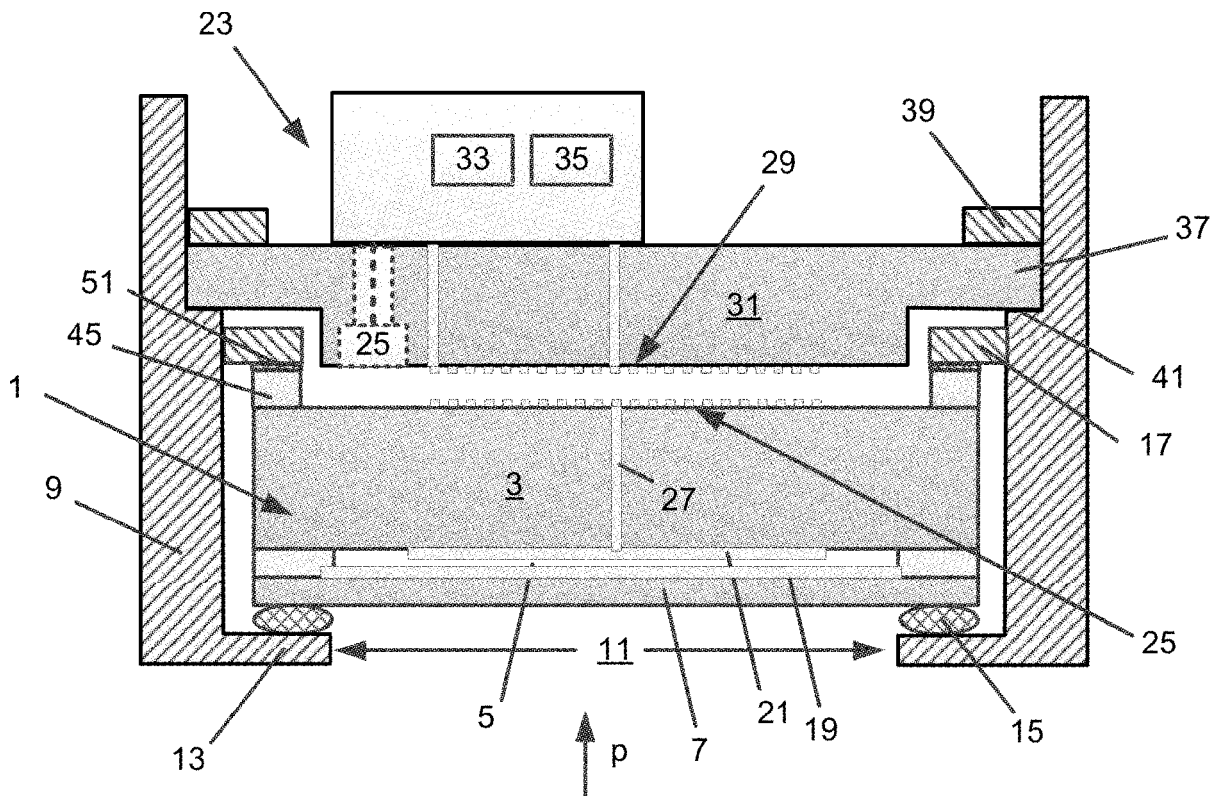


Fig. 1

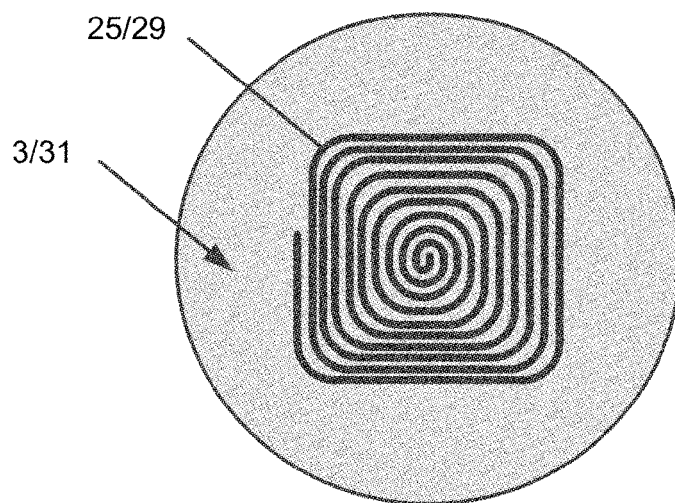


Fig. 2

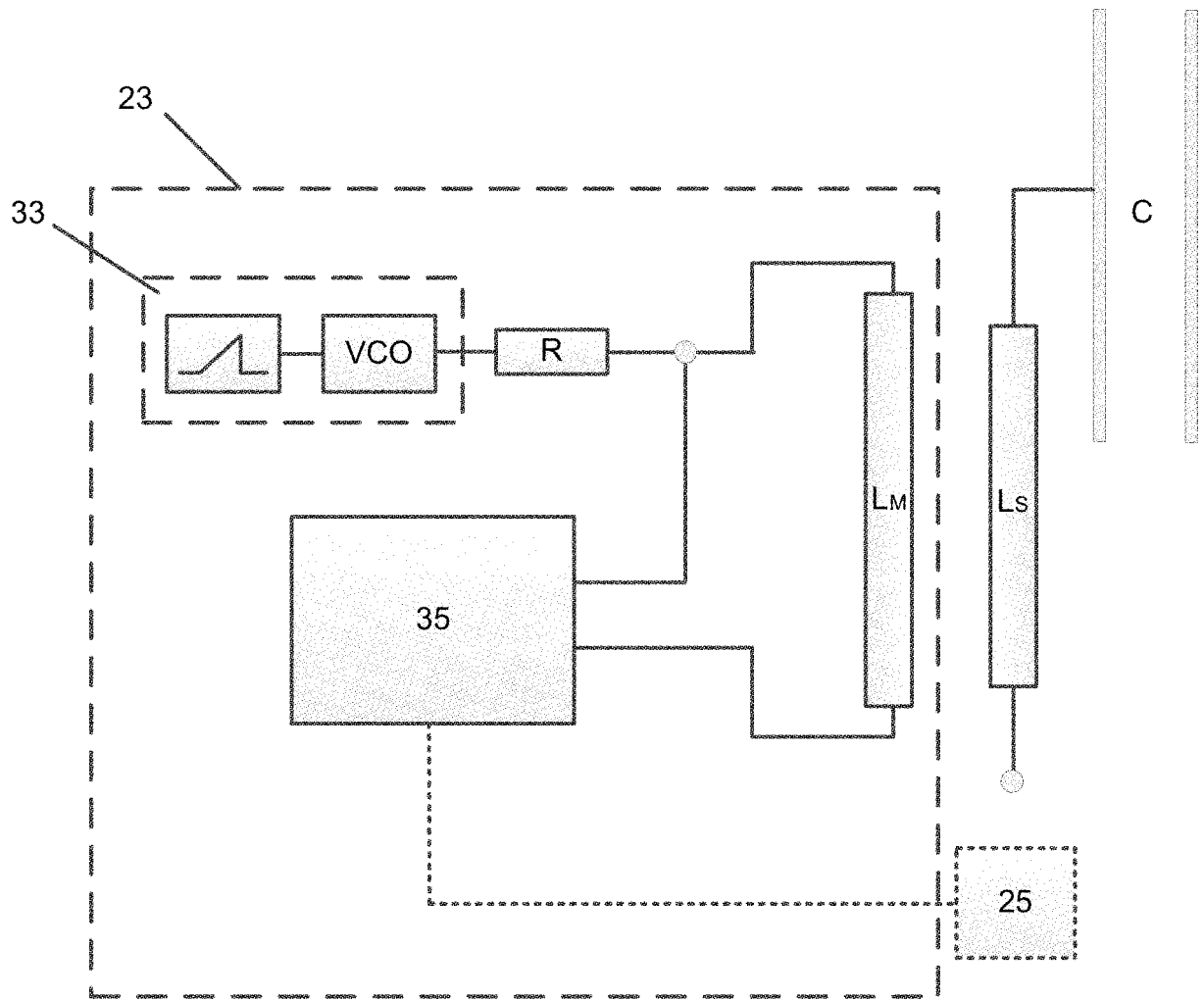


Fig. 3

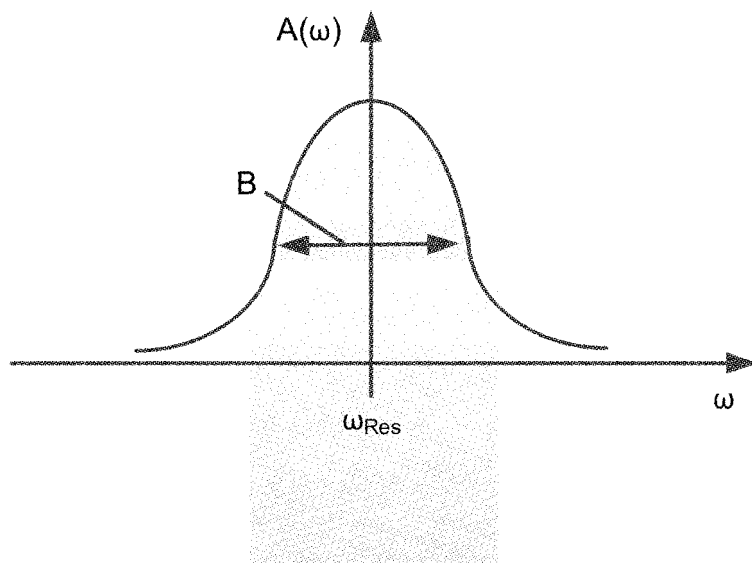


Fig. 4

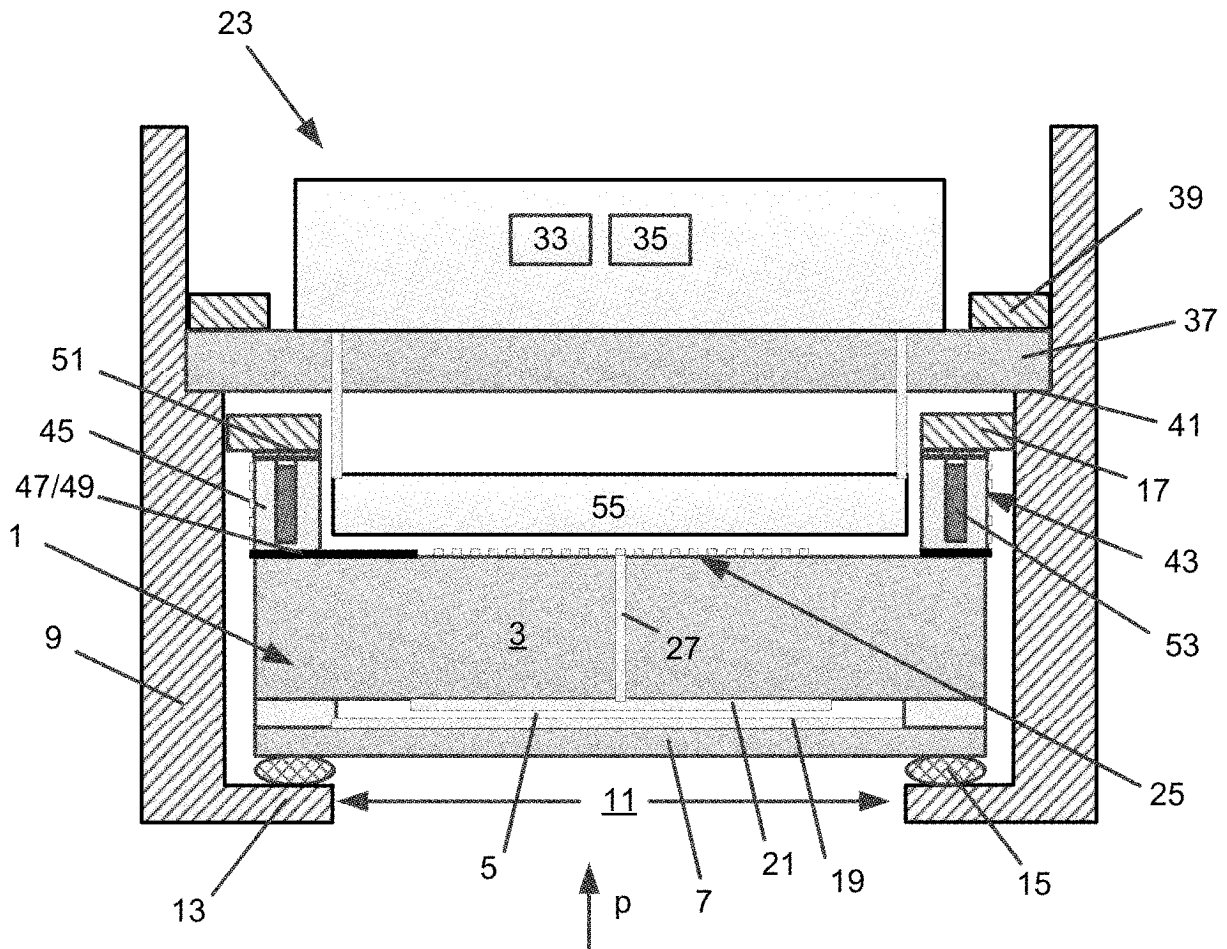


Fig. 5

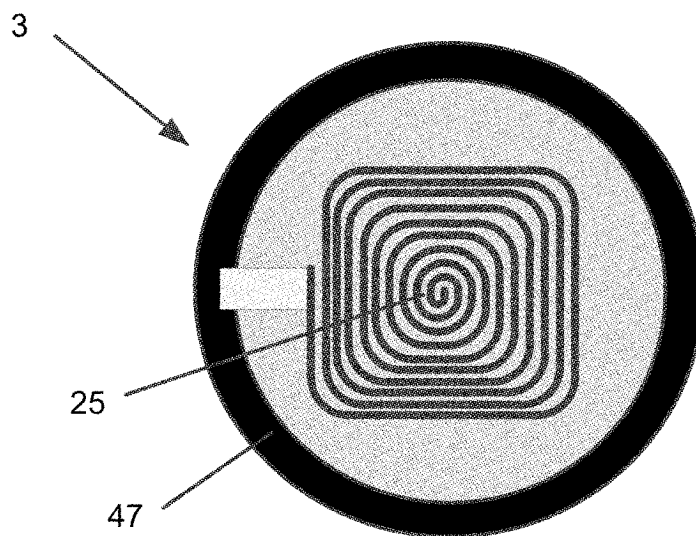


Fig. 6